

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

AMETİST İN TERMOLÜMİNESANS VE OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

SERA İFLAZOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Temmuz 2010

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

AMETİST İN TERMOLÜMİNESANS VE OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

SERA İFLAZOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Adil CANIMOĞLU

Temmuz 2010

Sera İFLAZOĞLU tarafından **Yrd. Doç. Dr. Adil CANIMOĞLU** danışmanlığında hazırlanan “**Ametist’in Termolüminesans ve Optiksel Özelliklerinin Araştırılması**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :

[(Unvan, Adı Soyadı) (Kurumu)]

Üye :

[(Unvan, Adı Soyadı) (Kurumu)]

Üye :

[(Unvan, Adı Soyadı) (Kurumu)]

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Nurettin ACIR
MÜDÜR

ÖZET

AMETİST 'İN TERMOLÜMİNESANS VE OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

İFLAZOĞLU, Sera

Niğde Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Adil CANIMOĞLU

Temmuz 2010, 85 sayfa

Bu çalışmada, dozimetrik özellikleri incelenecek ametist kristalinin termolüminesans özellikleri çalışıldı. Ametist kristaline radyasyon ve tavlama işlemi uygulanmadan önce farklı ısıtma oranları için termolüminesans ölçümü alındı. İlk önce ametist kristali 300Gy X-ışın dozuna maruz bırakıldı ve sonra $\beta = 1^{\circ}\text{C/s}$, 2°C/s , 3°C/s , 4°C/s , 5°C/s ısıtma oranları için kristalin TL parıldama eğrileri elde edildi. Benzer işlemler 600Gy, 900Gy, 1800Gy X-ışın dozları için tekrar edildi. Ametist kristali 60 dakika süreyle 200°C 'de tavlandı ve sonra 300Gy X-ışınına maruz bırakıldı. Bundan sonra, bu kristalin $\beta = 1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için TL parıldama eğrileri kaydedildi. İkinci durumda, aynı yolu takip ederek aynı kristal 400°C 'de 60 dakika tavlama işlemine tabi tutuldu ve bu işlemden sonra 1800Gy X-ışın dozuna maruz bırakıldı. Sonra kristalin $\beta = 1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için TL parıldama eğrisi kaydedildi. Bu ölçümler 50°C - 400°C sıcaklık aralığında gerçekleştirildi. Elde edilen eğrilerden elde edilen soğurulan doz ile TL şiddeti ve ısıtma oranı ile tepe sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelendi ve pik şekli (PS) metodu kullanılarak kinetik parametreleri belirlendi. Böylece, ametist kristalinin termolüminesans parıldama eğrilerinde 106°C ve 166°C sıcaklıklarına tekabül eden iki pik gözlemlendi. Son olarak, ametist kristalinin 200nm-800nm dalga boyu aralığında UV-VIS-IR spektrofotometre yardımıyla optik soğurma grafikleri elde edildi.

Elde edilen bu grafiklerden ametist kristalinin 228nm dalga boyunda dar ve 466nm-530nm dalga boyu aralığında ise geniş soğurma bandına sahip olduğu gözlemlendi.

Anahtar sözcükler: Ametist, Termoluminesans, Dozimetre, Kinetik parametreleri

SUMMARY

SEARCHING THERMOLUMINESCENCE AND OPTICAL PROPERTIES OF AMETHYST

IFLAZOGLU, Sera

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assistant Professor Dr. Adil CANIMOĞLU

July 2010, 85 pages

In this study, the thermoluminescence properties of the amethyst crystal, planned to be used as a dosimeter, was studied. Thermoluminescence measurements were performed before exposing the crystal to X-ray and annealing it. Firstly, amethyst crystal was exposed to 300Gy X-ray dose and then the TL glow curves of the crystal were obtained for $\beta = 1^{\circ}\text{C/s}$, 2°C/s , 3°C/s , 4°C/s , 5°C/s heating rates. Similar processes were repeated for 600Gy, 900Gy, 1800Gy X-ray doses. After this, amethyst crystal was firstly annealed at 200°C for 60 minutes, and then it was exposed to 300Gy X-ray dose and finally its TL glow curve was recorded for $\beta = 1^{\circ}\text{C/s}$. In the second case, following the same way amethyst crystal was annealed at 400°C for 60 minutes, and then it was exposed to 1800Gy X-ray dose and finally its TL glow curve was recorded for $\beta = 1^{\circ}\text{C/s}$. All these measurements were performed at 50°C - 400°C temperature interval. The relationships between the absorption dose and TL intensity and the heating rate and the peak temperature were investigated and the kinetic parameters of the amethyst crystal were determined by using peak-shape method. Hence, two peaks corresponding at 106°C and 166°C in the glow curves of the amethyst crystal. Finally, the optical absorption curves of the amethyst crystal were obtained in the wavelength range 200-800 nm by means of UV-VIS-IR spectrophotometer.

