

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LANTAN KATKILI ÇİNKO BORATLARIN KİNETİK PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

AZİZ HALİT GÖZEL

FİZİK ANABİLİM DALI

2014

T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LANTAN KATKILI ÇİNKO BORATLARIN KİNETİK PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ

Aziz Halit GÖZEL
Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı

Bu tez 09/05/2014 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa TOPAKSU
BAŞKAN (DANIŞMAN)

Yrd. Doç. Dr. Necmettin NUR
ÜYE

Yrd. Doç. Dr. Bayram TALİ
ÜYE

Doç. Dr. Mustafa ÖZDEN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: -----

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LANTAN KATKILI ÇİNKO BORATLARIN KİNETİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Aziz Halit GÖZEL

Adıyaman Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mustafa TOPAKSU

Yıl: 2014 Sayfa: 56

Jüri : Doç. Dr. Mustafa TOPAKSU

Yrd. Doç. Dr. Bayram TALİ

Yrd. Doç. Dr. Necmettin NUR

Nitrik asit yöntemiyle sentezlenmiş % 1, % 2, % 3 ve % 4 Lantan katkıli çinko borat ($ZnB_2O_4:La$) fosforlarının Termolüminesans (TL) ışımaya eğrileri, Risø TL/OSL DA-20 okuyucu sisteminde bulunan 40 mCi'lik aktiviteye sahip $^{90}Sr/^{90}Y$ beta kaynağıyla, 143 mGy-60 Gy doz aralığında ışınlamalar sonucunda elde edilmiştir. TL ışımaya eğrileri, 140 °C'de yapılan ön ısıtma işleminden sonra 450 °C'ye kadar, azot atmosferinde 5 °C/s sabit ısıtma hızında ısıtılarak kaydedilmiştir. Bu çalışmada, okumaları yapılmış ışımaya eğrileri yardımıyla La katkıli ZnB_2O_4 fosforlarının ana TL ışımaya piklerinin kinetik parametreleri (aktivasyon enerjileri, kinetik dereceleri ve frekans faktörleri), bilgisayarla ışımaya eğrisi çözümüleme yöntemi (CGCD), pik şekli yöntemi (PS) ve başlangıçtaki artış yöntemi (IR) ile belirlenerek değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan La katkıli ZnB_2O_4 fosforlarına uygulanan yöntemlerle bulunan kinetik parametrelerinin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Termolüminesans, Çinko borat, Lantan, Beta-ışını, Kinetik parametre.

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF KINETIC PARAMETERS OF LANTHANUM DOPED ZINC BORATES

Aziz Halit GÖZEL

Adiyaman University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa TOPAKSU

Year: 2014, Pages: 56

Jury : Assoc. Prof. Dr. Mustafa TOPAKSU

Asst. Prof. Dr. Bayram TALİ

Asst. Prof. Dr. Necmettin NUR

Thermoluminescence (TL) glow curves of 1% , 2% , 3% and 4% lanthanum doped zinc borate ($\text{ZnB}_2\text{O}_4\text{:La}$) phosphors synthesized by nitric acid method were obtained by irradiation at the dose range of 143 mGy - 60 Gy with $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta source, which has 40 mCi activity, included in the Risø TL/OSL DA-20 reader system. TL glow curves were recorded after pre-heating process at 140 °C and then heating up to 450 °C in nitrogen atmosphere at a constant heating rate of 5 °C/s. In this study, with the help of glow curve readings, kinetic parameters of the main TL glow peaks of La doped ZnB_2O_4 phosphors (i.e. activation energies and frequency factors) were determined and evaluated by the method of computerized glow curve deconvolution (CGCD), peak shape method (PS) and initial rise method (IR). In conclusion, kinetic parameters found in this study by the methods applied to La doped ZnB_2O_4 phosphorus were consistent with each other.

Keywords: Termolüminesans, Zinc borate, Lanthanum, Beta-ray, Kinetic parameter.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans çalışması boyunca çalışmalarımnda daima yardımcı olan ve yol gösteren 1. Danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa TOPAKSU'ya ve 2. Danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Nil KÜÇÜK'e, ayrıca bana yardımcı olan Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU'ya ve Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. İlhan TAPAN'a, tez çalışmam boyunca yardımını esirgemeyen Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Elemanı Sayın Uzm. Dr. Mehmet YÜKSEL'e ve çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Tez aşamasında büyük ilgi ve desteğini gördüğüm Yüksek Fizikçi Kenan BULCAR'a, Kimya bölümünde Yüksek Lisans yapan Adil UMAZ'a ve Umut İbrahim OĞUZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca her zaman büyük özveriyle yanımda olan ve sürekli destek veren annem Adile GÖZEL'e, babam Abuzer GÖZEL'e ve abim Yrd. Doç. Dr. Nevzat GÖZEL'e sonsuz teşekkür ederim.

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\text{Sr}_2\text{Mg}(\text{BO}_3)_2:\text{Dy}$: Disprosyum katkılı stronsiyum magnezyum borat
$\text{Bi}_2\text{ZnB}_2\text{O}_7:\text{Sm}$: Samaryum katkılı bizmut çinko borat
$\text{LiSr}_4(\text{BO}_3)_3:\text{Ce}$: Seryum katkılı lityum stronsiyum borat
LiF	: Lityum florür
BeO	: Berilyum oksit
CsSb	: Sezyum antimon
La_2O_3	: Lantan oksit
Na	: Sodyum
Tm	: Tulyum
Sr	: Stronsiyum
PMT	: Foton çoğaltıcı tüp (Photon Multiple Tube)
eV	: Elektron Volt
MeV	: Mega elektron Volt
Gy	: Gray
mGy	: mili Gray
mCi	: mili Cruie
GBq	: Giga Becquerel
β	: Beta
K	: Kelvin
T_m, T_M	: Tepe sıcaklığı
Å	: Angstrom
Z_{etkin}	: Etkin atom numarası
UV	: Morötesi
IR	: Kızılötesi
k.b., a.u.	: keyfi birim (Arbitrary Units)
RE	: Nadir toprak elementi (Rare Earth)
MPa	: Mega Pascal
μm	: Mikrometre
kW	: Kilo Watt
rpm	: Dakikadaki dönüş sayısı

pH	: Bir çözeltilinin asitlik veya bazlık derecesi
θ	: Teta açısı
nm	: Nanometre
mA	: miliamper
TLD	: Termolüminesans Dozimetre
XRD	: X-Işını Kırınımı
TL	: Termolüminesans
OSL	: Optik uyarmalı lüminesans
MDD	: Minimum ölçülebilir doz
LED	: Işık Yayan Diyot (L ight E mitting D iode)

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	2
2.1. Bor ve Borlu Bileşikler	2
2.2. Çinko Borat	3
2.2.1. Çinko boratın özellikleri	3
2.2.2. Çinko boratın kullanım alanları	3
2.3. Lüminesans	3
2.4. Termolüminesans (TL).....	5
2.5. Termolüminesans Dozimetre (TLD	7
2.5.1. TLD İçin gerekli özellikler	8
2.6. Termolüminesans Kinetikleri	10
2.6.1. Birinci derece kinetikler	10
2.6.2. İkinci derece kinetikler	13
2.6.3. Genel derece kinetikler	16
2.7. Kinetik Parametreleri İçin Analiz Yöntemleri	18
2.7.1. Bilgisayarla ışınma eğrisi ayrıştırma yöntemi (CGCD).....	18
2.7.2. Pik şekli yöntemi (PS).....	20
2.7.3. Başlangıçtaki artış yöntemi (IR)	23
2.7.4. İzotermal bozunum yöntemi (ID)	25
2.7.5. Üç nokta yöntemi	27
3. KAYNAK ÖZETLERİ	30
3.1. Termolüminesans İle İlgili Önceki Çalışmalar	30
3.2. Çinko Boratla İlgili Termolüminesans Çalışmaları	32

4. MATERYAL ve METOD	34
4.1. Materyal	34
4.1.1. Sentezlenen La katkılı çinko boratlar	34
4.1.2. La katkılı çinko boratların TL özellikleri	35
4.2. Metod	40
4.2.1. Kinetik parametrelerin CGCD yöntemiyle belirlenmesi	40
4.2.2. Kinetik parametrelerin PS yöntemiyle belirlenmesi	44
4.2.3. Kinetik parametrelerin IR yöntemiyle belirlenmesi	45
5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	47
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	56

Çizelge 4.1. 1.43 mGy için %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforlarının ışınma eğrilerine ait geometrik şekil parametreleri	45
Çizelge 4.2. 1.43 mGy için %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforlarının ışınma eğrilerine ait geometrik şekil parametreleri.....	45
Çizelge 5.1. CGCD yöntemiyle elde edilen E (eV) ve s (s ⁻¹) değerleri	48
Çizelge 5.2. 1.43 Gy için PS yöntemiyle elde edilen E (eV) ve s (s ⁻¹) değerleri	49
Çizelge 5.3. 15 Gy için PS yöntemiyle elde edilen E (eV) ve s (s ⁻¹) değerleri	49
Çizelge 5.4. 1.43 Gy için IR yöntemiyle elde edilen E (eV) ve s (s ⁻¹) değerleri	50
Çizelge 5.5. 15 Gy için IR yöntemiyle elde edilen E (eV) ve s (s ⁻¹) değerleri	50
Çizelge 5.6. 30 Gy için IR yöntemiyle elde edilen E (eV) ve s (s ⁻¹) değerleri	50
Çizelge 5.7. 60 Gy için IR yöntemiyle elde edilen E (eV) ve s (s ⁻¹) değerleri	51

Şekil 2.1. Katı malzeme içindeki elektron geçişleri ve lüminesans işlemleri	4
Şekil 2.2. Dozimetre türleri	8
Şekil 2.3. Randall-Wilkins birinci-derece TL denkleminin (a) n_0 ile değişimi, (b) E ile değişimi, (c) β ile değişimi	13
Şekil 2.4. Garlick-Gibson ikinci-derece TL denkleminin (a) n_0 ile değişimi, (b) E_t ile değişimi, (c) β ile değişimi	15
Şekil 2.5. Parametreleri $E = 1$ eV, $s = 10^{12}$ s ⁻¹ , $n_0 = N = 10^3$ m ⁻³ olan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması	16
Şekil 2.6. Birinci derece kinetik ($b=1$), ikinci derece kinetik ($b=2$) ve ara derece kinetikler ($b=1.3$ ve $b=1.6$) için $b=1$ °K/s, $E_t = 1$ eV ve $n_0 = n = 1$ alınarak elde edilen TL tepelerinin karşılaştırılması... ..	17
Şekil 2.7. TL ışımaya eğrisinde geometrik şeklin parametreleri (τ , δ ve ω).....	20
Şekil 2.8. Termolüminesans ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmı	23
Şekil 2.9. TL ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmına uygulanan başlangıçtaki artış grafiği	24
Şekil 2.10. Bir TL ışımaya tepesi için sıcaklık parametreleri ve bu parametrelere karşılık gelen ışımaya şiddetleri	25
Şekil 2.11. Bir TL ışımaya tepesi için sıcaklık parametreleri ve bu parametrelere karşılık gelen ışımaya şiddetleri	28
Şekil 4.1. 143 mGy-15 Gy doz aralığında beta radyasyon dozuna maruz kalan %1 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun TL ışımaya eğrileri	35
Şekil 4.2. 60 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %1 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun TL ışımaya eğrisi	36
Şekil 4.3. 143 mGy-15 Gy doz aralığında beta radyasyon dozuna maruz kalan %2 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun TL ışımaya eğrileri	36
Şekil 4.4. 60 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %2 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun TL ışımaya eğrisi	37
Şekil 4.5. 143 mGy-15 Gy doz aralığında beta radyasyon dozuna maruz kalan %3 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun TL ışımaya eğrileri	37

Şekil 4.6. 60 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %3 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun TL ışıma eğrisi	38
Şekil 4.7. 143 mGy-15 Gy doz aralığında beta radyasyon dozuna maruz kalan %4 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun TL ışıma eğrileri	38
Şekil 4.8. 60 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %4 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun TL ışıma eğrisi	39
Şekil 4.9. 1.43 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforlarının TL ışıma eğrileri	39
Şekil 4.10. %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforlarının 143 mGy-60 Gy beta radyasyon doz aralığında doz-cevap eğrileri	40
Şekil.4.11. GlowFit programının ana uygulama penceresi	41
Şekil.4.12. %1 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun CGCD yöntemiyle ayrıştırılan ışıma eğrisi	42
Şekil.4.13. %2 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun CGCD yöntemiyle ayrıştırılan ışıma eğrisi	42
Şekil.4.14. %3 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun CGCD yöntemiyle ayrıştırılan ışıma eğrisi	43
Şekil.4.15. %4 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun CGCD yöntemiyle ayrıştırılan ışıma eğrisi	44
Şekil 4.16. 1.43 Gy beta radyasyon dozu için %1 La katkılı ZnB ₂ O ₄ fosforunun TL ışıma eğrisinin başlangıç artış kısmına IR yönteminin uygulanması	46

1. GİRİŞ

Radyasyon ve radyasyonla ilgili uygulamaların, başta sağlık sektörü olmak üzere, günlük hayatımızdaki yeri gün geçtikçe artmış ve buna bağlı olarak radyasyonla çalışan kişilerin maruz kaldığı radyasyon dozunun ölçülmesi önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bu amaçla, maruz kalınan radyasyon dozunun ölçülmesi için geliştirilen Termolüminesans Dozimetreler (TLD) önemlidir. TLD, ilk defa 1953 yılında atomik silahların test aşamasında radyasyon ölçümü için kullanılmıştır. Devamında yapılan çalışmalar, yeni TLD malzemelerinin keşfine yol açmıştır. Özellikle bor tabanlı fosforlar, doku eşdeğeri olmaları nedeniyle ($Z_{etkin}=7.4$) personel ve medikal dozimetri alanında büyük önem taşırlar (Furetta ve vd. 2001, Çakır 2012).

TLD dozimetrelerin artan kullanımı, yeterli dozimetrik özelliklere sahip yeni malzemeler üzerinde araştırmaları motive etmiştir. Boratlar, radyasyon dozunun ölçümü için TLD'de dikkat çekici malzemelerdir. Katkılı boratların termolüminesansı dokuya yakın eşdeğer soğurma katsayıları, çok düşük maliyetli olmaları, iyi termal kararlılıkları ve mekanik özellikleri, yüksek hassasiyet ve nispeten kolay hazırlanmaları nedeniyle yaygın olarak araştırılmaktadır. Bu yüzden kişisel dozimetri için dikkate değerdirler (Küçük ve vd. 2013).

Çinko borat (ZnB_2O_4), endüstride çok yaygın olarak kullanılan ve kullanılma potansiyeli olan bor tabanlı inorganik bir malzemedir. Literatür incelendiğinde bazı araştırmacıların, katkılı çinko boratlar için fotolüminesans, termolüminesans ve dozimetrik özellikleri üzerine araştırmalar yaptıkları görülmüştür (Li ve vd. 2007, Juan ve vd. 2008, Zheng ve vd. 2009, Kucuk ve vd. 2013, Annalakshmi ve vd. 2014).

Bu çalışmada, okumaları yapılmış ışına eğrileri yardımıyla %1, %2, %3 ve %4 La- katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının (yani $Zn_{0.99}La_{0.01}B_2O_4$, $Zn_{0.98}La_{0.02}B_2O_4$, $Zn_{0.97}La_{0.03}B_2O_4$ ve $Zn_{0.96}La_{0.04}B_2O_4$) ana TL ışına tepe noktalarının kinetik parametreleri (yani aktivasyon enerjileri, frekans faktörleri ve kinetik dereceleri), bilgisayarla ışına eğrisi çözümlene yöntemi (CGCD), pik şekli yöntemi (PS) ve başlangıçtaki artış yöntemi (IR) kullanılarak belirlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Bor ve Borlu Bileşikler

Bor, periyodik tabloda IIIA grubunda yer alan, B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10.811 olan, iki kararlı izotop; ^{10}B (% 19,8) ve ^{11}B (% 80,2)'den oluşan, metalle ametal arası yarıiletken özelliğe sahip bir elementtir (Çakır 2012). Doğada hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir (Çakır 2012). Atomik çapı 1.17 Å, yoğunluğu 2.34 g/cm³, ergime noktası 2300 °C ve kaynama noktası 4002 °C olan bor minerali genellikle başka elementlerle bileşikler halinde bulunur. Oksijenle bağ yapmaya yatkın olması sebebiyle pek çok değişik bor-oksijen bileşimi bulunmaktadır. Bor-oksijen bileşimlerinin genel adı borattır (Çakır 2012).

Bor'un çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, bor bileşiklerinin birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Çakır 2012). Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır, ancak farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir (Çakır 2012). Kristalize bor, görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir (Çakır 2012). Borun saf elementi ilk kez 1808 yılında J. L. Gay-Lussac ve Baron L. J. Thenard ile H. Davy tarafından elde edilmiştir (Çakır 2012).

Bor mineralleri ve bileşikleri çok çeşitli endüstri dallarında çok farklı malzeme ve ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır (Çakır 2012). Başlıca kullanım alanları, cam endüstrisi, yangına dirençli malzemeler, sabun ve deterjanlar, kâğıt hamuru, gübre ve tarımsal ilaçlar, metalürji, manyetik malzemeler ve nükleer uygulamalardır. Nükleer alandaki uygulamalarından örnek verilirse; atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titan bor alaşımlarıdır. Yaklaşık her bir bor atomunun bir nötron soğurmasından dolayı paslanmaz borlu çelik, nötron soğurucu olarak tercih edilmektedir. Bu nedenle, atom reaktörlerinin kontrol sistemleri, soğutma havuzları ve reaktörün alarm ile kapatılmasında bor kullanılmaktadır (Altun 2005).

2.2. Çinko Borat

2.2.1. Çinko boratın özellikleri

Çinko borat, son yıllarda alev geciktirici olarak kullanılan bir bor bileşiğidir. Teorik birleşimi, % 42.05 bor oksit (B_2O_3), % 37.45 çinko oksit (ZnO) ve % 14.50 kristal su (H_2O) biçimindedir. Çinko borat beyaz renkte, granül görünümünde, 8-20 μm parçacık boyutlu, 980 $^{\circ}C$ civarında erime noktasına sahip, toksisitesi düşük, nem çekmeyen ve 7.6 pH değerine sahip toz bir malzemedir.

2.2.2. Çinko boratın kullanım alanları

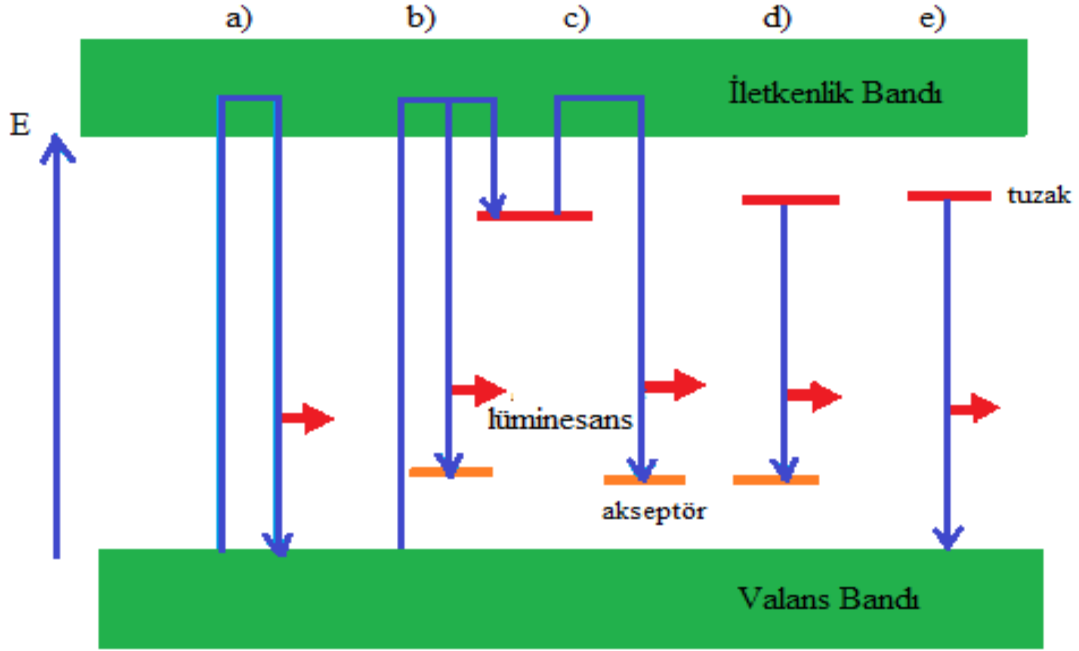
Çinko borat çok geniş kullanım alanına sahiptir. Kullanılan yüzeyde daha ileri yanmayı engelleyici yüzey tabakası oluşturarak malzemenin yanarak kömürleşmesini yavaşlatma özelliği nedeniyle alev geciktirici, duman bastırıcı, korozyon geciktirici olarak polimerlerde ve kaplamalarda kullanılır.