From these graphics, it was observed that the amethyst crystal have narrow absorption band at the wavelength 228nm and wide absorption band in the wavelength range 466nm-530nm.

Keywords: Amethyst, Thermoluminescence, Dozimeter, Kinetic parameters

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca, bilgi ve önerileri ile çalışmalarıma yön vererek katkı sağlayan ve her konuda desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Adil CANIMOğLU'na ve yine çalışmalarım boyunca bilgi ve deneyimini esirgemeyen ve her konuda yardımcı olan hocam Sayın Prof. Dr. Refik KAYALI'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bölüm laboratuvarlarında her türlü çalışma yapma olanağını sağlayan Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Nurdoğan CAN'a ve tez jürim Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETİN'e sonsuz teőekkürlerini sunarım.

Her zaman yanımda olan, maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELLER DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
FOTOĞRAF DİZİNİ.....	xv
KISALTMA VE SİMGELER.....	xvi
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
BÖLÜM III TEORİ.....	14
3.1 Giriş	14
3.2 Lüminesans	14
3.3 Termolüminesans	18
3.3.1 Basit termolüminesans modeli.....	19
3.3.2 Birinci, ikinci ve genel derece TL kinetikleri için ifadeler	21
3.4 Analiz Metotları	26
3.4.1 Başlangıç yükselme metotları.....	26
3.4.2 Bütün TL parıldama eğrilerinde kullanılan analiz metotları	32
3.4.3 Analizlerin pik pozisyon metotları	33
3.4.3.1 Maksimum sıcaklığa dayanan analiz metotları.....	33
3.4.3.2 Çeşitli ısıtma oranlarına dayanan analiz metotları.....	34
3.4.3.3 İzotermal bozunma metodu	36
3.4.3.4 Parıldama pikinin şekline dayanan analiz metotları	38
3.5 Aktivasyon Enerjisi	42
3.6 Kristal Kusurlar	43
3.6.1 İç veya doğal kusurlar	44
3.6.2 Dış veya safsızlık kusurları	45

3.6.3 İyonize radyasyon alkali halojenürlerde kusurlar.....	46
3.7 X-Işını	48
3.7.1 X-ışının özellikleri	48
3.7.2 X-ışının oluşumu	49
3.7.2.1 X-ışın spektrumu	49
3.7.2.2 X-ışın tüpü	50
3.7.3 X ışının madde ile etkileşimi	51
3.7.3.1 Fotoelektrik etki	51
3.7.3.2 Compton saçılması	51
3.7.3.3 Çift oluşumu	51
3.8 Ametist'in Fiziksel Kimyasal ve Yapısal Özellikleri.....	52
3.8.1 Kristal yapısı.....	53
3.8.2 Fiziksel özellikleri.....	53
3.8.3 Kimyasal özellikleri	54
BÖLÜM IV DENEYSEL ÇALIŞMA.....	55
4.1 Ametist Kristaline Radyasyon Uygulanmadan Alınan Termolüminesans	
Ölçümleri	55
4.1.1 Ametist kristalinin temizlenmesi	55
4.1.2 TLD ölçümleri	56
4.2 Ametist Kristaline Radyasyon Uygulandıktan Sonra Alınan Termolüminesans	
Ölçümleri	57
4.3 Ametist Kristaline Isıl İşlem ve Radyasyon Uygulandıktan Sonra Alınan	
Termolüminesans Ölçümleri.....	58
4.4 Optiksel Soğurma İşlemi	59
BÖLÜM V BULGULAR VE TARTIŞMA	60
5.1 Ametist Kristaline Radyasyon Uygulanmadan Alınan Termolüminesans	
Ölçümleri	60
5.2 Ametist Kristaline Radyasyon Uygulandıktan Sonra Alınan Termolüminesans	
Ölçümleri	61
5.3 Simulasyon sonucu.....	75