2.3. Lüminesans

Bir materyal radyasyona maruz bırakıldığında, gelen radyasyonun enerjisinin bir kısmı materyal tarafından soğurulur ve daha uzun dalga boylu bir ışık olarak yeniden yayınlanır. Bu işleme "lüminesans" denir. Yayılan ışığın dalga boyu gelen radyasyonun değil lüminesans malzemenin karakteristik özelliğidir. Lüminesans olayları, mor ötesi (UV), görünür bölge ve kızıl ötesi (IR) dalga boylarındaki ışığın salınımıyla ilgilenmektedir (McKeever 1985).

Lüminesans olayı, yalıtkan ve yarıiletken malzemelerde görülmektedir. Bu olayın temel prensibi şöyledir; gelen radyasyon, malzeme içerisindeki atomların valans elektronlarına enerji kazandırarak yani uyararak buldukları seviyeden bir üst seviyeye (iletkenlik bandına) çıkmaya zorlar. Böylece atom kararlılığını kaybeder. Elektron yeni yörüngesinde dolarken enerji kaybeder ve kararlı duruma tekrar dönebilmek için (yani eski yörüngesine dönebilmek için) belirli bir enerjiye sahip (uyarılmış yörünge ile eski yörünge arasındaki enerji farkı kadar) foton yayımlayarak eski kararlı haline döner (Kati 2009). Şekil 2.1'de katı bir malzeme içindeki olası elektron geçişleri ve lüminesans işlemleri şematik olarak gösterilmiştir (Çetin 2007).

Lüminesans işlemi, özellikle malzeme içerisindeki elementlerin enerji seviyeleri hakkında bilgi verir. Bu bilgi sayesinde malzemelerin kristal yapısı hakkında da bilgi edinilebilir. Lüminesans geniş bir terimdir; atomların uyarıldığı metotlara ve uyarılan seviyelerin ömür sürelerine göre gruplandırılabilir (Vij 1998).



Şekil 2.1. Katı malzeme içindeki elektron geçişleri ve lüminesans işlemleri: **a)** Uyarma enerjisinin soğurulması sonucunda elektronun iletkenlik bandına geçişi ve buradaki elektronun değerlik bandına geçerken ışın yayınlanması, **b)** Uyarılma enerjisinin 1 ve 2 durumlarından yeniden birleşme merkezleri (akseptör) seviyelerine geçişinde ışın yayınlanması, **c)** Tuzak seviyelerinden iletkenlik bandına ve oradan yeniden birleşme merkezlerine (akseptörlere) geçişte ışın yayınlanması, **d)** Tuzaklardan akseptörlere geçiş sonrasında ışın yayınlanması, **e)** Tuzaklardan direkt değerlik bandına geçiş sonrasında ışın yayınlanması.

Lüminesans olaylarına, uyarmanın çeşitliliğine göre yayına neden olan radyasyon tipini yansıtacak şekilde isimler verilmiştir (McKeever 1985). Bunlar:

- **Radyolüminesans (RL):** Hızlandırıcılardan, kozmik ışınlardan, radyoaktif maddelerden veya diğer kaynaklardan gelen yüksek enerjili parçacıkların etkisi ile meydana gelen lüminesans türüdür.
- **Katodolüminesans (CL):** Elektronların kristallere çarpmasıyla oluşabilen lüminesans türüdür.
- **Kemilüminesans:** Organik molekülün veya bir fosforun kimyasal reaksiyonu sırasında açığa çıkan enerjinin ışıması yoluyla oluşan lüminesans türüdür.

- **Tribolüminesans:** Mekanik deformasyon veya sürtünmeler sonucu meydana gelen ışınımıdır.
- **Biolüminesans:** Biyokimyasal uyarım ile oluşan lüminesans türüdür.
- **Sonolüminesans:** Yüksek frekanslı ses dalgaları veya fononlarla meydana gelen ışınımıdır.
- **Elektrolüminesans:** Malzemeye elektrik alanın uygulanması ile oluşan lüminesans türüdür.
- **Optiksel olarak uyarılmış lüminesans (OSL):** Radyasyona maruz kalmış malzemenin UV veya IR ile uyarılmasıyla elde edilen ışık yayınlanmasıdır.
- **Termolüminesans:** Uyarma için ışınlamaya tabi tutulan katılar sonradan sıcaklık yükseldiğinde bir ışımaya sergiler, bu ışımaya termolüminesans denir.
- **Fotolüminesans (PL):** Özellikle ultraviyole ışıkla uyarılan bir lüminesans türüdür. Fosforesans ve flüoresans olayı fotolüminesans ışınımının özel durumlarıdır.

Bu özel durumlar; uyarılmanın ardından yayımlanma ömrü olarak bilinen τ_c ile gösterilen karakteristik bir zamanda meydana gelir. Garlick (1949) ve Curie (1960) tarafından $\tau_c < 10^{-8}$ s ise "flüoresans" ve $\tau_c > 10^{-8}$ s ise "fosforesans" olarak adlandırılmıştır. Flüoresans, sıcaklıktan bağımsız olup uyarılmış seviyeden taban seviyesine geçiş olasılığı ile belirlenir. Fosforesans ise, uyarılmadan sonra belirli bir süre ışımaya devam eden lüminesans türüdür. Flüoresans ile fosforesans arasındaki farkı ayırt etmenin yolu lüminesans bozunum üzerine sıcaklığın etkisini incelemektir. Flüoresans bozunumu sıcaklıktan bağımsızken fosforesans, güçlü bir şekilde sıcaklık bağımlılığı sergiler (McKeever 1985).

2.4. Termolüminesans (TL)

Termolüminesans (TL) malzemeler, kristal yapılı yalıtkanlar ya da yarıiletkenlerdir. Böyle bir madde radyasyona maruz kaldığı zaman, ışınlanma sürecinde enerji soğurur ve ısıtılana kadar bu enerjiyi depo eder. TL mekanizmasının açıklanması elektron-bant teorisine dayanır. En basit modele göre (bir tuzak-bir merkez modeli) ideal bir kristalde elektronlar, iletkenlik bandından yasak bant aralığıyla ayrılan değerlik (valans) bantlarını işgal ederler. Gerçek bir kristalde çeşitli kusurlar,

iyonlaştırıcı radyasyonun ya da örgüdeki safsızlıklardan kaynaklanır. Her iki durumda da elektronlar yasak enerjilere sahip olabilirler. Işınlama sonucu elektronların değerlik bandından iletkenlik bandına uyarılmasıyla değerlik bandında holler oluşur. Bazı holler ve elektronlar ışık yayımıyla tekrar birleşebilir.

Esas olarak TL, kristal örgüdeki bozuklukların bir sonucudur. Yani safsızlık içermeyen bir materyalin TL özelliği göstermesi mümkün değildir. Tabii ki doğada ideal kristal yoktur. En iyi şekilde dizilmiş kristallerde bile başıboş safsızlık atomları, örgüdeki yerini terk etmiş atomlar ve bölgesel yanlış dizilmeler mevcuttur.

TL yöntemi, tuzak ve lüminesans merkezi içerdiği için karmaşıktır. Yalıtkan ya da yarıiletken, oda sıcaklığında ya da düşük sıcaklıklarda iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldığı zaman elektron değerlik bandından iletkenlik bandına geçer. Değerlik bandında ise bir boşluk oluşur. Her iki çeşit taşıyıcı tekrar yeniden birleşene ya da katı kristaldeki örgü kusurlarında tuzaklanana kadar kendi bantlarında hareketli hale gelir. Bu örgü kusurları TL yönteminde çok kritik bir rol oynar. Tuzaklanmış elektronlar, oda sıcaklığında depolandığı zaman uzun bir süre oldukları gibi kalırlar. Tuzaklanmış elektronlar, kristal ısıtıldığı zaman elektrona verilen yeterli enerjiden dolayı serbest kalabilirler. Bu elektronlar hol içeren uygun yeniden birleşme merkezleriyle ışık yayımıyla birlikte tekrar birleşene kadar kristal katıda hareket edebilirler. Kristalin ısısal olarak uyarılması sonucu oluşan bu ışınım "Termal Uyarmalı Lüminesans (TSL)" ya da kısaca "Termolüminesans (TL)" adı verilir (Çakır 2012).

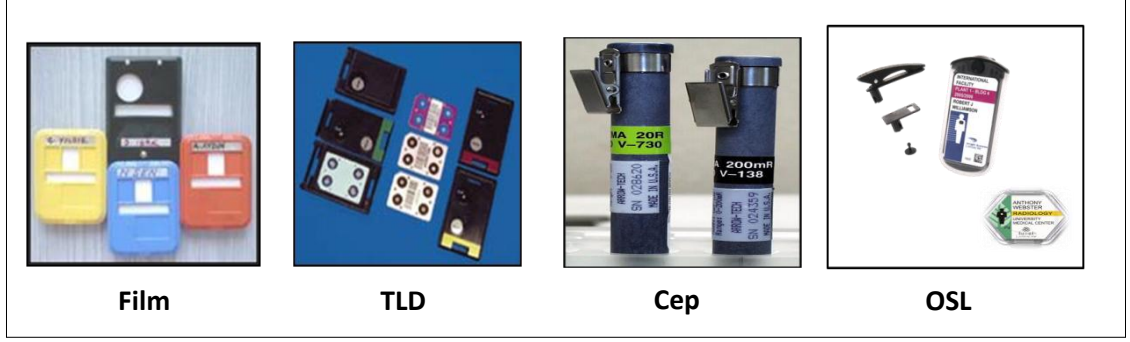
Işıma yayılımı, ısısal olarak uyarılmanın lineer bir ısıtma artışı ile sağlanır. Yayınlanan ışınımın, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kaydedilmesi sonucu elde edilen eğriye "ışım eğrisi" denir. Işıma eğrisinin altında kalan alan, tuzaklardan boşalan elektronların sayısı yani başlangıçta uygulanan radyasyon miktarı ile orantılıdır. Normal olarak ışım eğrisinin şekli, bazıları üst üste binebilen bir veya daha fazla tepeden (pikten) oluşur. Işıma tepe noktaları çeşitli enerji seviyelerindeki tuzakların bir göstergesidir. Işıma eğrisinin şekli, ışığa duyarlı alete ve özellikle de onun spektral yanıtına bağlıdır. Ayrıca, örnekle detektör arasına konulan farklı filtreler ile ışım eğrisi farklı gözlenebilir. Aynı zamanda, TL ışım eğrisinin şekli kullanılan ısıtma hızına da bağlıdır. Isıtma işleminin sonunda örnek hızlı bir şekilde soğutulur (Chen ve McKeever, 1995).

TL yöntemi, jeolojik ve arkeolojik örneklerin yaş tayininde, radyasyon dozimetrisinde (yani çevresel, kişisel ve klinik dozimetrisi) yaygın olarak kullanılmaktadır. Kayalar, mineraller, inorganik yarıiletkenler, amorf yapılar, yalıtkanlar, camlar, seramikler, organik bileşikler, biyolojik materyaller ve biyokimyasallarda TL ışınması gözlemlenmektedir. LiF, CaSO₄, BeO, CaF₂, Al₂O₃ ve Li₂B₄O₇ bileşikleri dozimetrik uygulamalardaki yaygın kullanımları sebebiyle en çok çalışılan TL materyalleri olmuştur.

2.5. Termoluminesans Dozimetre (TLD)

Çalışırken veya tedavi esnasında radyasyona maruz kalan kişilerin ne kadar radyasyona maruz kaldıklarının belirlenmesinde kullanılan cihazlara dozimetre denir. Dozimetreler, tüm radyasyon uygulama işlemlerinde doz ve doz hızının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Çakır 2012). Çeşitli radyasyonlardan dokuların soğurduğu enerjiyi ve dozu hesaplamak oldukça güçtür. Ancak, maruz kalınan X veya gama-ışını dozunun yaklaşık bir değeri ölçülebilmektedir. Genelde, bunun için radyasyonun iyonlaştırıcı özelliğinden yararlanılarak yapılmış çeşitli dozimetreler kullanılır.

Bu cihazların bir kısmı kişinin aldığı radyasyon dozlarını doğrudan okumayı mümkün kılarken; diğer bir kısmı doz okumaları ek bir cihaza ihtiyaç gösteren ve belirli bir zaman aralığında alınan toplam radyasyon dozunu ölçen cihazlardır. Termoluminesans dozimetreler son zamanlarda gittikçe gelişen ve önemi artan dozimetre çeşitlerindedir. TLD'ler, uzun bir doz menziline sahiptir. Doza orantılı cevaplar verirler ve tekrar tekrar kullanılabilirler. Hacimce küçük olmaları nedeniyle kolay değerlendirilebilirler. Sakıncalarından bazıları ise, okuma işlemi detektör üzerindeki doz etkisini sileceğinden her doz bir kez okunur. Bu nedenle, detektörlerin her doz ölçüm periyodu öncesi sıfırlanması gereklidir. Ayrıca sıcaklık, nem ve ışığa duyarlıdır. Diğer dozimetre türleri olarak, film dozimetresi, cep dozimetresi ve optik uyarmalı lüminesans (OSL) dozimetresi sıralanabilir. Radyasyon dozimetresinde kullanılan başlıca dozimetre çeşitleri Şekil 2.2'te gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Dozimetre türleri(Çakır 2012)

2.5.1. TLD için gerekli özellikler

Bir fosforun iyi bir TLD olarak kullanılabilmesi için aşağıda sıralanan özelliklere sahip olması gerekir (Çakır 2012):

- Basit ışımaya eğrisi: Işıma eğrisi, lüminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı olarak değişimini gösteren bir grafikdir. Işıma eğrisinin altında kalan alan, tuzaklardan boşalan elektronların sayısı yani başlangıçta uygulanan radyasyon miktarı ile orantılıdır. Dozimetre olarak kullanılacak bir fosforun tek bir tepeye sahip olması ışımaya eğrisinin analizini kolaylaştırdığı gibi, ön ısıtma ve tavlama işlemlerini de sadeleştirdiği için tercih edilir.
- Basit tavlama (fırınlama) ve ön ısıtma işlemi: Fosforun tüm tuzaklarının boşaltılması amacıyla yapılan tavlama (yüksek sıcaklıklara kadar ısıtma) işlemi, özellikle rutin çalışmalarda, fosforun TL özelliğini değiştirmeyecek bir sıcaklıkta ve kısa sürede gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Radyasyon verimi: Kullanılan fosforun, foton kaynağı ile ışınlanması sonucunda elde edilen TL şiddetinin ne kadar yüksek olduğunun bir göstergesidir. Bir fosforun yüksek foton hassasiyetine sahip olması, onun düşük radyasyon dozlarında yüksek TL şiddeti elde edilmesi ve böylece daha düşük radyasyon dozlarının ölçülebilmesi anlamını taşır. TL ölçümlerinde kullanılan fosforun hassasiyetinin tavlama ve ön-doza işlemleri ile artırılabilirliği gözlenmiştir (Horowitz 1984, Göksu ve Hübner 1997).
- Lineer doz bağımlılığı: Bir fosforun ışımaya şiddetinin radyasyon dozuna bağlı olarak değişiminin her bölgede lineer olmadığı bilinmektedir (Aitken 1985). Bu nedenle çalışmada kullanılacak fosforun radyasyon dozuna bağımlılığı incelenmeli ve bu bağımlılığın lineer olduğu kısımda çalışılmalıdır.

- Tekrar edilebilirlik: TL’de kullanılan fosforların hassasiyeti, tekrarlanan ısıtma ve radyasyon doz uygulamaları karşısında fosfordaki hassasiyet artışı minimum olmalıdır. Bu, aynı zamanda çalışmanın doğruluğunun kontrolünü ve karşılaşılabilecek sorunlarda tekrarını sağlayacaktır.
- Foton enerji-doz bağımlılığı: Işınlamada kullanılan fotonun enerjisine bağlı olarak belirli bir doz değeri için TL şiddetinde gözlenen farklılık o maddenin enerji bağımlılığı olarak tanımlanır. TLD’lerin en yaygın kullanıldığı medikal fizik uygulamalarında, bir dokuda soğurulan toplam doz değeri söz konusu olduğundan kullanılacak fosforun da etkin atom numarasının (Z_{etkin}) dokuya eşdeğer olması gerekir. LiF veya BeO gibi fosforların etkin atom numaraları dokuya eşdeğer ($Z_{\text{etkin}}=7.4$) oldukları için tercih edilirler (Horowitz 1984, McKeever 1995, Furetta 2003).
- Gün ışığına karşı duyarsızlık: Bazı maddelerde ışığın, elektronları tuzaklardan boşalttığı veya daha az derin tuzaklara taşıdığı bilinmektedir. Kullanılacak fosforun gün ışığına karşı duyarsız olması ya da bu duyarlılığın dozimetrenin doğru ölçümünü engellemeyecek kadar düşük olması gerekmektedir.
- TL sönüme uğramadan oda sıcaklığında en az birkaç ay depolanabilmesi(Fading): Bir TL fosforunda özellikle sıg tuzaklarda bulunan elektronlar oda sıcaklığında sönüme uğrayabilir. Bu durumda, fosforda depolanan radyasyon dozunda bir azalma meydana gelir. Bu etkinin azaltılması için fosfora kullanımdan önce ön ısıtma işlemi uygulanabilir veya ışımaya eğrilerinin daha kararlı bölgeleri dozimetre ölçümleri için kullanılabilir.
- Kullanım uygunluğu: TL fosforları, radyasyon dozu ölçülecek olan örnek üzerine kolayca yerleştirilmesi, ısıtıldığında sıcaklığın homojen olarak yayılması veya desimetrenin alt seviyelerinden çıkan TL ışımalarının detektöre (fotoçoğaltıcı tüp) ulaşması gibi nedenlerle küçük boyutlu yapılardır. Bunların dışında LiF, feldspat, zirkon, CaSO₄ gibi maddeler doğal olarak U, Th, K gibi radyoizotoplar içerirler. Bu nedenle fosforun kendi içindeki radyoaktif izotoplar, ölçülmesi istenen dozu etkileyebilirler. Kalibrasyon malzemesi olarak kuvars bu nedenle (saflığından) tercih edilir.

2.6. Termoluminesans Kinetikleri

Bir maddede gözlenen termoluminesans ışıma eğrileri, lüminesans ölçüm öncesi örneğe uygulanan işlemlere bağlı olarak değişir. Örneğin, maddeye uygulanan radyasyon dozuna ve ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak tuzaklardaki elektron sayıları değişeceğinden TL ışıma eğrilerinin biçimi de değişir. Genellikle, TL ışıma eğrilerinin ölçümü ve analizindeki asıl amaç madde içindeki TL sürecini tanımlayan parametrelerin belirlenmesidir. Örneğin, elektronların bulunduğu yarı kararlı enerji seviyeleri aktivasyon enerjisi veya tuzak derinliği E (eV) olarak ifade edilir. Frekans faktörü olarak bilinen s (s^{-1}) ise elektronların tuzaklardan kurtulma olasılığı ile ilgilidir. TL sürecinin kinetik mertebesi b ise tuzaklardan kurtulan elektronların birleşme merkezlerinde yakalanmadan önce geçirdikleri evreler ile ilgilidir.

Bir TL malzemenin ısıtılmasıyla elde edilen ışıma eğrisi çeşitli yollarla analiz edilebilir. Temel TL teorisini açıklayabilmek için iki farklı ifade kullanılabilir. Bu ifadeler, Randall ve Wilkins'ın birinci derece kinetik teorisi ile Garlick ve Gibson'ın ikinci derece kinetik teorisinden çıkarılmaktadır. Bununla birlikte birinci ve ikinci derece kinetiklere uymayan ama bu ikisi arasındaki kinetik derecelere karşılık gelen bir şekle sahip pek çok deneysel ışıma tepe noktaları vardır. Bu aradaki kinetik dereceleri tanımlamak içinse bütünüyle deneysel değerlere dayanan bir teori May ve Partridge tarafından önerilmiştir (Akın 2009). TL ışıma tepe noktalarının şekli, konumu ve şiddeti, TL yayınından sorumlu olan tuzaklama parametreleri E , s ve b ile ilgilidir.

2.6.1. Birinci derece kinetikler

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

i. Elektronların kendiliğinden serbest kalmasını önleyecek kadar düşük bir sıcaklıkta fosforun radyasyona tutulması,

ii. Örneklerin sabit bir ısıtma hızı ile ısıtılması.