5.4 Ametist Kristaline Tavlama İşlemi ve Radyasyon Uygulandıktan Sonra Alınan Termoluminesans Ölçümleri.....	76
5.5 Optiksel Soğurma İşlemi	79
BÖLÜM VI SONUÇLAR	81
KAYNAKLAR	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Lüminesans olaylarının ve uyarılma metotlarının çeşitleri	14
Çizelge 3.2 Ametist'in fiziksel kimyasal ve yapısal özellikleri	52
Çizelge 5.1 Ametist kristaline 300Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri	63
Çizelge 5.2 Ametist kristaline 600Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri	65
Çizelge 5.3 Ametist kristaline 900Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri	67
Çizelge 5.4 Ametist kristaline 1800Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri	69
Çizelge 5.5 Simulasyonla elde edilen parıldama eğrilerinin aktivasyon enerjisi, maksimum şiddet ve maksimum sıcaklık değerleri	75
Çizelge 5.6 200 °C tavlama sıcaklığında 300Gy X-ışın dozu verilerek $\beta=1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri	77
Çizelge 5.7 400 °C tavlama sıcaklığında 1800Gy X-ışın dozu verilerek $\beta=1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Maddenin kristal yapısında termolüminesans olayının oluşumu	3
Şekil 3.1	Floresans, fosforesans ve termolüminesans radyasyon soğurması ve yayılımı arasındaki ilişki.....	15
Şekil 3.2	Lüminesans olayının soyağacı.....	16
Şekil 3.3	a) Floresans oluşumunu gösteren enerji geçişi b) Fosforesans oluşumunu gösteren enerji geçişleri	17
Şekil 3.4	TL parıldama eğrisi.....	18
Şekil 3.5	Termolüminesans işlemi için iki basamaklı basit model	19
Şekil 3.6	t zamanının bir fonksiyonu olarak RC birleşme merkezinde T(t) sıcaklık görüntüsü, boşluk tuzaklarının konsantrasyonu $n_h(t)$ ve termolüminesans şiddeti I(t)..	20
Şekil 3.7	Birinci ve ikinci derece kinetikler için TL parıldama eğrilerinin şematik karşılaştırılması	22
Şekil 3.8	Farklı başlangıç konsantrasyonları için (3.6) ve (3.7) denklemleri kullanılarak hesaplanan birinci ve ikinci derece TL parıldama eğrileri	23
Şekil 3.9	a) Farklı frekans faktörü s ve $E=1.0eV$ için b) farklı aktivasyon enerjisi E ve $s=10^{12}s^{-1}$ için (3.6) denklemi kullanılarak hesaplanan birinci derece TL parıldama eğrileri.....	24
Şekil 3.10	Kinetik derece b parametresinin farklı değerleri için (3.7) denklemi kullanılarak hesaplanan genel derece TL parıldama eğrileri	25
Şekil 3.11	Bir termolüminesans parıldama eğrisinin başlangıç yükselme kısmı.....	27
Şekil 3.12	Şekil 3.7'nin başlangıç yükselme kısmı için başlangıç yükselme tekniği uygulaması	27
Şekil 3.13	Ilich tarafından önerilen grafiksel metot.....	28
Şekil 3.14	Başlangıç yükselme metodunun başarısız olduğu üst üste binen TL parıldama pikleri örneği.....	30
Şekil 3.15	Bütün parıldama pikinde n(T) alanının hesaplanması-alan ölçüm metodu ...	32
Şekil 3.16	Isıtma oranıyla, maksimum şiddetin T_M sıcaklığındaki değişimi	34
Şekil 3.17	Geometrik şekil büyüklükleri τ , δ , ω	39

Şekil 3.18 Kinetik derece b ve geometrik faktörler $\mu=\delta/\omega$ ve $\gamma=\delta/\tau$	41
Şekil 3.19 Bant boşluğunda kusur seviyeleriyle bir yalıtkanın basit bir bant yapısı	42
Şekil 3.20 İdeal kristalin üç boyutlu yapısı	44
Şekil 3.21 İç kusurlu gerçek bir kristalin yapısı	45
Şekil 3.22 Çift değerlikli Mg^{2+} katyonunun yerine geçmesi	45
Şekil 3.23 a) Alkali iyon kayıpları, b) Bir kompleks oluşturmak için iyonları çekimi...46	
Şekil 3.24 Gerçek bir kristalde V, V_k , V_3 merkezleri.....	47
Şekil 3.25 Ametist kristali	53
Şekil 3.26 Silisyum dioksitin (SiO_2) kristal yapısı.....	53
Şekil 4.1 Ametist kristalinin temizlenme işlemi	55
Şekil 5.1 Farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri.....	61
Şekil 5.2 Ametist kristaline 300Gy X-ışın dozu verdikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri	62
Şekil 5.3 Ametist kristaline 600Gy X-ışın dozu verdikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri	64
Şekil 5.4 Ametist kristaline 900Gy X-ışın dozu verdikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri	66
Şekil 5.5 Ametist kristaline 1800Gy X-ışın dozu verdikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri	68
Şekil 5.6 Farklı X-ışın dozlarına maruz bırakılan kristalin $\beta=1^0C/s$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri	70
Şekil 5.7 Farklı X-ışın dozlarına maruz bırakılan kristalin $\beta=2^0C/s$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri	71
Şekil 5.8 Farklı X-ışın dozlarına maruz bırakılan kristalin $\beta=3^0C/s$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri	72
Şekil 5.9 Farklı X-ışın dozlarına maruz bırakılan kristalin $\beta=4^0C/s$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri	73
Şekil 5.10 Farklı X-ışın dozlarına maruz bırakılan kristalin $\beta=5^0C/s$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri	74
Şekil 5.11 1800Gy X-ışımına maruz bırakılan ve $\beta=1^0C/s$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinin simülasyonla elde edilen değişik tuzaklara ait eğriler deneysel ve simülasyonla elde edilen toplam radyasyon eğrilerinin karşılaştırılması	75

Şekil 5.12 200 ⁰ C tavlama sıcaklığında 300Gy X-ışın dozu verilerek elde edilen parıldama eğrisi ve 300Gy X-ışın dozu verilerek elde edilen parıldama eğrisinin karşılaştırılması.....	77
Şekil 5.13 400 ⁰ C tavlama sıcaklığında 1800Gy X-ışın dozu verilerek elde edilen parıldama eğrisi ve 1800Gy X-ışın dozu verilerek elde edilen parıldama eğrisinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 5.14 Ametist kristalinin soğurulma bandı.....	79
Şekil 5.15 Ametist kristalinin soğurulma bandı.....	80

FOTOĞRAF DİZİNİ

Fotoğraf 4.1 RA94 TLD Reader-Analyser model TLD cihazı	56
Fotoğraf 4.2 Machlett OEG marka X-ışını tüpü	57
Fotoğraf 4.3 Proterm marka boru tipi fırın	58
Fotoğraf 4.4 Perkin Elmer marka Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresi.....	59

KISALTMA VE SİMGELER

KISALTMA / SİMGE

TL	Termolüminesans
TLD	Termolüminesans dozimetre
I(t)	Işıma şiddeti
I ₀	Başlangıçtaki ışına şiddeti
E	Tuzak derinliği
T	Sıcaklık
T ₀	Başlangıçtaki sıcaklık
T _M	Işıma eğrisinin maksimum sıcaklığı
T _{stop}	Durdurma sıcaklığı
β	Isıtma oranı
RC	Yeniden birleşme merkezi
s	Frekans faktörü
t	Zaman
b	Kinetik derece
n	Tuzaklanmış elektronların sayısı
n ₀	Başlangıçta tuzaklanmış elektron sayısı
N	Toplam tuzak sayısı
k	Boltzman sabiti
T	Elektron tuzağı
OTOR	Bir tuzak bir birleşme merkezi modeli
STM	Basit tuzak modeli
R _{rec}	Birleşme merkezi
R _{ret}	Tekrar tuzaklanma
QE	Yarı kararlı seviye
ib	İletkenlik bandı
vb	Valans bandı
eV	Elektron volt, enerji birimi
Gy	Gray (Radyasyon soğurma birimi)= j/kg

nm	Nanometre, $1\text{nm}=10^{-9}\text{ m}$
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama ışını
X	X-ışını
τ	Tuzak ömrü
a.u.	Keyfi birim
GO	Genel derece
CGCD	Bilgisayarlı ışına eğrisi çözümleme
PS	Pik (Tepe) Şekli
IR	Başlangıç yükselme metodu
exp	Exponansiyel
IR	İnfrared (kızıl ötesi)
UV	Ultraviyole (mor ötesi)
η	Lüminesans verimi

BÖLÜM I

GİRİŞ

Doğal radyasyonun olduğu bir çevre içinde yaşamaktayız. Karasal ortamdaki kayalarda ve deniz ortamındaki sedimentlerde radyoaktif maddeler bulunduğu gibi atmosferde de kozmik ışınların etkisiyle radyoaktivite oluşur. İnsanoğlu ve diğer canlılar milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyona maruz kalmakta ve tüm canlılar var oluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar.