Randall-Wilkins teorisi, birinci dereceden kinetiği temel alarak tek bir tuzak derinliğini göz önünde bulundurur. Dolayısı ile elektronların tekrar tuzaklanma

olasılığının çok küçük olduğu varsayılır. Bu durumda TL şiddeti (I), herhangi bir sıcaklıkta, doğrudan tuzaktan kurtulan elektronların sayısı ile orantılıdır:

$$I t = -c \frac{dn}{dt} = c p n \quad (2.1)$$

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

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

ve

$$P = s \exp(-\frac{E}{kT})$$

eşitlikleri göz önüne alınıp denklem (2.1)'de yerine yazılırsa:

$$I(t) = n_0 s \exp(-\frac{E}{kT}) \exp[-s t \exp(-\frac{E}{kT})] \quad (2.2)$$

olur. Burada $I(t)$, herhangi bir t anında elde edilen lüminesans şiddeti; n_0 , $t=0$ anında tuzaklarda bulunan tuzaklanmış elektron konsantrasyonu (m^{-3}); T , mutlak sıcaklık (K); E , aktivasyon enerjisi veya tuzak derinliği (eV); s , elektronların tuzaklardan kurtulma olasılığına bağlı frekans faktörü (s^{-1}) ve k , Boltzmann sabitidir ($eV K^{-1}$).

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

$$\frac{n}{n_0} \frac{dn}{n} = - \frac{t}{t_0} s \exp(-\frac{E}{kT}) dt$$

denklemini tekrar düzenlenerek n değeri için bir denklem elde edilir. Bulunan n ifadesi denklem (2.1)'de tekrar yerine yazılırsa;

$$I T = n_0 s \exp(-\frac{E}{kT}) \exp(-\frac{s}{\beta} \frac{T}{-T_0}) \exp(-\frac{E}{kT'}) dT' \quad (2.3)$$

şiddet ifadesi elde edilir. Fonksiyonun özellikleri Şekil 2.3'de gösterilmiştir ve (a) sabit E ve β için, n_0 ile değişimleri, (b) sabit n_0 ve β için, E ile değişimleri, (c) sabit E ve n_0 için, β ile değişimleri, ifade edilmektedir.

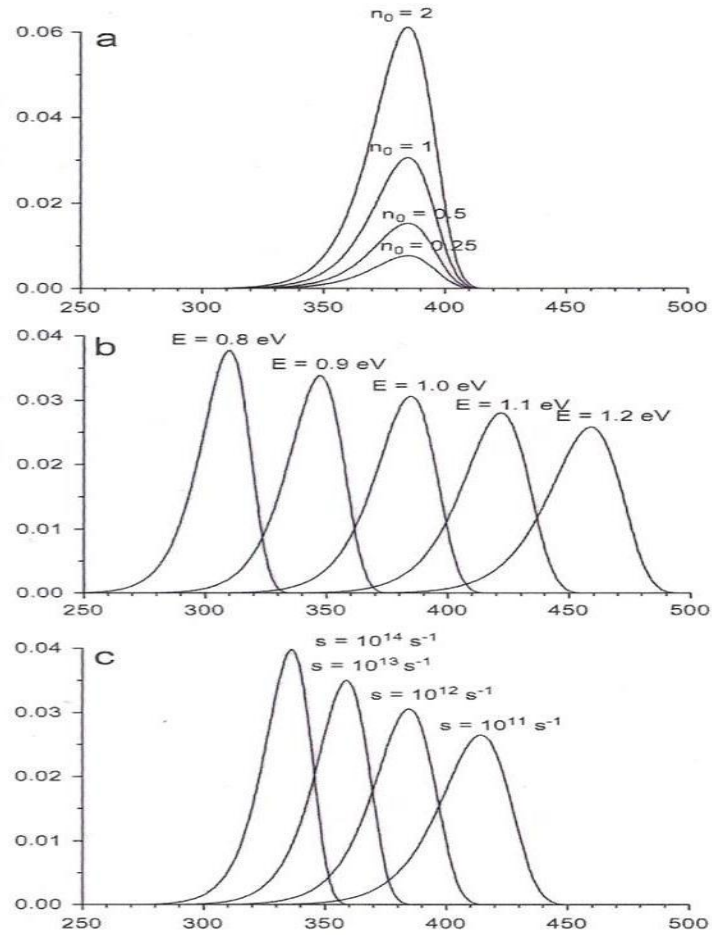
Birinci derece kinetiklerin maksimum koşulunu veren ifade;

$$\frac{\beta E}{k T_M^2} = s \exp - \frac{E}{k T_M} \quad (2.4)$$

şeklindedir. Bu eşitlik kullanılarak farklı ısıtma hızları için deneysel sonuçlardan bulunacak farklı T_M değerleri kullanılarak çizilecek grafikten, enerji seviyesi E ve frekans faktörü s değerleri rahatlıkla bulunabilir. Bu yöntem “farklı ısıtma hızları yöntemi” olarak adlandırılır. Denklem (2.4)’den bazı önemli sonuçlar elde edilebilir:

- Sabit bir ısıtma hızı için, E değeri arttırıldığında veya s azaltıldığında, T_M yüksek sıcaklıklara doğru kayar.
- Bir tuzak için (E ve s sabit değer olarak alınır) ısıtma hızı artarken, T_M daha yüksek sıcaklıklara doğru kayar.
- T_M, n_0 'dan bağımsızdır (dolayısı ile verilen dozdan da bağımsızdır).
- Toplam ışık miktarı S ise, bu şu şekilde ifade edilebilir;

$$S = \int_0^{\infty} I dt = -c \int_0^{\infty} \frac{dn}{dt} dt = -c \int_{n_0}^0 dn = c n_0 \quad (2.5)$$



Şekil 2.3. Randall-Wilkins birinci-derece TL denkleminin (a) n_0 ile değişimi, (b) E ile değişimi, (c) β ile değişimi (Bos 2007).

Denklemden anlaşıldığı gibi S , tuzaklanmış yüklerin başlangıçtaki sayısı ile doğru orantılıdır. Fakat ısıtma sürecinden bağımsızdır. Tuzaklanmış yüklerin sayısının radyasyon dozu ile orantılı olduğu bilinmektedir. Bu durumda S de radyasyon dozu ile orantılıdır. Bu özellik radyasyon dozimetresinde çok önemlidir (Furetta ve Weng 1998).

2.6.2. İkinci derece kinetikler

Garlick ve Gibson (1948), serbest bir yük taşıyıcısının ya tuzaklanma ya da TL merkezi ile yeniden birleşme olasılığına sahip olduğu durumu ele almıştır. İkinci dereceden kinetikler terimi yeniden tuzaklanmanın baskın olduğu durumu tanımlamak için kullanılmaktadır (Furetta 2003, Furetta ve Kitis 2004, Rasheedy 2006). Bu durumda denklem (2.6) kullanılmalıdır:

$$I t = \frac{dn}{dt} = -n^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.6)$$

Bu ifade, yeniden tuzaklanma olasılığının olmadığı kabul edilen birinci dereceden kinetiklerden farklıdır. Burada $s'=s/N$ niceliği ön-üstel faktör olarak adlandırılır ve birimi cm^3s^{-1} olan bir sabittir. $N (\text{cm}^3)$ ise tuzak yoğunluğudur.

Denk. (2.6)'nın integrali sabit T sıcaklığı için alınırsa aşağıdaki denklem elde edilir;

$$\begin{aligned} \frac{n}{n_0} \frac{dn}{n^2} &= -s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dt \\ \frac{1}{n_0} - \frac{1}{n} &= -s' t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \\ n &= n_0 \left[1 + s' n_0 t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \right]^{-1} \end{aligned} \quad (2.7)$$

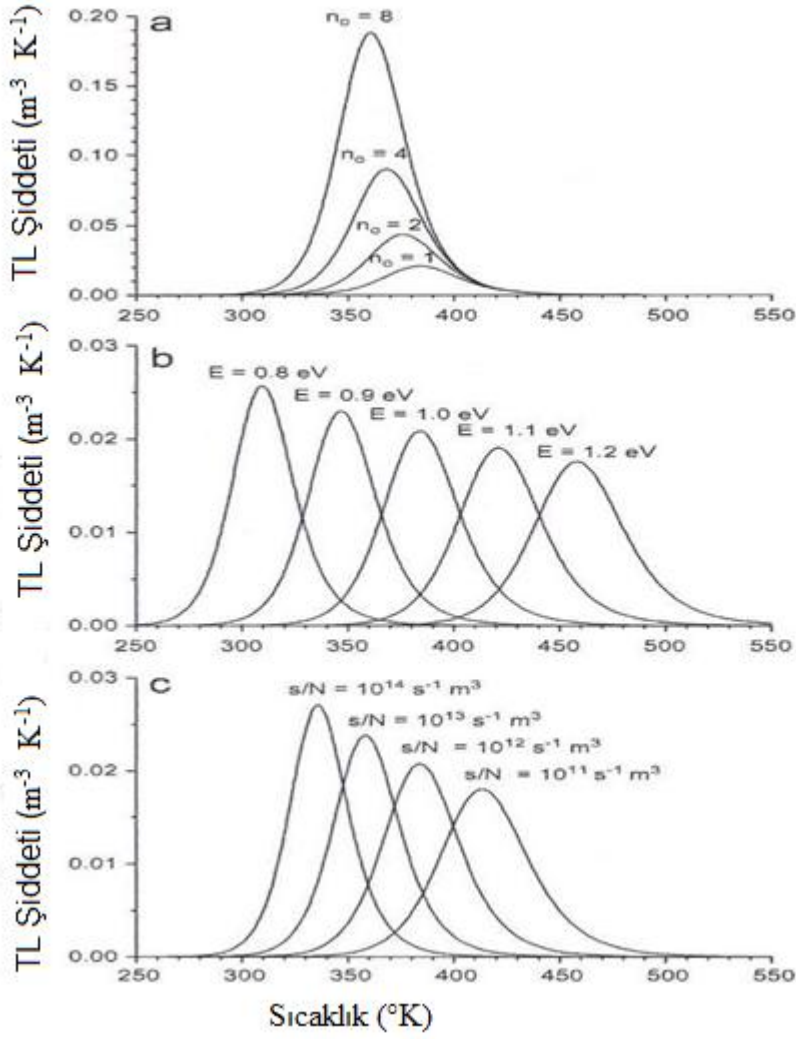
Denklem (2.7), denklem (2.6)'da yerine konup sabit bir ısıtma hızı için ($dt=dT/\beta$) gerekli integraller alındığında $I(T)$ ışık şiddeti:

$$I T = n_0^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \frac{s' n_0}{\beta} \frac{T}{T_0} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right]^{-2} \quad (2.8)$$

olarak elde edilir. Bu denklem ikinci dereceden Garlick-Gibson TL denklemi olarak bilinmektedir (Ege 2008). Bu denklemin çözümü olan TL ışımaya eğrisinin yüksek sıcaklık bölgesinde kalan kısmı, düşük sıcaklık bölgesinde kalan kısmından daha geniştir. Garlick-Gibson TL denklemi türetilirken ısıtma sürecinde serbest kalan elektronların yeniden tuzaklar tarafından yakalanma olasılığı hesaba katıldığı için lüminesans yayınlanmadaki artışın bir miktar gecikmesi ve böylece eğrinin yüksek sıcaklık bölgesinde kalan kısmının daha geniş olması beklenen bir sonuçtur (Şekil 2.4).

$I(T)$ 'nin logaritması alınır, daha sonra türevi alıp sifıra eşitlenirse tepe sıcaklığına bağlı olarak aşağıdaki denklem elde edilir;

$$\frac{\beta E}{2kT_M^2} \left[1 + \frac{s' n_0}{\beta} \frac{T}{T_0} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right] = s' n_0 \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (2.9)$$



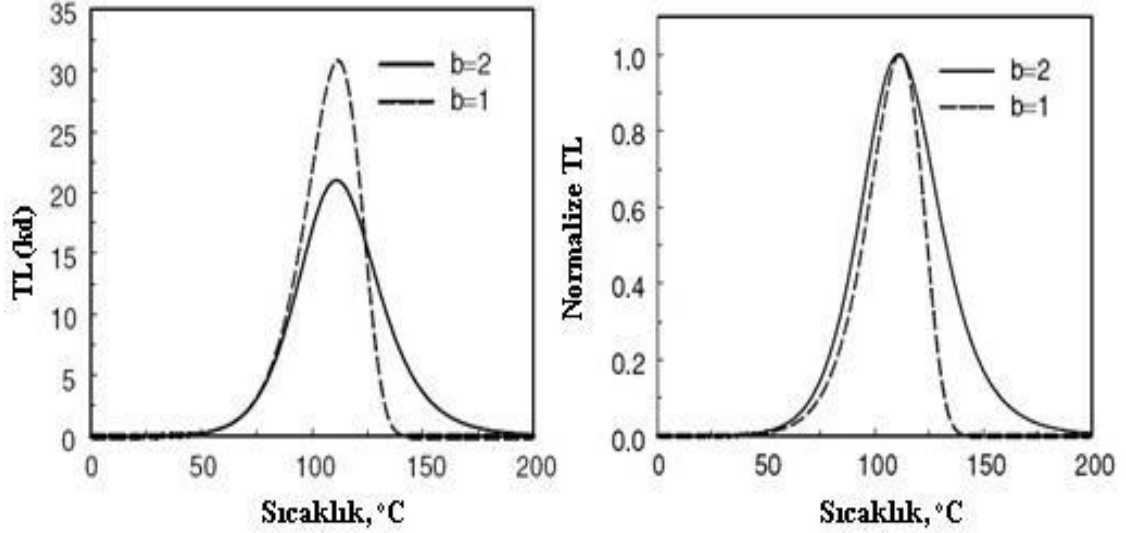
Şekil 2.4. Garlick-Gibson ikinci-derece TL denkleminin (a) n_0 ile değişimi, (b) E_t ile değişimi, (c) β ile değişimi (Bos 2007)

İkinci derece kinetiğin baskın olduğu durumlarda yeniden tuzaklanan elektronlardan kaynaklı gecikmeden dolayı T_M %1'lik bir dereceyle artış gösterir. Tuzaklanmış elektronların serbest kalması T_M sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerinde gerçekleştiğinden ışık yayılımı, T_M 'nin altındaki sıcaklıklarda meydana gelir.

Sabit bir E değeri için β arttırıldığında veya s' azaldığında T_M artar. Sabit bir β değeri için T_M , E ile doğru orantılı bir sonuç verir (Furetta ve vd. 1998).

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

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



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

2.6.3. Genel derece kinetikler

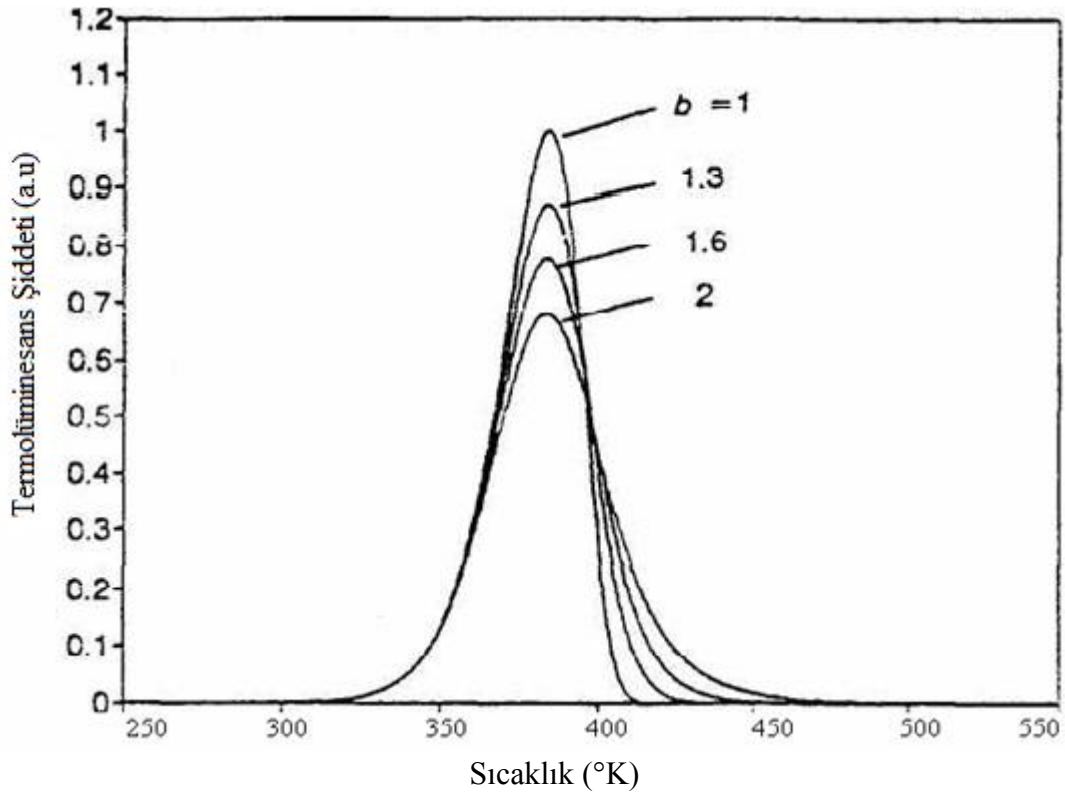
Birinci ve ikinci derece kinetik denklemleri, bazı özel durumlara özgü basitleştirici kabuller göz önüne alınarak yazılmıştır. Bu özel durumların söz konusu olmadığı ve genel derece kinetikleri adı altında incelenen TL süreçleri içinse May ve Partridge (1964);

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

ile verdikleri deneysel bir ifade kullanmışlardır. Burada s' ; $\text{m}^{3(b-1)} \text{ s}^{-1}$ boyutunda olup b genel derece parametresi olarak tanımlanır ve kinetik derecenin sayısal değeridir. Ayrıca, mutlaka tamsayı değer almak zorunda değildir. Denklem (2.10)'un $b \neq 1$ durumu için integrali alınır TL ışımaya şiddeti;

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

bulunur. Burada $s'' = s' n_0^{(b-1)}$ ile verilir ve s^{-1} birimine sahiptir. Kinetik derecesi olan b , 1'e yaklaştığı zaman (2.11) denklemi Randall-Wilkins'ın birinci derece kinetik denklemine dönüşür. $b=2$ olduğu zaman ise denklem ikinci derece kinetik yada diğer adıyla Garlick-Gibson denklemine dönüşür. s' parametresinin $m^{3(b-1)} s^{-1}$ boyutunda olması, boyutun genel derece parametresi b 'ye bağlı olarak değiştiği anlamına gelir, bu durum ise sürecin fiziksel olarak yorumlanmasını zorlaştırır. Genel derece durumu, kinetik parametrenin ara değerler aldığı durumlar için kullanışlıdır. $b \rightarrow 1$ ve $b \rightarrow 2$ olduğu ara durumlarda ışıma eğrisi, sırasıyla birinci ve ikinci derece ışıma eğrisi biçimlerini almaktadır (Chen ve McKeever 1997). Şekil 2.6'da birinci, ikinci ve ara derece kinetiklere ait eğriler karşılaştırılmaları olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Birinci derece kinetik ($b=1$), ikinci derece kinetik ($b=2$) ve ara derece kinetikler ($b=1.3$ ve $b=1.6$) için $b=1$ °K/s, $E_f=1$ eV ve $n_0=n=1$ alınarak elde edilen TL tepelerinin karşılaştırılması. Eğriler birinci derece tepenin TL şiddeti 1 olacak şekilde normalize edilmiştir (Chen ve McKeever 1997)

2.7. Kinetik Parametreleri İçin Analiz Yöntemleri

Aktivasyon enerjisi (E), kinetik derece (b), frekans faktörü (s) gibi kinetik parametrelerin bilinmesi, bir fosforun TL mekanizmasının anlaşılmasında büyük bir öneme sahiptir. Kinetik parametrelerin analizinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler; bilgisayarla ışıma eğrisi ayrıştırma yöntemi (CGCD), pik şekli yöntemi (PS), başlangıçtaki artış yöntemi (IR), izotermal bozunum yöntemi (ID), maksimum TL şiddetindeki sıcaklığa bağlı yöntem, üç nokta yöntemi ve çeşitli ısıtma hızlarına dayalı olan yöntemlerdir. Bu tez çalışmasında, okumaları yapılmış ışıma eğrileri kullanılarak, La-katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının ana TL ışıma tepe noktalarının kinetik parametreleri CGCD, PS ve IR yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir.