Radyoaktif elementler doğada kendiliğinden bulunmaktadır. Doğada kendiliğinden radyasyon yayan (radyoaktif) maddelerin var olduğu ilk kez 1896 yılında Fransız fizikçi Henri Becquerel tarafından bulunmuştur. Doğada mevcut bulunan uranyum, toryum, aktinyum ve radyum bozunumları gibi radyoaktif maddeler tarafından salınan alfa, beta ve gama gibi radyoaktif ışınlar madde ve canlı organizmalar üzerinde olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Özellikle taş ve topraktan yayılan radon ve toron gazları taş, toprak ve beton yerlerde yaşayanları daha çok etkilemektedir. Bunun yanı sıra, uzaydan dünyamıza ulaşabilen kozmik ışınlar ve ultraviyole ışınlar da canlı organizmalar üzerinde olumsuz etkilerde bulunabilir. Dolayısıyla çevremizde bulunan doğal radyasyona madde ve canlılar maruz kalmaktadırlar.

Radyasyon çeşitli hasarlar oluştururken diğer yandan pozitif amaçlarla kullanımı vazgeçilmez olmuştur. Radyoaktiflik hemen hemen bütün bilimsel ve teknik alanlarda geniş bir uygulama alanına sahiptir. Radyoaktivite uygulamaları ve radyasyon ölçümü, Fizik, Kimya, Biyoloji, Tıp, Metalurji, Tarih, Arkeoloji ve Jeoloji gibi birçok bilimsel ve teknik alanda kullanılmaktadır. Radyasyondan faydalanılarak yapılan çalışmalar yaşam koşullarımızın gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır. Radyasyon tanı ve tedavi de kullanılırken, endüstri alanında da sıkça kullanılmaktadır. Alman fizikçi Prof. Dr. Wilhelm Conrad Roentgen tarafından 1895 yılında X-ışınlarının keşfedilmesi radyoloji biliminin doğmasına vesile olmuş ve X-ışınlarının keşfi tıp alanında bir çığır açmıştır.

Ancak radyolojinin tanı ve tedaviyle ilgili uygulamalarında kullanılan gama (γ) ve X-ışınları radyasyonla çalışanlar ve hastalar üzerinde birçok biyolojik zarara neden olmaktadır.

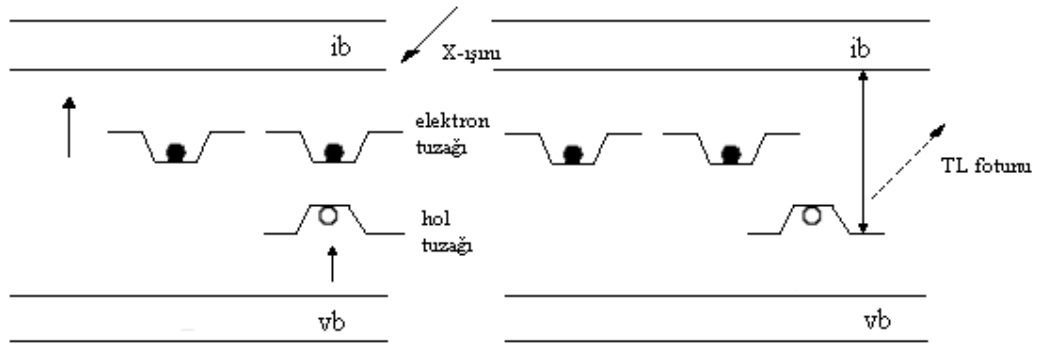
Radyasyon madde üzerinde iyonlaştırıcı radyasyon veya iyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkilerini yaratabilir. İyonlaştırıcı radyasyon, madde ile etkileştiğinde iyonlaşmaya neden olan radyasyonlar iyonlaştırıcı (iyonizan) radyasyon olarak bilinir. Bunlar katı, sıvı ve gaz maddelerini iyonlaştırır. İyonlayıcı karaktere sahip her radyasyon organizma üzerinde belirli bir biyolojik etki gösterir. İyonlayıcı radyasyonlar X-ışınları, gama ışınları (γ), alfa (α), beta (β) radyasyonları, kozmik ışınlar ve nötronlardır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, ultraviyole, kızılötesi, radyo dalgaları ve mikrodalgalar şeklinde sınıflandırılır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak bilinen çok daha uzun dalga boyuna sahip olan, yüksek gerilim hatları, bilgisayarlar, cep telefonları, mikro dalga fırınlar ve radyo dalgaları şeklindeki radyasyonlar hücrenin kimyasına zarar vermezler. Sağlığa zararlı etkileri az görülür.

Termolüminesans (TL) dozimetri ölçümü madde içinde depolanan uranyum (U), toryum (Th) ve potasyum (K) gibi uzun ömürlü radyoaktif izotopların bozunması sonucunda ortaya çıkan alfa (α), beta (β) parçacıkları ile gama (γ) ışınları tarafından taşınan enerjinin madde içerisinde birikmesi olayına dayanmaktadır. Bu ölçümde alınan radyasyonun belirlemeye yarayan aletler dozimetre olarak adlandırılır. Dozimetreler radyasyon ölçümü ile bağlantılı çalışmalar yürütülen Tıp, Nükleer Mühendislik, Fizik, Jeoloji ve Arkeoloji alanlarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Termolüminesans teoremi ilk kez Robert Boyle (1664) tarafından gözlenmiştir. Termolüminesans ışınlama sonucunda bazı katı maddelerin ısıtma ile ışık yayınlanması olayıdır. Radyasyonla uyarılarak valans bandından iletkenlik bandına geçen ve oradaki tuzaklarda tutulan elektronlar ısıtma yolu ile enerji alarak bu tuzaklardan kurtulup tekrar valans bandına dönmeleri sırasında iki seviye arasındaki enerji farkına eşit, görünen bir ışık yayınlırlar. Katı madde ışınlandığında kristal yapısı içindeki yabancı atomlar, boşluklar ve kristal yapısındaki diğer bozukluklar radyasyon etkisiyle uyarılan elektronların yakalanması için gerekli tuzak yerlerini temsil ederler. Kristal yapısındaki her kusur için karakteristik bir bağlanma enerjisi veya tuzakların yakalanan elektronlar için belli bir yakalanma derinliği vardır.

Katı cisim bu yakalanma derinliğine eşit bir sıcaklığa kadar ısıtılacak olursa elektronlar yakalandıkları tuzaklardan kurtularak valans bandına dönerler ve bu sırada termal ışığı yayınlılar. Yayınlanan ışığın şiddeti tuzaklarda yakalanmış elektronların sayısı ve dolayısıyla kristal tarafından soğurulan toplam radyasyonun dozuyla orantılıdır. Bu lüminesans ışık şiddetinin ölçülmesiyle soğurulmuş radyasyon dozu ölçülebilmektedir. Yaydığı ışık şiddeti ölçülerek radyasyonun şiddeti belirlenir. Bunun için şiddeti bilinen bir kaynak kullanılarak kalibrasyon eğrisinin çizilmesi gerekir. Yayınlanan ışık miktarı kullanılan maddenin cinsine ve iyonlaştırıcı radyasyondan soğurulan enerji miktarına bağlıdır.

İletkenlik bandı ile valans bandı arasındaki enerji aralığı kuantum teorisine göre yasaklanmış olmasına rağmen termolüminesans özellik gösteren katılarda kristaldeki yapı bozuklukları veya kristal içinde yabancı atomların ilavesi ile oluşturulan ara enerji durumları vardır. Bir kristal radyasyon ile uyarılırsa valans bandında bulunan ve soğurulan radyasyonun enerjisini kazanan elektronlar boşluklarını bırakarak iletkenlik bandına çıkarlar ve tuzaklara yakalanırlar. Bu şekilde uyarma enerjisinin büyük bir kısmı kristalde depo edilmiş olur.



Şekil 1.1 Maddenin kristal yapısında termolüminesans olayının oluşumu

Kristalden yayımlanan ışık miktarı tuzaklardaki elektron ve hollerin sayısı ile orantılıdır. Yayınlanan ışık miktarının ölçülmesi ile katının soğurduğu radyasyon ölçülmüş olur.

Bu çalışmada, ametist kristalini radyasyona maruz bırakmak suretiyle kristal örgüdeki kusurlarda tuzaklanmış olan elektronlar tarafından depolanan radyasyon enerjisi bulundu. Ametist kristalinin termolüminesans spektrumlarında hem ışınlama dozu hem de ısıtma oranının etkisi ve TL ışıma piklerinin kinetik parametreleri incelendi. Yapılan çalışmada ametist kristaline radyasyon uygulamadan önce farklı ısıtma oranları için termolüminesans ölçümü alındı. Daha sonra ametist kristali 300Gy, 600Gy, 900Gy ve 1800Gy değerlerinde X-ışını dozlarına maruz bırakıldı ve farklı ısıtma oranları için parıldama eğrileri elde edildi. Ametist kristali 200⁰C sıcaklıkta 60 dakika tavlama işlemine tabi tutuldu ve 300Gy X-ışınına maruz bırakıldı. Daha sonra ametist kristali 400⁰C sıcaklıkta 60 dakika tavlandı ve 1800Gy X-ışınına maruz bırakıldı. Bu işlemlere göre sıcaklığa karşı yayımlanan ışık şiddetinin grafiği ölçüldü. Son olarak ametist kristaline optik soğurulma işlemi uygulandı ve sonuç grafikleri kaydedildi. Ametist kristaline radyasyon ve tavlama işlemi uygulandıktan sonra elde ettiğimiz parıldama eğrilerine pik şekli (PS) metodu uygulayarak aktivasyon enerjisi ve frekans faktörü değerleri hesaplandı.