Herhangi bir analize başlamadan önce, üzerinde çalışılan TL tepesinin, diğer tepelerden düzgün bir şekilde ayrıştırılması gerekmektedir. Bu ayrıştırma yöntemi, temizleme tekniği diye adlandırılır ve birçok araştırmacı tarafından önerilmiştir (Hoogenstraten 1958, Gartia ve Ratnam 1975). Bu teknikle, uygun bir termal yaklaşım seçilerek çalışılan tepenin sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki tüm tepeler silinebilir (Hoogenstraten 1958). Termal temizleme tekniğinde analiz edilecek örnek, ışıma eğrisindeki ilk tepenin maksimum sıcaklığının hemen ardı bir sıcaklığa kadar ısıtılır, bu yolla söz konusu tepeden sorumlu olan yeteri kadar çok tuzak boşaltılmış olur. Daha sonra örnek hızla soğutulur, ardından bir sonraki tepenin maksimum sıcaklığına göre daha yüksek bir sıcaklığa kadar yeniden ısıtılır ve bu işlem takip eden tepeler için de sırasıyla tekrarlanır. Fakat, birbirine çok yakın olan üst üste binmiş tepeler için bir önceki tepenin tam olarak yok edilememesi söz konusu olabilir. Ayrıca TL ışıma tepesi, yüksek sıcaklık radyasyonu ile oda sıcaklığında optiksel soldurma ile ya da uygun bir frekansta fotonlarla uyarım yoluyla ayrıştırılabilir (Gürler 2006).

2.7.1. Bilgisayarla ışıma eğrisi ayrıştırma (CGCD) yöntemi

Bilgisayarla ışıma eğrisi ayrıştırma (CGCD) yöntemi, TL ışıma eğrilerinin analizinde tuzak parametrelerini belirlemek için kullanılır. Dağıtımı ve kullanımı programcıları tarafından ücretsiz olarak sunulan başlıca CGCD programları, sadece birinci dereceden üst üste binmiş TL ışıma tepelerini ayrıştırabilen GlowFit (Bilski ve

Puchalska 2006), MATLAB tabanlı olarak yazılmış GCAFIT (Abd El-Hafez ve vd. 2011) ve Kore Atom Enerjisi Kurumu Araştırma Enstitüsü'nden Ki Soo Chung ve arkadaşları (2005) tarafından yazılmış olan ve kinetik derecelerin tamamını ayrıştırabilen “TL Glow Curve Analyzer” (*TLanal*) programlarıdır. Bu programların algoritmaları temel Termoluminesans kinetik denklemlerinin nümerik çözümlerine dayalı olarak oluşturulmaktadır. Hollanda'daki Delft Reaktör Enstitüsü'nde geliştirilen CGCD programı (Bos 1993) ise ışıma eğrisini aynı anda en az dokuz tepeye ayırma kapasitesine sahiptir ve programda iki farklı model kullanılmıştır. İlk modelde, ışıma eğrisi birinci derece kinetiğinden elde edilir. İkinci modelde, ışıma eğrisi genel mertebe kinetiğinden elde edilir. Tüm tepelerin ve doğal fonun katkısının toplamı, aşağıda formülü verilen ışıma eğrisini oluşturur.

$$I(T) = \sum_{i=1}^n I_i(T) + a + b \exp T \quad (2.12)$$

Burada $I(T)$, uyarlanmış toplam ışıma eğrisi; a , diskin ve dozimetrelerin gürültü katkısıdır. Denklem (2.12)'den başlanarak en düşük alana indirgeme işlemi ve yararlılık şekli (FOM), uygun sonuçlar elde edilip edilmediğini kontrol etmek için kullanılır. FOM, aşağıda belirtilen denklemle verilir:

$$FOM = \sum_{i=1}^n \frac{N_i(T) - I_i(T)}{A} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta N_i(T)}{A} \quad (2.13)$$

Bu denklemde $N_i(T)$, i 'ninci deneysel noktayı; $I_i(T)$, i 'ninci noktanın TL şiddetini; A , ışıma eğrisinin altında kalan alanı ifade etmektedir. Eğer FOM değerleri %0.0 ile %2.5 arasında ise eğri seçme işlemi iyi, %2.5 ile %3.5 arasında ise kabul edilebilir, %3.5'un üzerinde ise kötüdür. Deneysel olarak bulunan ve seçilen ışıma eğrileri arasındaki uzlaşmayı göstermek için çizilecek grafiğin denklemi aşağıdaki denklem ile verilmektedir:

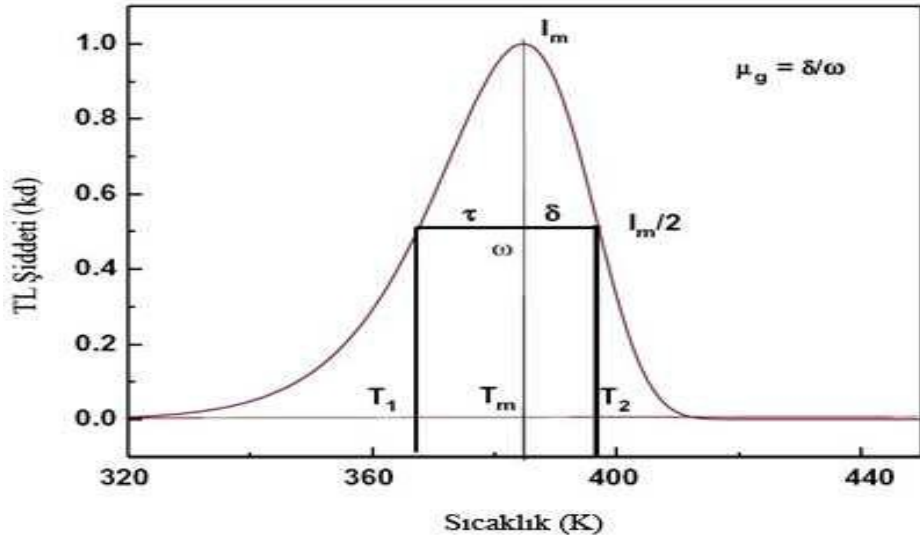
$$X(T) = \frac{N_i(T) - I_i(T)}{I_i(T)} \quad (2.14)$$

Bu tez çalışmasında La-katılı ZnB_2O_4 fosforlarının kinetik parametrelerinin belirlenmesinde GlowFit programı kullanılmıştır.

2.7.2. Pik şekli yöntemi (PS)

Kinetik parametrelerin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden biride pik şekli yöntemidir (PS). Bu yöntemde, tepe noktasının geometrik özellikleri veya şekli dikkate alınarak TL ışıma eğrisinin analizi yapılır. Birinci dereceden kinetikler için TL ışıma tepe noktaları asimetrik iken, ikinci derece kinetikler için TL ışıma pikleri hemen hemen simetrik bir şekle sahiptir. TL ışıma eğrisinin geometrik şekil parametreleri olarak bilinen parametreler Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Burada;

- T_m : Maksimumdaki tepe noktası sıcaklığı,
- T_1 ve T_2 : T_m ' nin yarı şiddetinde her iki yanındaki sıcaklık değerleri,
- $\tau = T_m - T_1$: Tepe noktasının düşük sıcaklık tarafındaki yarı genişlik değeri,
- $\delta = T_2 - T_m$: Tepe noktasının yüksek sıcaklık kısmındaki yarı genişlik değeri,
- $\omega = T_2 - T_1$: Işıma tepe noktalarının toplam yarı genişlik değeri
- $\mu_g = \delta/\omega$: Geometrik şekil veya simetri faktörü olarak adlandırılır (Pagonis 2006).



Şekil 2.7. TL ışıma eğrisinde geometrik şeklin parametreleri (τ , δ ve ω)

E 'yi hesaplamak için ışıma eğrisinin şeklini ilk olarak kullanan Grossweiner'dır (Grossweiner 1953). Yöntem, maksimum TL şiddetinin gözlemlendiği sıcaklığa (T_m) ve düşük sıcaklıktaki yarı şiddete bağlıdır (T_1). Grossweiner'ın birinci mertebeden kinetiğe göre elde ettiği E ifadesi aşağıdaki denklemlerle verilir;

$$E = 1.51 k \frac{T_m T_1}{T_m - T_1} \quad (2.15)$$

Grossweiner'in elde ettiği 1.51 faktörü Chen tarafından deneysel olarak düzeltilmiş ve 1.41 olarak belirlenmiştir (Chen 1969). Bu düzeltme, E 'yi daha doğru bir şekilde hesaplanmasında faydalı olmuştur.

Lushchik, ışıma eğrisinin şekline dayanan hem birinci hem de ikinci dereceden kinetiğe göre E 'nin hesaplanması için yöntem geliştirmiştir (Lushchik 1956). Yukarıda tanımlanan δ parametresine göre bir ışıma piki yaklaşık olarak üçgendir. Birinci dereceden kinetikler için E ifadesi,

$$E = \frac{kT_m^2}{\delta} \quad (2.16)$$

şeklindedir. İkinci dereceden kinetikler için Lushchik formülü (Grossweiner 1953) ise,

$$E = \frac{2kT_m^2}{\delta} \quad (2.17)$$

şeklindedir. Chen, E değerini en doğru şekilde elde etmek için denklem (2.16) 0.978 ile denklem (2.17)'i ise 0.853 ile çarparak düzeltmiştir (Chen 1969).

Halperin ve Braner T_1 ve T_2 'yi kullanarak ışıma eğrisine farklı bir yaklaşım getirmiştir (Braner and Halperin, 1960):

$$E = \frac{1.72}{\tau} kT_m^2 (1 - 2.58\Delta_m) \quad (\text{Birinci derece için}) \quad (2.18)$$

$$E = \frac{2}{\tau} kT_m^2 (1 - 3\Delta_m) \quad (\text{İkinci derece için}) \quad (2.19)$$

Burada, $\Delta_m = \frac{2kT_m}{E}$ dir. Halperin ve Braner'in denklemlerinde E 'yi veren bağıntının içinde yine E 'ye bağlı Δ_m 'nin olmasından dolayı tekrarlanan bir işlem gerekmektedir. Bu zorluğu ortadan kaldırmak için, Chen yeni bir metot geliştirmiş ve aşağıdaki ifadeleri elde etmiştir (Braner and Halperin 1960):

$$E = 2kT_m (1.58 \frac{T_m}{\omega} - 1) \quad (\text{Birinci derece için}) \quad (2.20)$$

$$E = 2kT_m \left(1.76 \frac{T_m}{\omega} - 1 \right) \quad (\text{İkinci derece için}) \quad (2.21)$$

Chen, E 'nin değerlendirilmesi için genel bir ifade de türetmiştir. Onun bu yöntemi 0.1-0.2 eV arasında değişen geniş bir enerji bölgesinde ve 10^5 - 10^{23} s⁻¹ ön-üstel faktör aralığında yararlıdır (Chen 1969 a,b). Ayrıca Chen yöntemi herhangi bir tekrarlamalı işlemlere gerek duymazken, pik şeklinden bulunan μ simetri faktörü kullanılarak bulunan kinetik derecenin bilgisine de ihtiyaç duymaz. Denklemler aşağıda verildiği gibi özetlenebilir:

$$E_\alpha = c_\alpha \frac{kT_m^2}{\alpha} - b_\alpha 2kT_m \quad (2.22)$$

burada α ; τ , δ ve ω yerine kullanılmıştır. c_α ve b_α aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$c_\tau = 1.51 + 3.0 \mu - 0.42 \quad b_\tau = 1.58 + 4.2 \mu - 0.42 \quad (2.23)$$

$$c_\delta = 0.976 + 7.3 \mu - 0.42 \quad b_\delta = 0 \quad (2.24)$$

$$c_\omega = 2.52 + 10.2 \mu - 0.42 \quad b_\omega = 1 \quad (2.25)$$

Eğer $\mu = 0.42$ ise birinci derece TL ısıma tepe noktası olduğu söylenir. İkinci derece tepe noktaları için ise $\mu = 0.52$ 'dir.

Lineer sıcaklık artış oranı $b=2$ K/s alınarak, genel dereceden frekans faktörü s aşağıda verilen ifade kullanılarak hesaplanabilir:

$$s = \frac{\beta E}{kT_m^2} \exp\left(\frac{E}{kT_m}\right) \left[1 + (b-1) \frac{2kT_m}{E} \right]^{-1} \quad (2.26)$$

Burada, β ısıtma hızıdır (Braner ve Halperin 1960, Chen 1969, Furetta 2003).

2.7.3. Başlangıçtaki artış yöntemi (IR)

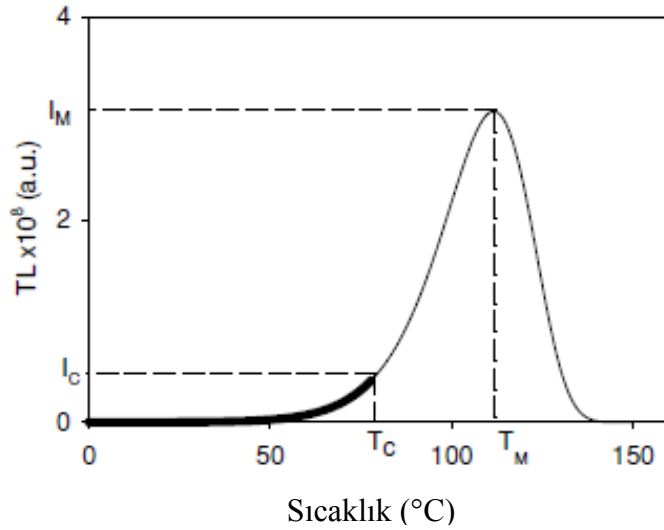
Başlangıçtaki artış yöntemi (IR) ile analiz ilk olarak Garlic ve Gibson (Garlic ve Gibson 1948) tarafından önerilmiştir. Bir TL ışıma tepe noktasının düşük sıcaklık kısmında tuzaklanan elektronların miktarı (n_0) yaklaşık olarak sabit kabul edilebilir. Çünkü $n(T)$ 'nin sıcaklığa bağımlılığı bu sıcaklık bölgesinde ihmal edilebilir. Sıcaklık tepe maksimumundan küçük bir T_C sıcaklığına yükseldikçe,

$$I_{TL} = n_0 s \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) \exp \left(-s/\beta \right) \frac{T}{T_0} \exp \left(-\frac{E}{k\theta} \right) d\theta \quad (2.27)$$

denklemindeki ilk üstel terim artarken ikinci üstel terim bire eşit olur. Sıcaklık arttıkça ($T > T_C$) ikinci terim azalmaya başlar. Bundan dolayı birinci ve genel derece kinetik denklemleri aşağıdaki ifadeyle basitleştirilir:

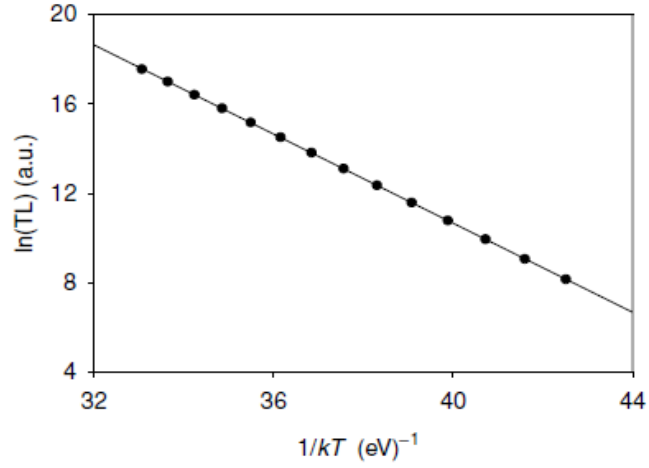
$$I T = A \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) \quad (2.28)$$

Burada, A bir sabittir ve TL şiddeti kinetik dereceden bağımsızdır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Termoluminesans ışıma eğrisinin başlangıçtaki artış kısmı

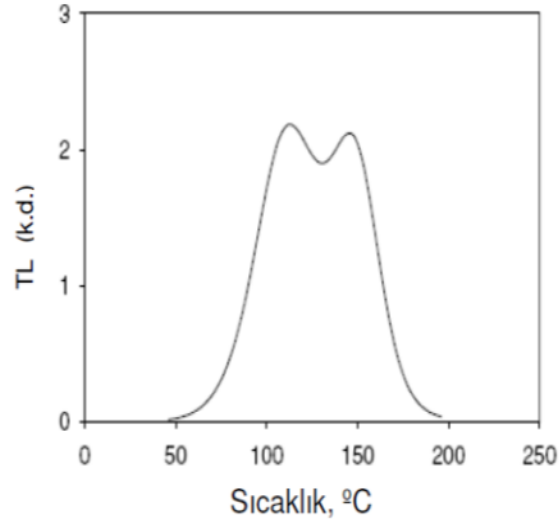
Başlangıçtaki artış yöntemi uygulamasında çizilen $1/kT - \ln(I)$ grafiğinde lineer grafik elde edilir. Bu doğrunun eğimi $-E$ 'yi verir, aktivasyon enerjisi frekans faktörü bilgisi olmadan değerlendirilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. TL ışıma eğrisinin başlangıçtaki artış kısmına uygulanan başlangıçtaki artış grafiği

Bu yöntem yalnızca maksimumdaki tepe noktası sıcaklığı T_M 'nin ancak %10'una kadar olan başlangıç bölgesine uygulanabilir (Yazıcı ve vd. 2002). Tepe noktasının başlangıcında şiddet çok düşük veya ışıma eğrisi birden fazla ışıma tepesinden oluşuyorsa, elde edilen aktivasyon enerjileri asıl değerlerini yansıtmaz (Yazıcı ve vd. 2002). Bundan dolayı, E değerlerindeki hataları azaltmak için yüksek sıcaklık tepeleri kullanılır (Yazıcı ve vd. 2002).

Eğer, TL ışıma eğrisi iki veya daha fazla üst üste binen tepeden oluşuyorsa bu yöntem kullanılmaz (Türkler 2010). Örnek olarak üst üste binen tepeden oluşan bir ışıma eğrisi grafiği Şekil 2.10'da gösterilmiştir (Türkler 2010). Buna benzer durumlara da başlangıçtaki artış yöntemini uygulayabilmek için ısısal temizleme yöntemi geliştirilmiştir (Yüksel 2008). Bu yöntemde numune, ilk tepenin maksimumundan daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılır (Yüksel 2008). Numune bir sonraki tepenin sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılır. Böylece yöntem tüm tepelere uygulanabilir (Yüksel 2008).



Şekil 2.10. Başlangıç artış yönteminin başarısız olduğu üst üste binen bir TL ışıma eğrisi

2.7.4. İzotermal bozunum yöntemi (ID)

İzotermal bozunum yönteminde (ID), deneysel aşamada örnekler ışılandıktan sonra, belli bir sıcaklığa kadar hızlı bir şekilde ısıtılır ve belli bir süre o sıcaklıkta tutulur. Işık çıkışı yani TL şiddeti zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür ve böylece tuzaklanan elektronların bozunum hızını belirlemek mümkün olur. Sabit sıcaklıkta TL şiddetinin zamana göre değişimini veren grafikler izotermal bozunum eğrileri olarak adlandırılır.

İzotermal bozunum analiz yöntemi, Garlick ve Gibson tarafından birinci derece kinetikleri için tanımlanmıştır. Birinci derece kinetik TL pikleri için bir T_i sıcaklığındaki izotermal bozunum eğrileri, zamanın bir fonksiyonu olan üstel grafiklerdir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir (McKeever 1985):

$$I = I_0 \exp -s \exp -\frac{E}{kT_i} t \quad (2.29)$$

Burada, I_0 , $t=0$ anındaki başlangıç şiddetidir. Bu denklem birinci derece kinetikleri için zamana göre $\ln(I)$ 'nin grafiğinin lineer olduğunu gösterir ve doğrunun eğimi (m_i)

$$m_i = -s \exp -\frac{E}{kT_i} \quad (2.30)$$

olarak elde edilir. Bu denklemin tekrar doğal logaritması alınırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\ln(m_i) = \ln s - \frac{E}{kT_i} \quad (2.31)$$

$1/kT$ 'ye karşı $\ln(m_i)$ 'nin grafiği düz bir doğru olmalıdır. Bu doğrunun eğimi $= -E$ 'ye ve y eksenini kestiği yer $\ln s$ 'ye eşit olur. Eğer deney T_1 ve T_2 gibi iki farklı sabit sıcaklıkla yapılırsa, m_1 ve m_2 şeklinde iki farklı eğim elde edilir ve denklem (2.31)'den yararlanarak,

$$\ln \frac{m_1}{m_2} = \frac{E}{k} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (2.32)$$

denklemini elde edilir. Bu denklem E 'yi hesaplamak için kullanılabilir.