Bu tezin birinci bölümünde radyoaktiflik konusu, çeşitleri ve kullanıldığı alanlar hakkında bilgi verilecektir. Termolüminesans olayının oluşumu kısaca anlatılacaktır. İkinci bölümde daha önce termolüminesans ile ilgili yapılan çalışmalar verilecektir. Bölüm üçte lüminesans, termolüminesans, birinci, ikinci ve genel derece kinetik denklemleri, analiz metotları, aktivasyon enerjisi, kristal kusurları, X-ışını ve ametist kristali hakkında genel bilgiler açıklanacaktır. Bölüm dördte deneysel yöntemler ve çalışmalar detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Bölüm beşte deney sonuç grafikleri ve bu grafiklerden hesaplanan aktivasyon enerjisi frekans faktörü değerleri verilecektir. Bölüm altıda yapılan deneysel çalışma değerlendirilerek sonuç ve yorum kısmı açıklanacaktır.

BÖLÜM II

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

I. Plath ve G. Lehmann, yaptıkları bu çalışmada doğal ametist numunesini 10GPa ve 50GPa (1GPa= 10^9 Pa), değerleri arasında basınç şokuna maruz bırakmışlar. Yüksek enerjili radyasyon olmadığı durumlarda bile termoluminesansı (TL), X-ışını radyasyonundan sonrada gözlemlemişler. Parıldama eğrisi, Gaussion şeklini en çok beş bileşene ayırmıştır. Bu bileşenlerden aktivasyon enerjisi bulunabileceğini, fakat tuzak derinliğinin geniş bir dağılımından dolayı bulunan aktivasyon enerjisi değerinin güvenli olmayacağını belirtmişlerdir. Bundan dolayı daha yüksek termal sabit tuzakların basınç şoklarının artırılması tercih edilmiştir. Yayılım bantları maksimum 14000cm^{-1} yakınında basınç şoklarından bağımsız olarak hizmet etmiştir. Şok olayları sırasında yaratılan kusurların karakteristikleri olarak gözükeceklerini, fakat ametist için demir safsızlık karakteristiğiyle ilgili TL gözlenip gözlenmeyeceğinin belirsiz olduğunu belirtmişlerdir. Aynı orijinli doğal ametist numunesinde TL gözlenmeyeceğini, hatta X-ışın radyasyonu eklendikten sonra da gözlenmeyebileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada ametist kristalinde TL, Al saflıklarıyla ilişkili tuzaklar olduğunu ve F^{4+} safsızlıklarıyla ilişkili olmadığını yaptıkları çalışmada rapor etmişlerdir [1].

C. M. Sunta ve ark. bu çalışmada termoluminesans parıldama eğrilerini bir genel yaklaşıklık kullanarak bir tuzak bir birleşme merkezi modeli için nümerik bir şekilde hesaplamışlar. Piklerin aşırı olduğu durumlar haricinde dozdaki bir değişimle şekil ve pozisyonda bir değişiklik gözlenmiştir. Bu parıldama pikleri genel derece kinetik modeline uyarlanmış ve kinetik parametre değerleri yani aktivasyon enerjisi, frekans faktörü ve kinetik dereceleri en iyi eğri çözümlene metodu ile belirlenmiştir. Aktivasyon enerjisi denklemlerine uyarlanan modelde genel yaklaşıklık model hesaplamalarında kullanılmıştır. Kinetik derecelerine ve frekans faktörüne uyarlanan değerler tüm durumlarda, (doz) tuzakların başlangıçta işgal edilmesi ile parametreler değişmektedir. Tuzakların işgal edilmesi artıkça kinetik derece değerinin azalacağını, fakat frekans faktörü değerinin artacağı belirtilmiştir. Kinetik derecenin değeri $1 < \text{kinetik derece} < 2$ olduğu durumlarda en iyi uyarlamanın genel derece piklerin olduğu gözlenmiştir. Daha iyi bir uyarlamada iki pik bulunmuştur. Birincisi yaklaşık olarak birinci dereceden diğeri ise ikinci dereceden kinetik olduğu belirtilmiştir.