May ve arkadaşları ile Takeuchi ve arkadaşları tarafından genel derece kinetikler için izotermal bozunum analizlerinin uygulamaları önerilmiştir (Pagonis ve ark. 2006). Bu durumda kullanılan izotermal analizler ile b kinetik derecesini de bulmak mümkündür. Sıcaklığı sabit tutup genel derece kinetikler için denklem (2.10)'nun zamana göre integrali alınarak,

$$I(T) = I_0 \left[1 + s'n_0^{b-1} (b-1) t \exp \left(-\frac{E}{kT} \right)^{\frac{b}{1-b}} \right] \quad (2.33)$$

ifadesi elde edilir. Burada I_0 , başlangıç TL şiddeti; n_0 , tuzaklanan elektronların başlangıç konsantrasyonu; $I(T)$, t zamanındaki TL şiddetidir. I_0 , aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$I_0 = s'n_0^b \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) \quad (2.34)$$

Denklem (2.33)'in yeniden düzenlenmesiyle

$$\frac{I(T)}{I_0}^{\frac{1-b}{b}} = 1 + s'n_0^{b-1} (b-1) t \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) \quad (2.35)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklem uygun bir b değeri için $\frac{I(T)}{I_0}^{\frac{1-b}{b}}$,nin zamana karşı çizilen grafiğinin düz bir doğru olması gerektiğini gösterir.

Farklı izotermal bozunum sıcaklıkları kullanılarak, bir seri doğru elde edilir ve aktivasyon enerjisi E , $\ln(m)$ 'nin $1/kT$ 'ye karşı çizilen grafiğinden bir eğim belirlenebilir.

$$m = s' n_0^{b-1} b - 1 t \exp - \frac{E}{k T} \quad (2.36)$$

Alternatif olarak, b kinetik derecesi May ve Patridge'nin ifadeleri kullanılarak belirlenebilir.

$$\ln \frac{dI}{dt} = \ln C + \frac{2b-1}{b} \ln I \quad (2.37)$$

$\ln \frac{dI}{dt}$ 'ya karşı $\ln I$ 'nin grafiği çizilirse, doğrunun eğimi $m = \frac{2b-1}{b}$ şeklinde bulunur. Buradan yararlanarak b değeri belirlenebilir (Türkler 2010).

2.7.5. Üç nokta yöntemi

Üç nokta yöntemiyle üst üste binmiş tepelerden oluşan karmaşık TL ışıma eğrilerinde birbirinden bağımsız her bir tepenin TL tuzak parametreleri (E , b ve s) hesaplanabilir.

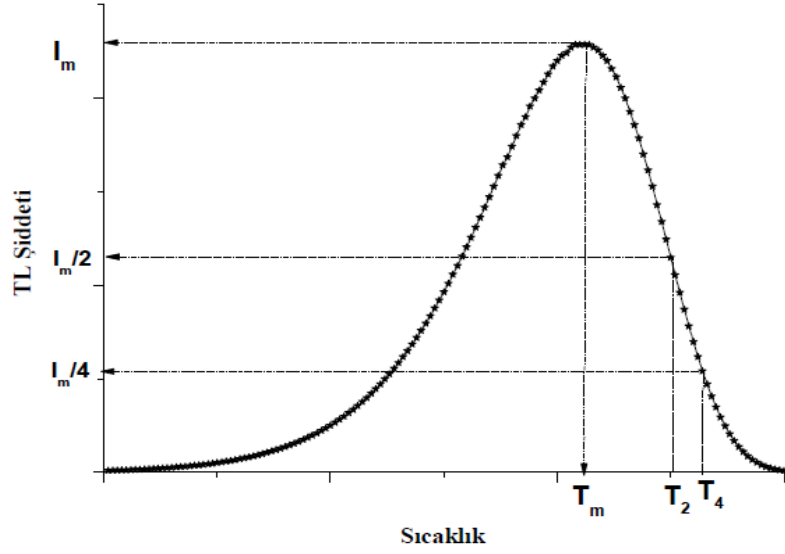
Genel dereceden kinetikler için verilen bağıntılardan hareketle aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$I = - \frac{dn}{dt} = \frac{n^b}{N^{b-1}} \exp - \frac{E}{k T} \quad (2.38)$$

$$I_M = \frac{A_M^b}{N^{b-1}} \exp(-\frac{E}{kT}) \quad (2.39)$$

Burada A_M , maksimum tepe şiddetinin altında kalan alandır.

Bir TL ışıma tepesi için sıcaklık parametreleri ve bu parametrelere karşılık gelen ışıma şiddetleri Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Bir TL ışıma tepesi için sıcaklık parametreleri ve bu parametrelere karşılık gelen ışıma şiddetleri

Şekil 2.11’de gösterilen parametreler kullanılarak aşağıdaki denklemler yazılabilir:

$$I_2 = \frac{I_M}{2} = \frac{A_2^b}{N^{b-1}} s \exp\left(-\frac{E}{kT_2}\right) \quad (2.40)$$

$$I_4 = \frac{I_M}{4} = \frac{A_4^b}{N^{b-1}} s \exp\left(-\frac{E}{kT_4}\right) \quad (2.41)$$

Burada A_2 , maksimum tepe şiddetinin yarısını ve A_4 , maksimum tepe şiddetinin dörtte bir kadarlık şiddete sahip olan bölgenin sağ yarısının altında kalan alandır.

Denklem (2.39), denklem (2.40) ve denklem (2.41)’nin doğal logaritması alınıp düzenlenirse aşağıdaki ifadeler elde edilir;

$$E = \frac{\ln 2 - b \ln \frac{A_M}{A_2} kT_M T_2}{T_M - T_2} \quad (2.42)$$

$$E = \frac{\ln 2 - b \ln \frac{A_M}{A_4} kT_M T_4}{T_M - T_4} \quad (2.43)$$

Denklem (2.42) ve denklem (2.43) kullanılarak E parametresi hesaplanabilir. Bu denklemlerden E ’nin yok edilmesi ile b parametresi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$b = \frac{T_2 T_M - T_4 \ln 2 - T_4 T_M - T_2 \ln 4}{T_2 T_M - T_4 \ln \frac{A_M}{A_2} - T_4 T_M - T_2 \ln \frac{A_M}{A_4}} \quad (2.44)$$

3. KAYNAK ÖZETLERİ

3.1. Termolüminesans İle İlgili Önceki Çalışmalar

Borlu bileşiklerin TL özelliklerinin incelenmesine, ilk 1967'de Schulman ve arkadaşları tarafından başlanmıştır (Çakır 2012). Daha sonra özellikle lityum ve magnezyum borlu bileşikler üzerine ayrıntılı TL incelemeleri günümüze kadar sürmüştür. Literatür incelendiğinde, lityum borat, magnezyum borat, baryum borat ve diğer metal boratlarla ilgili pek çok çalışmaya rastlanmıştır. Malzemelerin hazırlanmasında genellikle katı-hal reaksiyon metodunun kullanıldığı görülmüştür.

Furetta ve arkadaşları (1999), Dy ve Na ile katkılanmış magnezyum boratın bazı TL özelliklerini incelemişler ve bu materyal için TL cevabının, soğurulan dozla çok iyi bir lineerlik gösterdiğini gözlemişlerdir.

Kitis ve arkadaşları (2000), bazı doku eşdeğeri TL materyallerin kinetik parametrelerini birkaç metot kullanarak belirlemişlerdir. İncelenen dört çeşit TL dozimetresi $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$: Mn, Si; $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$: Cu; $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$: Cu, In ve MgB_4O_7 : Dy, Na'dır.

Li ve arkadaşları (2004), Dy katkılı BaB_4O_7 polikristal toz örneklerini katı-hal reaksiyon metoduyla hazırlamışlar ve bu örnekleri ^{60}Co gamma ışını radyasyonu ile ışınlamışlardır. Işınlanan örneklerin TL ışımaya eğrilerini ve üç boyutlu TL emisyon spektrumlarını 20-130 kGy doz aralığında 293 K'de incelemişlerdir. Dy katkılı BaB_4O_7 polikristal toz örneklerinin 1-100 Gy klinik doz seviyeleri için gamma ışını radyasyonuna TL doz cevabının hemen hemen lineer bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlardan, bu örneklerin klinik dozimetri için gamma-ışını TL dozimetre materyali olarak kullanılabilmesi vurgulanmıştır.

Manam ve Sharma (2005), izotermal lüminesans parçalanma ve Chen'in ışımaya eğrisi şekli metotlarını kullanarak, Cu-katkılı lityum tetraborat ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$:Cu) örneğinin dikkati çeken ışımaya noktalarıyla birlikte tuzak parametrelerini rapor etmişlerdir. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$:Cu örneğinin TL analizleri sonucunda 175 °C, 290 °C ve 350 °C sıcaklıklarında üç ışımaya tepe noktasına rastlanmıştır. Bunlardan 175 °C'deki tepe noktasının maksimum şiddete sahip olduğu görülmüştür. 175 °C ışımaya tepe noktası için tuzak parametreleri (kinetik derecesi, aktivasyon enerjisi ve frekans faktörü) izotermal lüminesans parçalanma metodu (ILDm) kullanılarak hesaplanmıştır.

Liu ve arkadaşları (2006), aktivatör olarak Tm^{3+} , Tb^{3+} ve Dy^{3+} ile katkılanmış $Sr_2Mg(BO_3)_2$ fosforlarını yüksek sıcaklıkta katı-hal reaksiyon metoduyla hazırlamışlardır. Fosforların tüm TL eğrilerinin iki ayrı tepe noktasından oluştuğu ve Dy^{3+} ile katkılanmış örneğin en güçlü TL şiddeti sergilediği vurgulanmıştır. $Sr_2Mg(BO_3)_2$: 0,04 Dy fosforunun TL kinetik parametreleri hesaplanmış ve iyonize radyasyon dozimetre materyali olarak kullanılabileceği önerilmiştir.

Jiang ve arkadaşları (2007), Ce^{3+} katkılı $LiSr_4(BO_3)_3$ 'ın TL ve bazı dozimetrik karakterlerini rapor etmişlerdir. Oda sıcaklığı ile 500 °C arasında yaklaşık 209 °C'de sadece bir tepe noktası oluştuğunu ve 1 mGy ile 1 Gy doz aralığında TL doz cevabının lineer olduğunu belirtmişlerdir.

Manam ve Sharma (2008), Mn katkılı lityum tetraborat örneğinin TL özelliğini incelemişlerdir. TL ışımaya eğrilerini kaydedip dikkat çeken tepe noktalarıyla birlikte tuzak parametrelerini belirlemişlerdir. 190 °C ve 310 °C'de iki ışımaya tepe noktası olduğunu bulmuşlar, bunlardan maksimum şiddette ışımaya tepe noktasını 310 °C'de gözlemişlerdir.

Kafadar ve arkadaşları (2009), alüminyum iyonlarıyla katkılanmış lityum triborat ($LiB_3O_5:Al$) örneğinin dozimetrik TL ışımaya tepe noktasının tuzak parametrelerini belirlemişlerdir. $LiB_3O_5:Al$ örneğini, oda sıcaklığından 400 °C'ye kadarki sıcaklık alanında 0.04 Gy ile yaklaşık 5 Gy arasında beta radyasyonu ile ışınlanmışlardır. Işınlanma işleminden sonra, ışımaya eğrisinden en az üç ışımaya tepe noktasının üst üste bindiğini tespit etmişlerdir. Diğer yandan doz seviyesi yaklaşık 5 Gy arttırıldığı zaman ana dozimetrik tepe noktası yanında yüksek sıcaklıkta yeni bir tepe noktasının başladığını gözlemişlerdir. Ana dozimetrik pikin kinetik derecesini, aktivasyon enerjisini ve frekans faktörünü farklı deneysel metotlar uygulayarak hesaplamışlardır.

Jiang ve arkadaşları (2010), $LiSrBO_3: RE^{3+}$ ($RE = Dy, Tb, Tm$ ve Ce) polikristal örneklerini yüksek sıcaklıkta katı-hal reaksiyon metoduyla sentezlemişlerdir. Farklı nadir toprak elementi katılmanın $LiSrBO_3$ fosforunun termoluminesansı üzerine etkisini tartışmışlardır. Aynı zamanda, $LiSrBO_3: Tm^{3+}$ fosforunun bazı dozimetrik özelliklerini ve TL karakterlerini ayrıntılı bir şekilde araştırmışlardır. TL ve dozimetrik özelliklerinden bu fosforun, kişisel dozimetri alanında gamma-ışını TL materyali olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.

3.2. Çinko Boratla İlgili Termoluminesans Çalışmaları

Çinko boratların TL özelliklerinin incelenmesiyle ilgili literatürde çok az çalışma bulunmakta olup nitrik asit yöntemiyle sentezlenmiş örnekler rastlanamamıştır. Çinko boratların lüminesans özelliklerinin incelenmesi ile ilgili çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Qiuhong ve arkadaşları (2006), %1, %3, %5, %7 ve %9 oranlarında Sm^{3+} katkılanmış $\text{Bi}_2\text{ZnB}_2\text{O}_7$ fosforlarını katı-hal reaksiyon metoduyla sentezlemişlerdir. Lüminesans özellikleri ile sönmüleme konsantrasyonlarını, ısısız sönmülemeyi ve yaşam süresini incelemişlerdir.

Li ve arkadaşları (2007), Tb katkılı $\text{Zn}(\text{BO}_2)_2$ toz örneklerini katı-hal reaksiyon metoduyla hazırlamışlardır. Bu fosforların ^{60}Co gamma kaynağıyla ışınılandıktan sonra fotoluminesansı, üç boyutlu TL emisyon spektrumu ve dozimetrik karakteristikleri incelenmiştir. Deneysel sonuçlardan $\text{Zn}(\text{BO}_2)_2:\text{Tb}$ örneğinin klinik dozimetre için gamma-ışını termoluminesans dozimetre (TLD) materyali olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Li ve arkadaşları (2008), Dy katkılı $\text{Zn}(\text{BO}_2)_2$ fosforların toz örneklerini yüksek sıcaklıkta, havada katı-hal reaksiyon metoduyla hazırlamışlar ve lüminesans özellikleri ile dozimetrik karakteristiklerini IR, fotoluminesans ve TL yayılım spektrumları yardımıyla rapor etmişlerdir. Deneysel sonuçlardan $\text{Zn}(\text{BO}_2)_2:\text{Dy}$ fosforunun klinik dozimetri için gamma-ışını TLD materyali olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Zheng ve arkadaşları (2009), Eu^{3+} ile katkılanmış ($\text{Zn}(\text{BO}_2)_2$) nanokristal tozlarını birlikte çöktürme metoduyla hazırlamışlardır. Hazırlanan örneklerin X-ışını lüminesans spektrumlarına bakılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, Eu^{3+} katkısının lüminesans şiddetini önemli ölçüde yükselttiğini belirtmişlerdir.

Kucuk ve arkadaşları (2013), %1, %2, %3, %4, %5 ve %10 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarını nitrik asit yöntemiyle hazırlamışlardır. Örnekleri $140\text{ }^\circ\text{C}$ 'de yapılan ön ısıtma işleminden sonra $450\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar, azot atmosferinde $5\text{ }^\circ\text{C/s}$ sabit ısıtma hızında ısıtarak 40 mCi 'lik aktiviteye sahip $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağıyla 143 mGy - 60 Gy doz aralığında ışınlanmışlardır. Herbir örneğin ışınma eğrileri yardımıyla doz cevaplarını ve minimum ölçülebilir doz değerlerini belirlemişlerdir. Tüm örnekler için beta radyasyonuna karşın doz cevapların oldukça lineer olduğu bulunmuştur. %10 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun minimum ölçülebilir doz değeri ise 4 mGy olarak belirlenmiştir.

Annalakshmi ve arkadaşları (2014), tulyum (Tm) katkılı ZnB_2O_4 fosforunun termoluminesans ışıma eğrisi, TL emisyon spektrumları, doz-cevap, sönümlenme çalışmaları, tekrar edilebilirlik ve yeniden kullanılabilirlik çalışmaları gibi termoluminesans dozimetrik özelliklerini incelemişlerdir. Farklı nadir toprak katkılı fosforlar arasında, Tm katkılı ZnB_2O_4 'ın yüksek bir duyarlılığa sahip olduğu rapor edilmiştir. Bu fosforda doz-cevap ilişkisinin, 10 mGy'den 10^3 Gy'e kadar lineer olduğu gözlemlenmiştir. EPR(Elektron Paramanyetik Rezonans) ölçümleri, kusur merkezlerini tespit etmek için ışınlanmamış, gamayla ışınlanmış ve tavllanmış fosforlar üzerine gerçekleştirilmiştir. Kinetik parametreleri, çeşitli yöntemler kullanılarak dozimetrik tepe noktaları için değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarından, bu fosforun radyasyon dozimetre uygulamalarında kullanılabileceği vurgulanmıştır.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Materyal

4.1.1. Sentezlenen La katkılı çinko boratlar

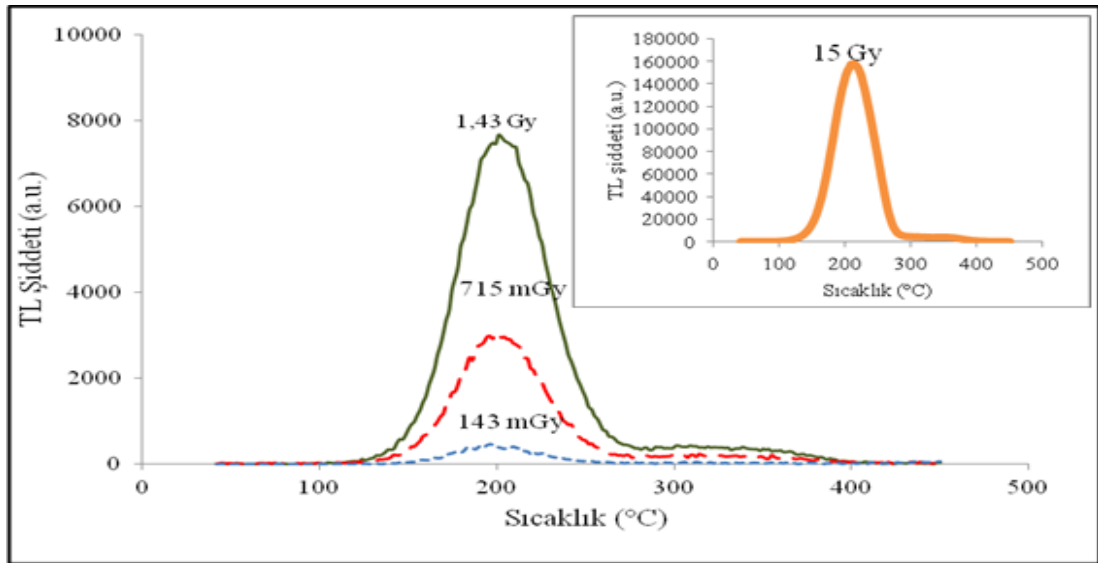
%1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforları nitrik asit yöntemiyle sentezlenmiştir. Sentezleme işlemi Kucuk ve arkadaşları tarafından “Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Dozimetrik Malzeme Geliştirme Laboratuvarı’nda” gerçekleştirilmiştir (Çakır 2012, Kucuk ve vd. 2013).

ZnB_2O_4 hazırlamak için çinko oksit (ZnO , %99.99 minimum saflıkta) ve borik asit (H_3BO_3 , %99.99 saflıkta) tozlarının uygun miktarları ayrı ayrı tartılmıştır. Başlangıç malzemeleri, 1 M nitrik asit çözelti (HNO_3 , standart çözelti) içinde manyetik karıştırıcıda 80 °C’de ısıtılarak karıştırılmıştır. 5 gramlık toz örnekler için 80 ml asit kullanılmıştır. Bu süreçte, tüm oksitler ve borik asit metalik nitratlarına [yani, $Zn(NO_3)_2$, $B(NO_3)_3$ ve $La(NO_3)_3$] dönüştürülmüştür. La katkılı ZnB_2O_4 toz örnekleri de benzer şekilde uygun oranda başlangıç materyali olarak ve karışıma %1 mol La_2O_3 eklenerek hazırlanmıştır. Kuru bir ön madde elde edilene kadar karıştırmaya devam edilmiştir. Elde edilen bu madde yaklaşık 15 dakika agat havanda öğütülmüştür. Daha sonra olası organik bileşikleri uzaklaştırmak için 5 saat süreyle yüksek sıcaklık fırınında 450 °C’de kalsine edilmiştir. NO ve NO_2 gibi gazlar da bu sıcaklığa kadar serbest bırakılmış ve metal nitratlar tekrar oksitlerine dönüştürülmüştür. Son olarak ön madde, çinko boratların oluşumuna yol açan 2 saat süreyle 700 °C’den 950 °C’ye kadar sıcaklıklarda tavlama öncesi 300 MPa basınç altında pellet haline getirilmiştir. Pelletler tavlandıktan sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve tekrar agat havan içinde öğütülerek plastik tüplere konmuştur. Yapılan XRD analizleri sonucunda katkılı ZnB_2O_4 toz örnekleri için kristalleşmenin en iyi gerçekleştiği uygun tavlama sıcaklığı 900 °C’de 5 saat olarak belirlenmiştir (Çakır 2012, Kucuk ve vd. 2013).

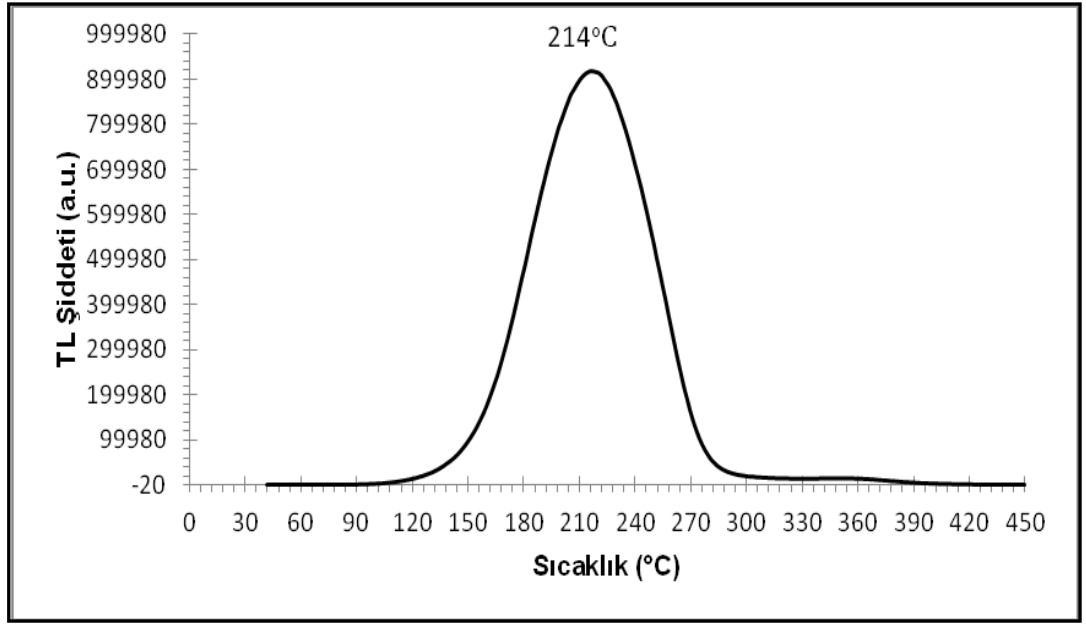
4.1.2. La katkılı çinko boratların TL özellikleri

%1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının TL ışınma eğrileri, Risø TL/OSL DA-20 okuyucu sisteminde bulunan 40 mCi'lik aktiviteye sahip $^{90}Sr/^{90}Y$ beta kaynağıyla, 143 mGy-60 Gy doz aralığında ışınlamalar sonucunda kaydedilmiştir. TL ışınma eğrileri, 140 °C'de yapılan ön ısıtma işleminden sonra 450 °C'ye kadar, azot atmosferinde 5 °C/s sabit ısıtma hızında ısıtılarak elde edilmiştir (Çakır 2012, Kucuk ve vd. 2013).

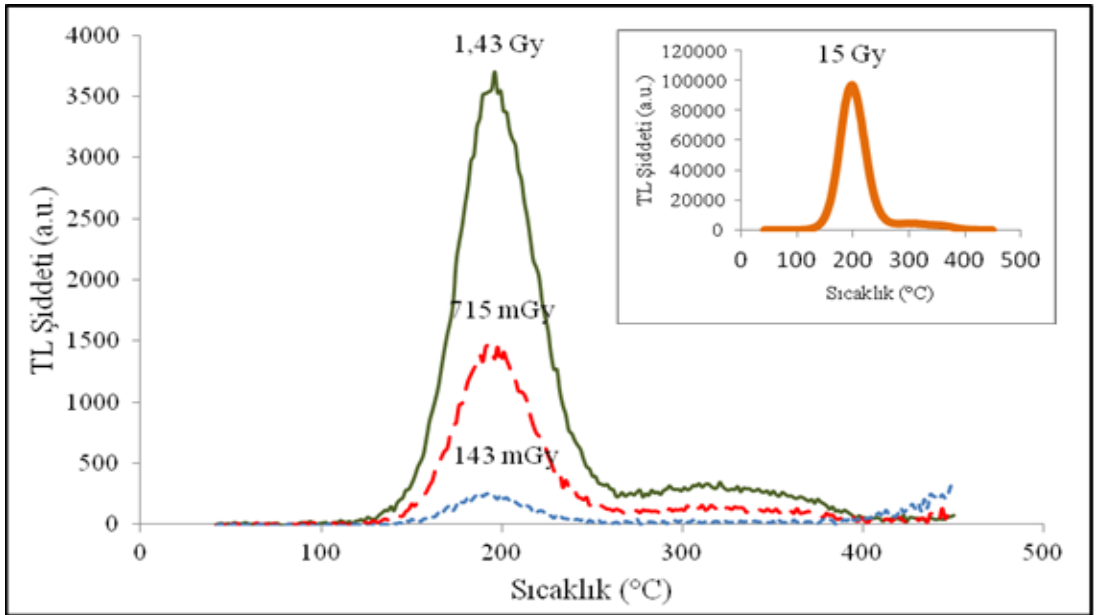
900 °C'de hazırlanmış örnekler için 143 mGy-15 Gy doz aralığında beta radyasyon dozuna maruz kalan %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının TL ışınma eğrileri sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. 60 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının TL ışınma eğrileri ise sırasıyla Şekil 4.2, Şekil 4.4, Şekil 4.6 ve Şekil 4.8'de verilmiştir. Işınma eğrileri incelendiğinde %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının ana TL ışınma tepe noktalarının sırasıyla 203 °C, 195 °C, 207 °C ve 200 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Radyasyon dozunun artmasıyla TL ışınma şiddetlerinde belirgin bir şekilde artış görülmüştür. %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforları için 15 Gy'deki TL şiddetlerinin 1.43 Gy'deki TL şiddetlerine göre sırasıyla 20, 3.5, 2 ve 20 kat artış gösterdiği belirlenmiştir (Çakır 2012, Kucuk ve vd. 2013).



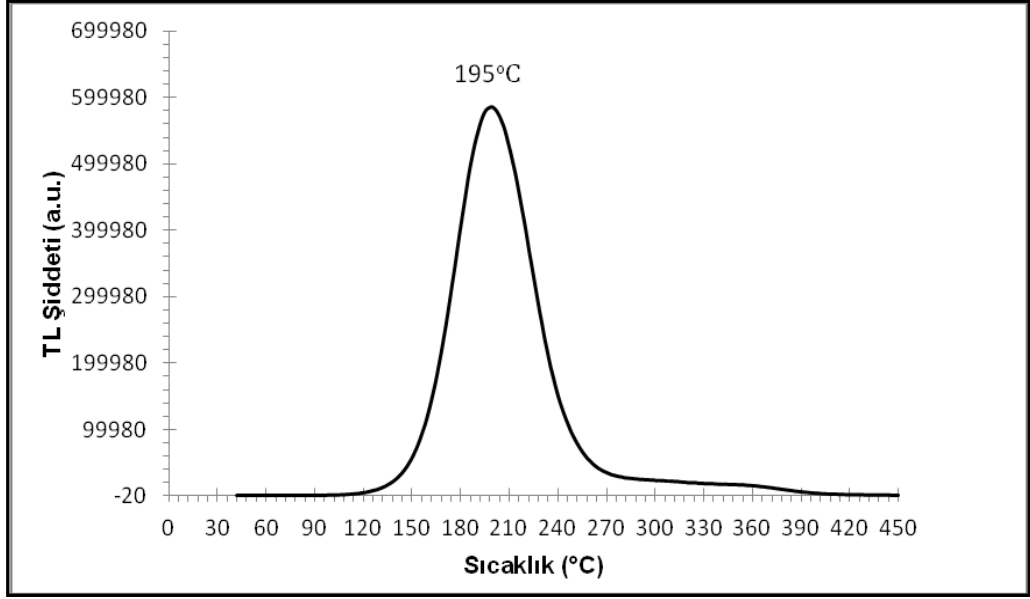
Şekil 4.1. 143 mGy-15 Gy doz aralığında beta radyasyon dozuna maruz kalan %1 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun TL ışınma eğrileri(Kucuk ve vd. 2013)



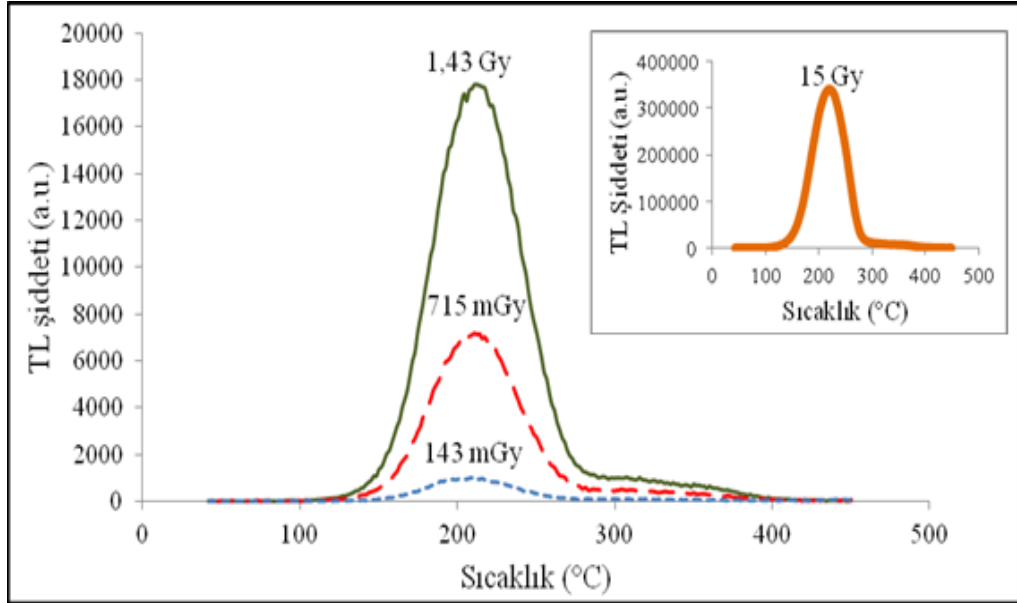
Şekil 4.2. 60 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %1 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun TL ışıma eğrisi(Kucuk ve vd. 2013)



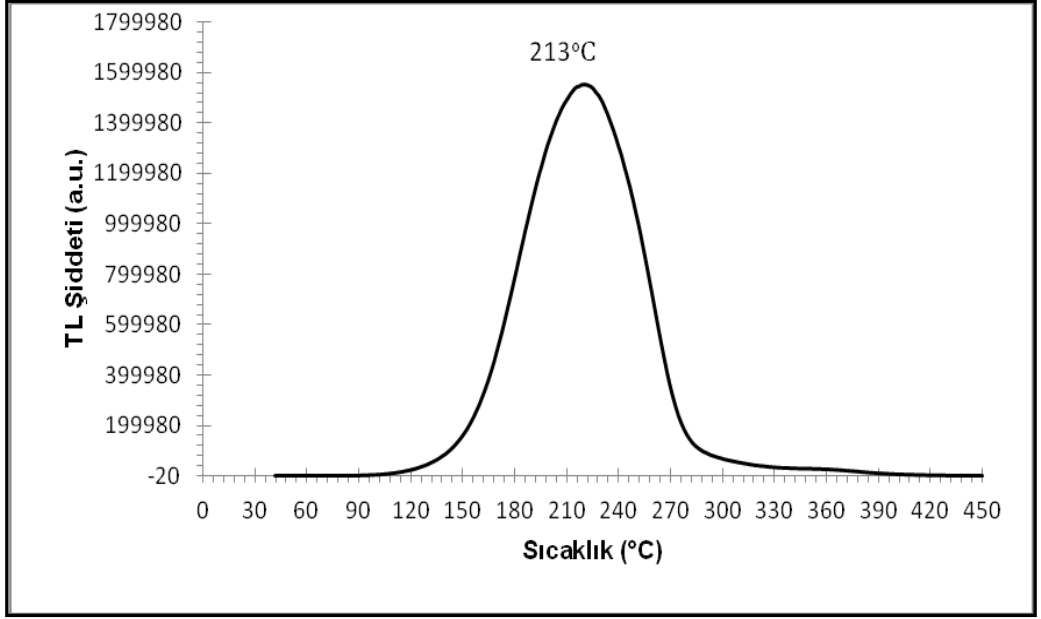
Şekil 4.3. 143 mGy-15 Gy doz aralığında beta radyasyon dozuna maruz kalan %2 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun TL ışıma eğrileri(Kucuk ve vd. 2013)



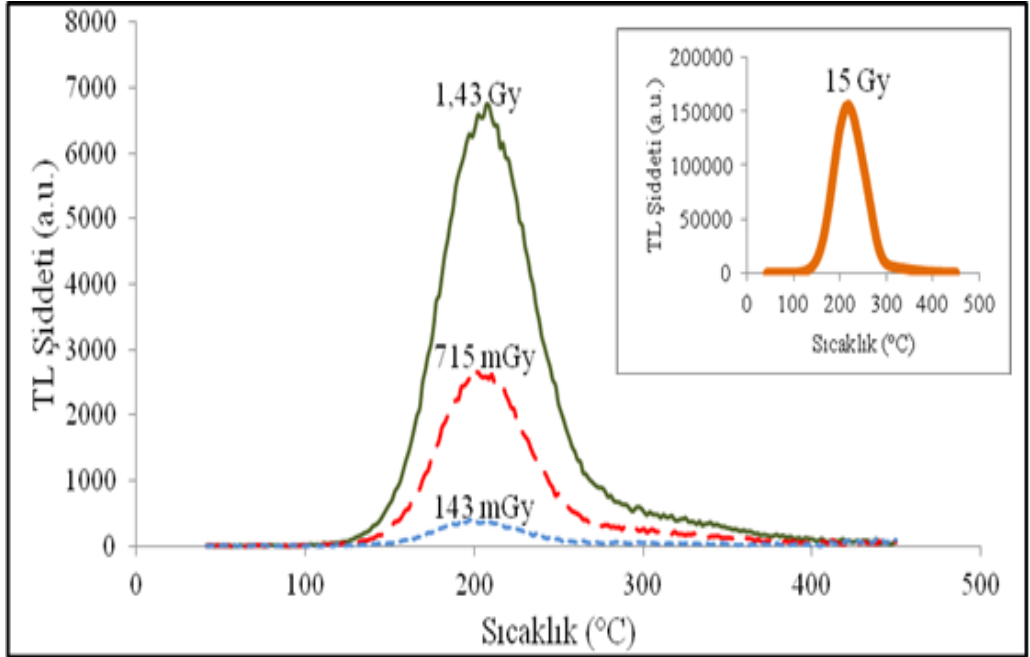
Şekil 4.4. 60 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %2 La katkılı ZnB₂O₄ fosforunun TL ışıma eğrisi(Kucuk ve vd. 2013)



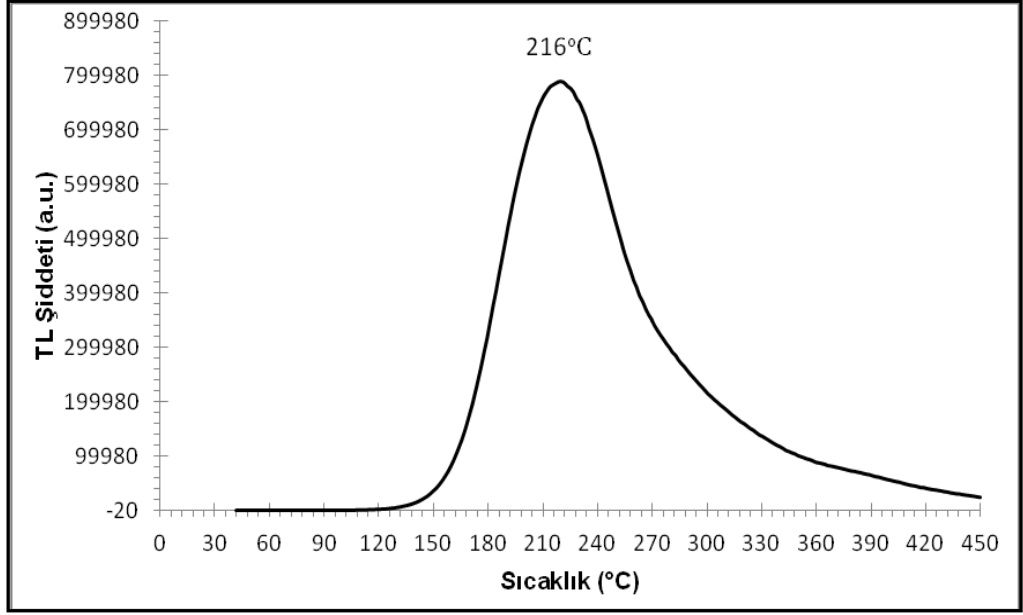
Şekil 4.5. 143 mGy-15 Gy doz aralığında beta radyasyon dozuna maruz kalan %3 La katkılı ZnB₂O₄ fosforunun TL ışıma eğrileri(Kucuk ve vd. 2013)



Şekil 4.6. 60 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %3 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun TL ışıma eğrisi(Kucuk ve vd. 2013)

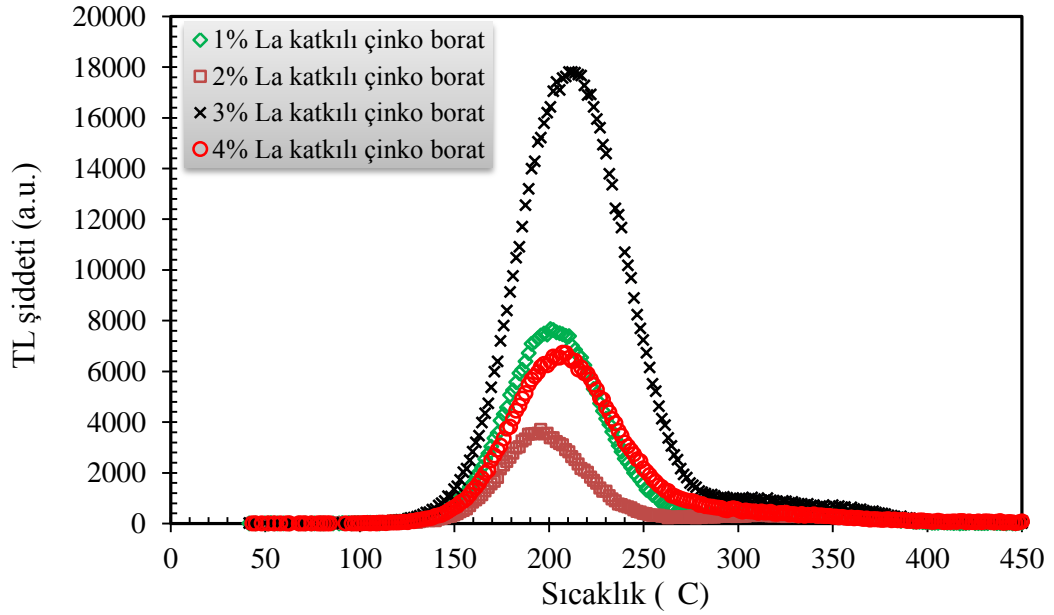


Şekil 4.7. 143 mGy-15 Gy doz aralığında beta radyasyon dozuna maruz kalan %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun TL ışıma eğrileri(Kucuk ve vd. 2013)



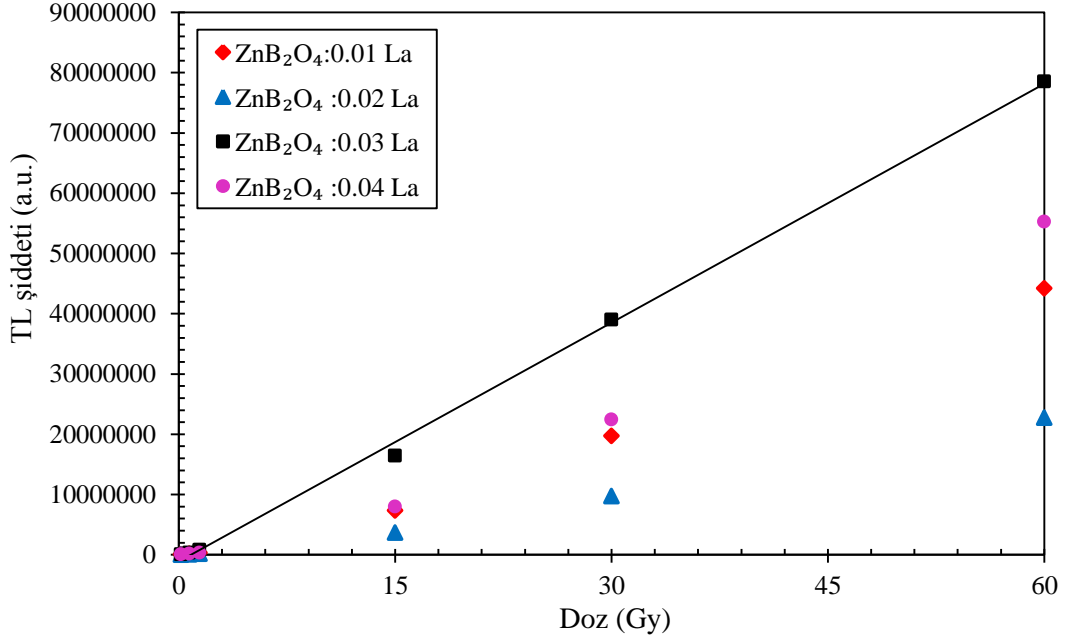
Şekil 4.8. 60 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun TL ışıma eğrisi(Kucuk ve vd. 2013)

%1, %2, %3 ve % 4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının 1.43 Gy beta radyasyon dozu için TL ışıma eğrileri Şekil 4.9’da verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde ışıma tepe noktaları şiddetlerinin katkı miktarıyla değiştiği ve %3 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun diğerlerine göre maksimum TL şiddetine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. 1.43 Gy beta radyasyon dozuna maruz kalan %1, %2, %3 ve % 4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının TL ışıma eğrileri (Kucuk ve vd. 2013)

Bir TL dozimetre malzemesinin önemli bir özelliği, TL şiddetiyle soğurulan doz arasında lineer ilişki sergilemesidir. Şekil 4.10, tüm La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının doz-cevap eğrilerini göstermektedir. Görüldüğü gibi örnekler beta radyasyonuna 143 mGy-60 Gy doz aralığında oldukça lineer bir cevap vermektedir.



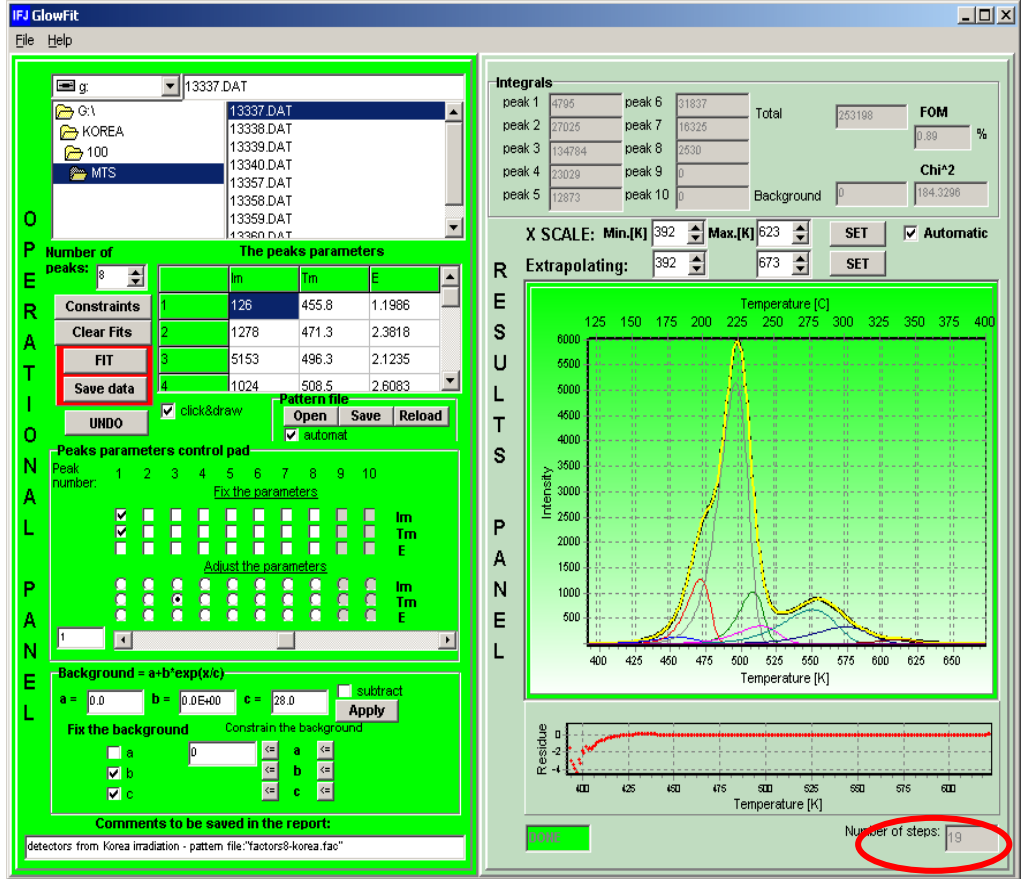
Şekil 4.10. %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının 143 mGy-60 Gy beta radyasyon doz aralığında doz-cevap eğrileri (Kucuk ve vd. 2013)

4.2. Metod

4.2.1. Kinetik parametrelerin CGCD yöntemiyle belirlenmesi

%1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının, seçilen 1.43 Gy beta radyasyon dozu için elde edilen ışımaya eğrileri GlowFit programı yardımıyla ayrıştırılmış ve kinetik parametre değerleri belirlenmiştir.

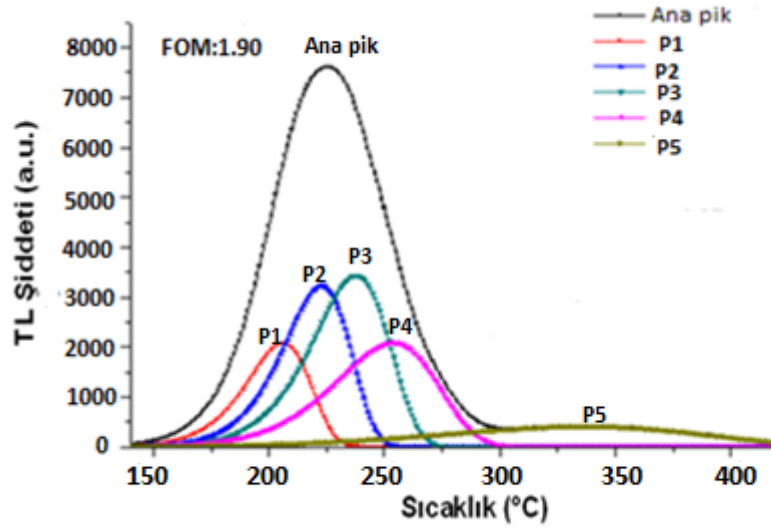
GlowFit, birçok kişisel bilgisayarda çalıştırılabilen, C++ dilinde yazılmış MS Windows tabanlı bir programdır. Program, kullanıcı dostu grafiksel bir ara yüzü ile donanımlıdır. Tam bir TL ışımaya-eğrisi için tipik bilgisayar eğri fit etme zamanı 1 ile 10 saniye arasında sürmektedir. Bu yazılım karmaşık ışımaya eğrilerinin analizinde daha verimlidir. Işıma eğrisi fit etme işlemi tekrarlanabilir bir Levenberg–Marquardt algoritması yardımıyla yapılır. Şekil 4.11’de kullanılan GlowFit programının ana uygulama penceresi gösterilmiştir.



Şekil 4.11. GlowFit programının ana uygulama penceresi

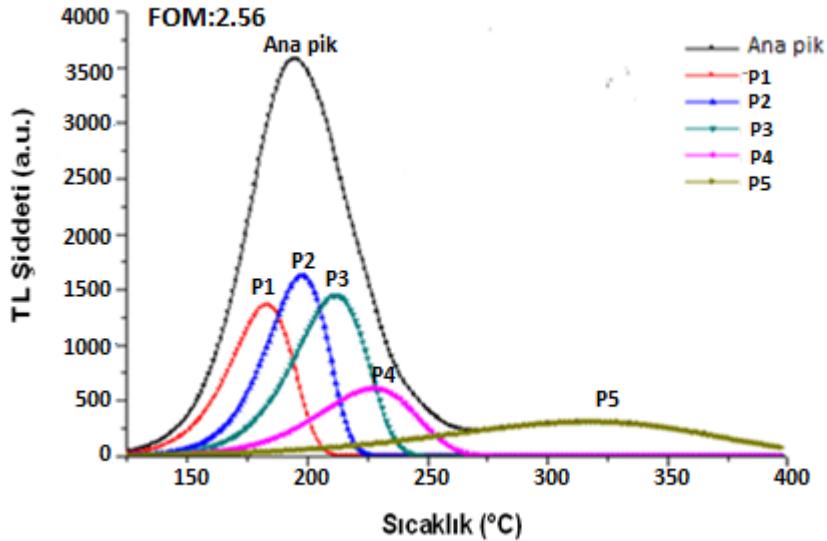
GlowFit programının ana uygulama penceresi iki panelden oluşur. İşletim paneli (yani OPERATIONAL PANEL), veri dosyası açmak, başlangıç parametrelerini ayarlamak ve fit şartlarını belirlemek için kullanılır. Fit edilen eğri, sonuç panel alanındaki (yani RESULTS PANEL) ekran üzerinde görülür. Aynı zamanda ışıma eğrisi fit etmek için gerekli olan her bir ışıma pik alanı, FOM değeri, arta kalan eğri kısmı ve basamak sayıları bu panelde yer alır.

%1 La katkılı ZnB_2O_4 fosforu için GlowFit programı ile ayrıştırılan ışıma eğrisi Şekil 4.12'de verilmiştir. Ana TL ışıma eğrisinin beş tepe noktasının bir araya gelmesinden oluştuğu bulunmuştur. Her bir tepe noktasının maksimumuna karşılık gelen sıcaklık (T_m), aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri belirlenmiştir. Bu değerler sırasıyla birinci tepe noktası (P1) için 183 °C, 1.27 eV ve $4.0 \times 10^{13} s^{-1}$, ikinci tepe noktası (P2) için 200 °C, 1.29 eV ve $2.0 \times 10^{13} s^{-1}$, üçüncü tepe noktası (P3) için 215 °C, 1.20 eV ve $7.6 \times 10^{11} s^{-1}$, dördüncü tepe noktası (P4) için 231 °C, 0.95 eV ve $7.3 \times 10^8 s^{-1}$, beşinci tepe noktası (P5) için 314 °C, 0.48 eV ve $1.2 \times 10^7 s^{-1}$ olarak belirlenmiştir.



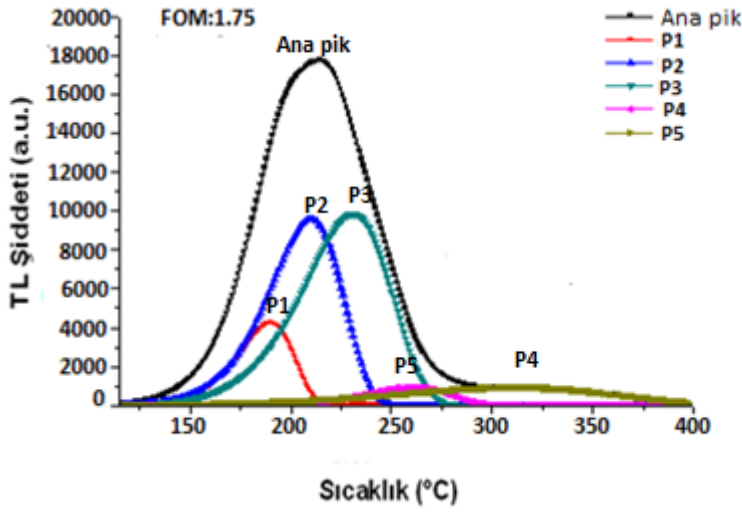
Şekil.4.12. %1 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun CGCD yöntemiyle ayrıştırılan ışıma eğrisi

%2 La katkılı ZnB_2O_4 fosforu için GlowFit programı ile ayrıştırılan ışıma eğrisi Şekil 4.13’de verilmiştir. Ana TL ışıma eğrisinin beş tepe noktasının bir araya gelmesinden oluştuğu görülmüştür. T_m , E ve s değerleri sırasıyla; P1 için 183 °C, 1.36 eV ve $3.58 \times 10^{14} s^{-1}$, P2 için 199 °C, 1.43 eV ve $2.71 \times 10^{14} s^{-1}$, P3 için 212 °C, 1.31 eV ve $1.38 \times 10^{13} s^{-1}$, P4 için 227 °C, 1.03 eV ve $5.28 \times 10^9 s^{-1}$, P5 için 313 °C, 0.45 eV ve $1.34 \times 10^7 s^{-1}$ olarak belirlenmiştir.



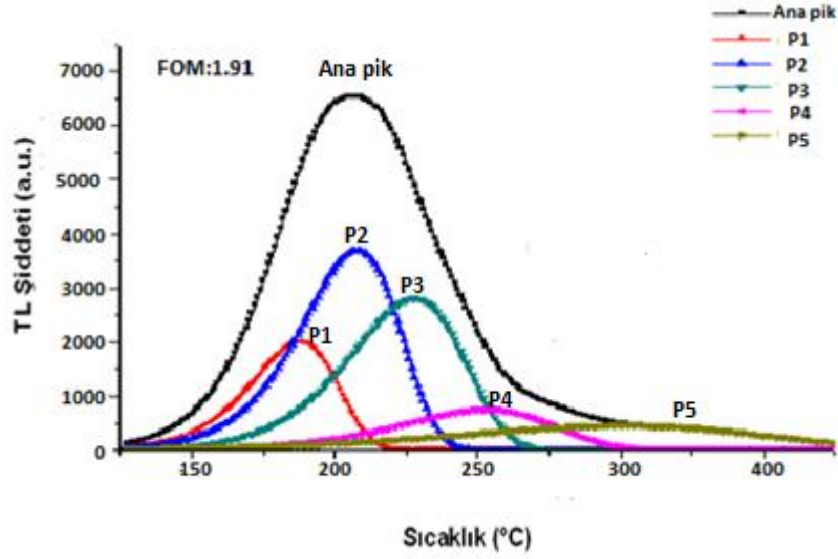
Şekil.4.13. %2 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun CGCD yöntemiyle ayrıştırılan ışıma eğrisi

%3 La katkılı ZnB₂O₄ fosforu için GlowFit programı ile ayrıştırılan ışıma eğrisi Şekil 4.14’de verilmiştir. Ana TL ışıma eğrisinin beş tepe noktasının bir araya gelmesinden oluştuğu bulunmuştur. T_m , E ve s değerleri sırasıyla; P1 için 190 °C, 1.32 eV ve $7.68 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$, P2 için 210 °C, 1.09 eV ve $5.98 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$, P3 için 231 °C, 0.97 eV ve $1.20 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$, P4 için 260 °C, 2.17 eV ve $1.20 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$, P5 için 312 °C, 0.51 eV ve $1.97 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil.4.14. %3 La katkılı ZnB₂O₄ fosforunun CGCD yöntemiyle ayrıştırılan ışıma eğrisi

%4 La katkılı ZnB₂O₄ fosforu için GlowFit programı ile ayrıştırılan ışıma eğrisi Şekil 4.15’de verilmiştir. Ana TL ışıma eğrisinin beş tepe noktasının bir araya gelmesinden oluştuğu bulunmuştur. T_m , E ve s değerleri sırasıyla; P1 için 188 °C, 1.19 eV ve $3.27 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$, P2 için 208 °C, 1.13 eV ve $2.0 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$, P3 için 228 °C, 1.05 eV ve $8.88 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$, P4 için 253 °C, 0.86 eV ve $3.14 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$, P5 için 302 °C, 0.50 eV ve $2.13 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil.4.15. %4 La katkılı ZnB₂O₄ fosforunun CGCD yöntemiyle ayrıştırılan ışıma eğrisi

4.2.2. Kinetik Parametrelerin PS Yöntemiyle Belirlenmesi

Pik şekli yöntemiyle (PS) kinetik parametrelerin hesaplanması için öncelikle her bir La katkılı ZnB₂O₄ fosforlarının ışıma eğrilerinden geometrik şekil parametreleri (T_M , T_1 , T_2 , τ , δ ve ω) belirlenmiştir.

1.43 Gy beta radyasyon dozunda, %1 La katkılı ZnB₂O₄ fosforunun TL ışıma eğrisinden maksimum tepe noktası sıcaklığı $T_M=474$ K, pikin yarı yüksekliğindeki sıcaklık değerleri $T_1=448$ K ve $T_2=505$ K, pikin düşük sıcaklık tarafındaki yarı genişlik değeri $\tau=26$ K, yüksek sıcaklık tarafındaki yarı genişlik değeri $\delta=31$ K, ışıma pikinin toplam yarı genişlik değeri $\omega=57$ K ve simetri faktörü $\mu_g=\mu=0.54$ olarak belirlenmiştir. Belirlenen geometrik şekil parametreleri denklem (2.22)'de yerine konarak aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Genel dereceden frekans faktörleri ise ısıtma oranı $\beta=5$ °C/s, Boltzmann sabiti $k=8.61734 \times 10^{-5}$ eV/K, $b=2$ K/s değerleri ile ışıma eğrisinden belirlenen T_m ve hesaplanan E değerleri alınıp denklem (2.26)'de yerine konarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, diğer La katkılı ZnB₂O₄ fosforlarının TL ışıma eğrilerinden geometrik şekil parametreleri belirlenmiş ve örneklere ait aktivasyon enerjileri ile frekans faktörleri hesaplanmıştır. Tüm örneklerin TL ışıma eğrilerinin geometrik şekil parametreleri 1.43 Gy beta radyasyon dozu için Çizelge 4.1.'de, 15 Gy beta radyasyon dozu için Çizelge 4.2.'de listelenmiştir. Kinetik parametre değerleri ise

1.43 Gy beta radyasyon dozu için Çizelge 5.2.'de, 15 Gy beta radyasyon dozu için Çizelge 5.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 1.43 Gy için %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB₂O₄ fosforlarının ışıma eğrilerine ait geometrik şekil parametreleri

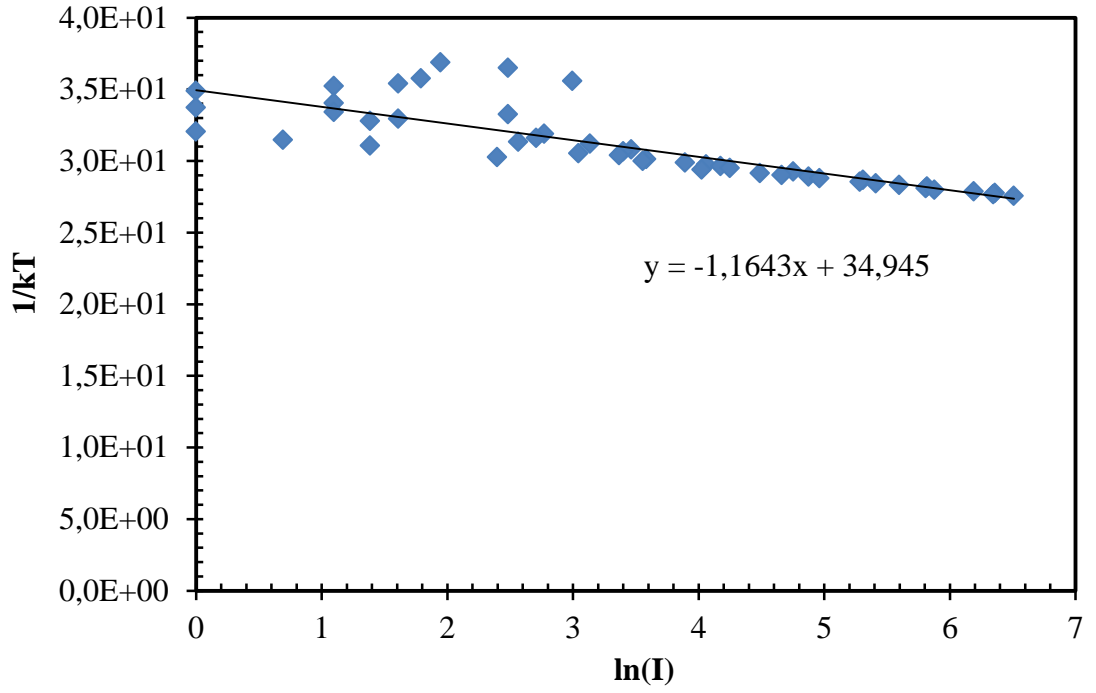
Örnek	T _M (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	τ(°C)	δ(°C)	ω(°C)	μ
Zn _{0.99} La _{0.01} B ₂ O ₄	201	175	232	26	31	57	0.54
Zn _{0.98} La _{0.02} B ₂ O ₄	196	173	222	23	26	49	0.53
Zn _{0.97} La _{0.03} B ₂ O ₄	212	179	245	33	33	66	0.50
Zn _{0.96} La _{0.04} B ₂ O ₄	207	176	238	31	31	62	0.50

Çizelge 4.2. 15 Gy için %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB₂O₄ fosforlarının ışıma eğrilerine ait geometrik şekil parametreleri

Örnek	T _M (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	τ(°C)	δ(°C)	ω(°C)	μ
Zn _{0.99} La _{0.01} B ₂ O ₄	214	178	248	36	34	71	0.49
Zn _{0.98} La _{0.02} B ₂ O ₄	199	173	225	26	26	53	0.50
Zn _{0.97} La _{0.03} B ₂ O ₄	223	181	256	39	36	75	0.48
Zn _{0.96} La _{0.04} B ₂ O ₄	217	181	260	36	43	79	0.44

4.2.3. Kinetik parametrelerin IR yöntemleriyle belirlenmesi

1.43 Gy, 15 Gy, 30 Gy ve 60 Gy beta radyasyon dozları için %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB₂O₄ fosforlarının kinetik parametrelerini belirlemek üzere başlangıçtaki artış (IR) yöntemi uygulanmıştır. Yöntem uygulandığında, her bir örnek için ln(I)'ya karşılık 1/kT'nin grafiği çizilmiş ve düz bir doğru elde edilmiştir. Bu doğrunun eğiminden frekans faktörü s hakkında herhangi bir şey bilmeden aktivasyon enerjisi E belirlenmiştir. Örnek olarak, 1.43 Gy beta radyasyon dozu için %1 La katkılı ZnB₂O₄ fosforunun ışıma eğrisinin %10'luk başlangıç artış kısmına bu yöntemin uygulanmasıyla çizilmiş grafik Şekil 4.16'de verilmiştir.



Şekil 4.16 1.43 Gy beta radyasyon dozu için %1 La katkılı ZnB_2O_4 fosforunun TL ışımaya eğrisinin başlangıç artış kısmına IR yönteminin uygulanması

1.43 Gy, 15 Gy, 30 Gy ve 60 Gy beta radyasyon dozları için %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının genel dereceden frekans faktörleri ise, her bir örneğe ait ışımaya eğrilerinden belirlenmiş T_m değerleri ile IR yöntemiyle belirlenmiş E değerleri alınıp denklem (2.4)'de yerine konarak hesaplanmıştır. Bu yöntemden elde edilmiş tüm sonuçlar Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7 'de listelenmiştir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Termolüminesans alanındaki çalışmaların önemli bir kısmı TL malzemesi olarak kullanılması önerilen malzemelerin tuzak parametrelerinin hesaplanması üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun nedeni, daha ucuz ve kullanışlı yeni malzemeler bulabilmek ve TL dozimetre olarak kullanılması düşünülen bu malzemelerin tuzak parametrelerini oldukça hassas bir şekilde tanımlayabilmektir. Dolayısıyla bu çalışmada, Kucuk ve arkadaşları (2013) tarafından dozimetrik uygulamalar için TLD materyali olarak önerilen %1, %2, %3 ve %4 La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının, ana TL ışımaya piklerinin kinetik parametre değerleri CGCD, PS ve IR yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Tüm La katkılı ZnB_2O_4 fosforlarının; 1.43 Gy beta radyasyon dozu için CGCD yöntemiyle hesaplanan kinetik parametre değerleri Çizelge 5.1'de; 1.43 Gy ve 15 Gy beta radyasyon dozları için PS yöntemiyle hesaplanan kinetik parametre değerleri Çizelge 5.2 ve 5.3'de; 1.43 Gy, 15 Gy, 30 Gy ve 60 Gy beta radyasyon dozları için IR yöntemiyle hesaplanan kinetik parametre değerleri ise sırasıyla Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de verilmiştir. Bu üç yöntemle 1.43 Gy beta radyasyon dozu için elde edilen sonuçların birbirleriyle tutarlı olduğu ve değerler arasındaki farklılıkların uygulanan yöntemle ait sınırlamalara bağlı olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.1. 1.43 Gy beta radyasyon dozu için %1, %2, %3 ve % 4 La katkı ZnB₂O₄ fosforlarının, ana TL ışıma piklerinin CGCD yöntemiyle hesaplanan kinetik parametre değerleri

Örnek	Pikler	T_m (°C)	E (eV)	s (s ⁻¹)
Zn _{0.99} La _{0.01} B ₂ O ₄	P1	183	1.27	4.00x10 ¹³
	P2	200	1.29	2.00x10 ¹³
	P3	215	1.20	7.60x10 ¹¹
	P4	231	0.95	7.30x10 ⁸
	P5	314	0.48	1.20x10 ⁷
Zn _{0.98} La _{0.02} B ₂ O ₄	P1	183	1.36	3.58x10 ¹⁴
	P2	199	1.48	2.70x10 ¹⁴
	P3	212	1.31	1.38x10 ¹³
	P4	227	1.03	5.28x10 ⁹
	P5	318	0.49	1.34x10 ⁷
Zn _{0.97} La _{0.03} B ₂ O ₄	P1	190	1.32	7.68x10 ¹⁴
	P2	210	1.09	5.98x10 ¹¹
	P3	231	0.97	1.20x10 ¹⁰
	P4	260	1.16	2.17x10 ¹¹
	P5	312	0.51	1.97x10 ⁷
Zn _{0.96} La _{0.04} B ₂ O ₄	P1	188	1.19	3.27x10 ¹³
	P2	208	1.13	2.00x10 ¹²
	P3	228	1.05	8.88x10 ¹⁰
	P4	253	0.86	3.14x10 ¹⁰
	P5	302	0.50	2.13x10 ⁷

Çizelge 5.2. 1.43 Gy beta radyasyon dozu için %1, %2, %3 ve % 4 La katkılı ZnB₂O₄ fosforlarının, ana TL ışıma piklerinin PS yöntemiyle hesaplanan kinetik parametre değerleri

Örnek	T_m (°C)	E (eV)	s (s ⁻¹)
Zn _{0.99} La _{0.01} B ₂ O ₄	201	$E_\tau=1.21$	$s_\tau=1.32 \times 10^{14}$
		$E_\delta=1.16$	$s_\delta=3.62 \times 10^{13}$
		$E_\omega=1.19$	$s_\omega=7.23 \times 10^{13}$
Zn _{0.98} La _{0.02} B ₂ O ₄	196	$E_\tau=1.36$	$s_\tau=7.84 \times 10^{15}$
		$E_\delta=1.30$	$s_\delta=1.77 \times 10^{15}$
		$E_\omega=1.33$	$s_\omega=4.07 \times 10^{15}$
Zn _{0.97} La _{0.03} B ₂ O ₄	212	$E_\tau=0.922$	$s_\tau=4.39 \times 10^{10}$
		$E_\delta=0.965$	$s_\delta=1.28 \times 10^{11}$
		$E_\omega=0.948$	$s_\omega=8.40 \times 10^{10}$
Zn _{0.96} La _{0.04} B ₂ O ₄	207	$E_\tau=0.958$	$s_\tau=1.38 \times 10^{11}$
		$E_\delta=0.995$	$s_\delta=3.56 \times 10^{11}$
		$E_\omega=0.981$	$s_\omega=2.51 \times 10^{11}$

Çizelge 5.3. 15 Gy beta radyasyon dozu için %1, %2, %3 ve % 4 La katkılı ZnB₂O₄ fosforlarının, ana TL ışıma piklerinin PS yöntemiyle hesaplanan kinetik parametre değerleri

Örnek	T_m (°C)	E (eV)	s (s ⁻¹)
Zn _{0.99} La _{0.01} B ₂ O ₄	213	$E_\tau=0.814$	$s_\tau=2.70 \times 10^9$
		$E_\delta=0.875$	$s_\delta=1.24 \times 10^{10}$
		$E_\omega=0.848$	$s_\omega=6.90 \times 10^9$
Zn _{0.98} La _{0.02} B ₂ O ₄	199	$E_\tau=1.12$	$s_\tau=1.55 \times 10^{13}$
		$E_\delta=1.14$	$s_\delta=2.38 \times 10^{13}$
		$E_\omega=1.14$	$s_\omega=4.25 \times 10^{13}$
Zn _{0.97} La _{0.03} B ₂ O ₄	220	$E_\tau=0.743$	$s_\tau=3.41 \times 10^8$
		$E_\delta=0.815$	$s_\delta=2.05 \times 10^9$
		$E_\omega=0.781$	$s_\omega=8.86 \times 10^8$
Zn _{0.96} La _{0.04} B ₂ O ₄	217	$E_\tau=0.899$	$s_\tau=1.94 \times 10^{10}$
		$E_\delta=0.905$	$s_\delta=2.25 \times 10^{10}$
		$E_\omega=0.905$	$s_\omega=2.22 \times 10^{10}$

Çizelge 5.4. 1.43 Gy beta radyasyon dozu için %1, %2, %3 ve % 4 La katkılı ZnB₂O₄ fosforlarının, ana TL ışımaya piklerinin IR yöntemiyle hesaplanan kinetik parametre değerleri

Örnek	T_m (°C)	E (eV)	s (s ⁻¹)
Zn _{0.99} La _{0.01} B ₂ O ₄	201	1.16	7.28x10 ¹¹
Zn _{0.98} La _{0.02} B ₂ O ₄	195	1.37	1.98x10 ¹⁴
Zn _{0.97} La _{0.03} B ₂ O ₄	212	1.23	1.72x10 ¹²
Zn _{0.96} La _{0.04} B ₂ O ₄	207	1.27	7.12x10 ¹²

Çizelge 5.5. 15 Gy beta radyasyon dozu için %1, %2, %3 ve % 4 La katkılı ZnB₂O₄ fosforlarının, ana TL ışımaya piklerinin IR yöntemiyle hesaplanan kinetik parametre değerleri

Örnek	T_m (°C)	E (eV)	s (s ⁻¹)
Zn _{0.99} La _{0.01} B ₂ O ₄	213	1.36	2.44x10 ¹³
Zn _{0.98} La _{0.02} B ₂ O ₄	199	1.23	4.33x10 ¹²
Zn _{0.97} La _{0.03} B ₂ O ₄	220	1.36	2.53x10 ¹³
Zn _{0.96} La _{0.04} B ₂ O ₄	215	1.31	1.04x10 ¹³

Çizelge 5.6. 30 Gy beta radyasyon dozu için %1, %2, %3 ve % 4 La katkılı ZnB₂O₄ fosforlarının, ana TL ışımaya piklerinin IR yöntemiyle hesaplanan kinetik parametre değerleri

Örnek	T_m (°C)	E (eV)	s (s ⁻¹)
Zn _{0.99} La _{0.01} B ₂ O ₄	215	1.36	3.56x10 ¹³
Zn _{0.98} La _{0.02} B ₂ O ₄	201	1.23	2.93x10 ¹³
Zn _{0.97} La _{0.03} B ₂ O ₄	219	1.40	7.48x10 ¹³
Zn _{0.96} La _{0.04} B ₂ O ₄	224	1.32	7.69x10 ¹²

Çizelge 5.7. 60 Gy beta radyasyon dozu için %1, %2, %3 ve % 4 La katkı ZnB₂O₄ fosforlarının, ana TL ışımaya piklerinin IR yöntemiyle hesaplanan kinetik parametre değerleri

Örnek	T_m (°C)	E (eV)	s (s ⁻¹)
Zn _{0.99} La _{0.01} B ₂ O ₄	217	1.38	5.16x10 ¹³
Zn _{0.98} La _{0.02} B ₂ O ₄	199	1.21	2.61x10 ¹²
Zn _{0.97} La _{0.03} B ₂ O ₄	220	1.44	1.38x10 ¹⁴
Zn _{0.96} La _{0.04} B ₂ O ₄	224	1.34	1.25x10 ¹³

KAYNAKLAR

Abd El-Hafez, A.I., Yasın, M.N., Sadek, A.M., (2011), GCAFIT-A new tool for glow curve analysis in thermoluminescence nanodosimetry, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 158-163.

Aitken, M.J., (1985), Thermoluminescence dating. Academic Press, London, 359.

Akın, A., (2009). “Dy ve Li Katkılanmış CaSO_4 ile Dy Katkılanmış CaB_4O_7 Termoluminesans Malzemelerin Kinetik Parametrelerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.

Altun F. (2005), Bor ve Bor Ürünleri Terminolojisi: Bor, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Ankara.

Bos, A.J.J., (1993), 1993b Radial. Protec. Dosim, 47-41.

Bos, A.J.J., (2007), Theory of Thermoluminescence, Radiation Measurements 41, S45-S56.

Chen, R., (1969), On the Calculation of Activation Energies and Frequency Factors from Glow Curves, J. Appl. Phys. 40, 570.

Chen, R., (1969)b, On the Calculation of Activation Energies and Frequency Factors from Glow Curves, Journal of Applied Physics, 40: 570-585.

Chen, R. ve McKeever, S.W.S., (1995), Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena, World Scientific Publishing Company Inc., New York, 559p.

Chen, R. ve McKeever, S.W.S., (1997), “Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena”, World Scientific, Singapore, 304.

Çakır, M., (2012), Katkısız ve La ile Katkılanmış Çinko Boratların Termoluminesans (TL) Özelliklerinin İncelenmesi ve Dozimetrik Uygulamalarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

Çetin, A., (2007), “Farklı Metalik İyonlarla Bombalanan ZnO Örneklerinin Fiziksel ve Yapısal Özelliklerinin Nükleer, Lüminesans ve Diğer Teknikler Kullanılarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.

Ege, A., (2008), “Işıma Teknikleri Kullanılarak Jeolojik Örneklerin Tarihlendirilmesi” Doktora Tezi, Ege Üniversitesi.

Furetta, C., Kitis, G., Weng, P.S., Chu, T.C., (1999), Nucl. Instr. and Meth. A, 420: 441.

Furetta, C., Prokic, M., Salamon, R., Prokic, V., Kitis, G., (2001), Dosimetric Characteristic of tissue equivalent thermoluminescent solid TL detectors based on lithium borate. *Nucl. Instr. and Meth.*, 456: 411-417.

Furetta, C., (2003), Some remarks on the pre-exponential factor and the half-life in second and general order of kinetics, *Journal of Materials Science Letters*, 22: 1395-1397.

Furetta, C., Kitis, G., (2004), Review Models in Thermoluminescence, *Journal of Materials Science*, 39: 2277- 2294.

Garlic, G.F.J., Gibson, A.F., (1948), *Proc. Phys. Soc. A*, 184, 366.

Gartia, R.K., Ratnam, V.V., (1975), “Chemical instability of CaO:Y phosphor—a thermoluminescence study”, *Jour. of Mater. Sci.*, 14(3): 747-749.

Göksu, H.Y., Hübner, S., (1997), Retrospective Dosimetry Using The OSL-Pre-Dose Effect in Porcelain. *Appl. Radiat. Isot.*, 48/9, 1231-1235.

Grossweiner, L.I. Lushchik., (1953), A Note on the Analysis of First-Order Glow Curves, *J. Appl. Phys.* 24, 1306.

Gürler, S., (2006), Doğal Zirkonların Tuzak Parametrelerinin Termoluminesans (TL) Yöntemiyle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Mersin.

Halperin, A., Braner, A.A., (1960), Evaluation of thermal activation energies from glow curves, *Phys. Rev.* 117 408-415.

Hoogenstraten, W., (1958), “Luminescence phenomenon in ZnS-type phosphors, *Philips Res. Report* 13: 515-520.

Horowitz, Y., (1984), *Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry*. C.R.C. Press, Florida.

Jiang, L.H., Zhang, Y.L, Li, C.Y., Hao, J.Q., Su, Q., (2007), *Materials Letters*, 61:5107.
Jiang, L.H., Zhang, Y.L, Li, C.Y., Hao, J.Q., Su, Q., (2010). *Applied Radiation and Isotopes*, 68: 196.

Kafadar, V.E., Yazici, A.N., Yıldırım, R.G., (2009), *Journal of Luminescence* 129, 710.
Katı, M.İ., (2009). “Kalsit Mineralinin Termoluminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.

Kaya, Ş., (2009), Türkiye kaynaklı doğal kuvarsın lüminesans özellikleri ve geriye dönük dozimetri çalışmalarında kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı, Ankara.

Kitis, G., Furetta, C., Proki’c, M., Proki’c, V., (2000), Kinetic parameters of some tissue

equivalent thermoluminescence materials. *J. Phys. D* 33, 1252–1262.

Kucuk, N., Kucuk, I., Cakir, M., Kaya Keles, S., (2013), Synthesis, thermoluminescence and dosimetric properties of La-doped zinc borates, *Journal of Luminescence* 139, 84–90.

Li, J.Q. Hao, C.X. Zhang, Q. Tang, Y.L. Zhang, Q. Su, S.B. Wang, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* (2004) 222 577.

Li, J., Zhang, C.X., Tang, Q., Zhang Y.L., Hao J.Q., Su, Q., Wang, S.B., (2007), Synthesis, photoluminescence, thermoluminescence and dosimetry properties of novel phosphor $\text{Zn}(\text{BO}_2)_2:\text{Tb}$, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 68: 143.

L. Juan, Z. Chunxiang, T. Qiang, H. Jingquan, Z. Yanli, S. Qiang, W. Shubin, *J. Rare Earths* (2008) 26 203.

Liu, L.Y., (2006), *Materials Letters*, 60: 639.

Lushchik, C.B., (1956), The Investigation of Trapping Centers in Crystals by The Method of Thermal Bleaching. *Soviet Phys. JEPT*, 3, 390-399.

Manam, J., Sharma, S.K., (2005), *Radiation Physics and Chemistry* 72, 423.

Manam, J., Sharma, S.K., (2008), *Radiation Effects & Defects in Solids* 160, 813.

May, C.E., Partridge, C.A., (1964), “Thermoluminescent kinetics of alpha;-irradiated alkali halides”, *J. Chem. Phys.*, 40 (5): 1401-1409.

McKeever, S.W.S., (1985), *Thermoluminescence of Solids*, Cambridge University Press, London.

McKeever, S.W.S., 8 (1995), *Luminescence Sensitivity Changes in Quartz as a Result of Annealing*. *Radiat. Meas.*, 24: 535-541.

QiuHong, Z., Jing, W., Mei, Z., Weijia, D., Qiang S., (2006), Luminescence Properties of Sm^{3+} doped $\text{Bi}_2\text{ZnB}_2\text{O}_7$. *Journal of Rare Earths*, 24: 392-395.

Pagonis, V., Kitis, G., Furetta, C., (2006), *Numerical and Practical Exercises in Thermoluminescence*, Springer Pres, New York.

Puchalska, M. and Bilski, B., (2006), GlowFit-a new tool for thermoluminescence glow-curve deconvolution, *Radiation Measurements* 41, 659-664.

Randal, J.T., Wilkins, M.H.F., (1945), *Proc. Roy. Soc. A*, 184, 366.

Rasheedy, M.S., El-Sherif, M.A., Hefni, M.A., (2006), Applications of the three points analysis method for obtaining the trap parameters and the separation of

thermoluminescence glow curve into its components, *Radiation Effects & Defects in Solids*, 161(10): 579-590.

Schulman, J.H., Kirk, R.D., West, E.J., (1967), *Proceedings of the International Conference on Luminescence Dosimetry*, Stanford University, CONF-650637, p. 113.

Türkler, L., (2010), *Farklı Termolüminesans Malzemelerin Kinetik Parametrelerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Manisa.

Vij, D.R., (1998), "Luminescence of Solids" Springer, Verlag, Plenum Press, New York LLC, 446p.

Yazıcı, A.N., Solak, S., Chen, R., Yeğingil, Z., (2002), The Analysis of Thermoluminescent Glow Peaks of CaF₂:Dy After β -Irradiation, *J. Physics D : Applied Physics*, 35, 2526-2535.

Yüksel, M., (2008), *Orta Anadolu Flüoritlerinin (CaF₂) Termolüminesans (TL) Işıma Tepelerine Tavlamanın Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adana.

Yüksel, M., (2013), *Doğal ve Katkılanmış Bor Minerallerinin Dozimetre Geliştirmek Amacıyla Termolüminesans (TL) Yöntemi Kullanılarak Çalışılması*. *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adana.

Zheng, Y., Qu, Y., Tian, Y., Rong, C., Wang, Z., Li, S., Chen, X., Ma, Y., (2009), Effect of Eu³⁺-doped on the luminescence properties of zinc borate nanoparticles. *Colloids and Surfaces A*, 349: 19-22.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aziz Halit GÖZEL
Doğum Yeri : Adıyaman
Doğum Tarihi : 01.04.1984
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yılı)
Lise : Adıyaman Lisesi (1999-2002)
Lisans : İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi,
Fizik Bölümü (2004-2008)
Yüksek Lisans : İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Tezsiz Yüksek Lisans (2009-2010)
Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Tezli Yüksek Lisans (2010–2014)

Çalıştığı Kurum/ Kurumlar ve Yıl
Bursa Emniyet Müdürlüğü (2011 - Devam Ediyor)