Kinetik derece parametreleri soğurulan dozda birleşme merkezinde karşılaştıkları kısımda ve tekrar tuzaklanmaları oranıyla doğru orantılıdır. Bu teoriksel sonuçlar genelde deneysel gözlemlerle kıyaslanarak tartışılmıştır [2].

C. M. Sunta ve ark. yaptıkları bir diğer çalışmada üç fiziksel modelden hesaplanan termolüminesans parıldama eğrileri, aktivasyon enerjisi E ve kinetik derece b değerlerine uyanı bulmak için deneysel genel derece (GO) kinetik ifadelerini uyarlamışlar. Sonuçlar 1 ve 2 den farklı b'nin en iyi uyarlanan değerlerinde bir bozunma şekli göstermiştir. Aynı zamanda E'nin uyarlanması doğru değerinden farklılık göstermiştir. Bu sonuçlar ısıtılan numunenin radyasyon sonrasında LiF'nün (TLD-100) beş parıldama eğrisinin aktivasyon enerjisinde gözlenen değişiklik yeniden yorumlanmak için kullanılmıştır. LiF'nün (TLD-100) beş parıldama eğrisi için GO kinetiklerinin uygulamaları tutarsız sonuçlara yol açmıştır ve GO uyarlama tarafından bulunan E'de ki değişimin güvenli olmayacağı sonucunu çıkarmışlardır [3].

Mirjana Prokic yaptığı bu çalışmada bazı TL fosforlarının termolüminesans üzerinde çift katkılı lityumun etkisini çalışmıştır. Bu sonuçlar MgB_4O_7 : Tm ki çift katkılı lityum $CaSO_4:Dy$, $CaSO_4$: Tm, CaF_2 : Mn, MgB_4O_7 : Dy, MgB_4O_7 : Tm, MgB_4O_7 : Tb, MgB_4O_7 : Mn, CaB_4O_7 : Dy, CaB_4O_7 : Tm termolüminesans fosforları, enerji transfer sürecini geliştirmek veya aktivatör iyonlarının daha iyi birleşiminden dolayı yüksek lüminesans verimliliğine sebep olduklarını göstermiştir. Verilen fosforların üzerine Lityumla çift katkılama ve lityum çift katkılama olmaksızın TL fosforları ile kıyaslandığı zaman 1.2'den 3.4 katına kadar artan TL hassasiyeti ile ölçmüştür. Çeşitli TL fosforlarının termolüminesans üzerine lityum safsızlığıyla çift katkılı etki, TL fosforlarının hazırlanması sırasında Li-çift katkılı olana ek olarak, metot ve lityum bileşiklerine ek olarak kimyasal yapı, Li konsantrasyonlarına bağlı olarak çalışmıştır. Bazı TL fosforlarına sebep olan çift katkılı lityuma ek olarak, TL hassasiyetinin artmasıyla bağlantılı daha düşük piklerin arttığını gözlemlemiştir. Bu TL fosforlarının yüksek TL verimliliği, özel kısa süreli ölçümler için dozimetrik uygulamada kullanılabileceği sonucunu çıkarmıştır [4].

A.J.J. Bos bu çalışmada dozimetrik uygulamalarla ilgili termolüminesans olayının (TL) fiziğini incelemiştir. Temel kavram olarak bir tuzak-bir birleşme merkezi olan basit modeli kullanılarak vermiştir. Termolüminesans dozimetri materyallerinin (TLD) genel karakteristiklerini incelemiştir. İki yüksek hassasiyete sahip TL materyalleri LiF:Mg,Cu,P ve α -Al₂O₃:C detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Bu materyallerin anlaşılması ve bilinmesi için gösterilen TL mekanizması hala eksik olduğunu belirtmiştir. TL mekanizmalarının anlaşılması tamamlanmamış olmasına rağmen alan ölçümlerinin bu materyallerde güvenli bir yolla çok düşük sıcaklıklarda kullanılabileceğini göstermiştir [5].

T. Rivera ve ark. bu çalışmada UV dozimetrisinde kullanmak için arzu edilen karakteristiklerinden dolayı yeryüzünde nadir zirkonyum oksit katkılı (ZrO₂: RE) ince filmler çalışılmıştır. Laboratuvarlarında ZrO₂: RE ince filmlerinin hazırlanması için bir metot geliştirmişler. Bu materyallerin dozimetrik karakteristikleri daha önceden rapor edilmiştir [6] ve bu raporlar sonucunda termolüminesans mekanizmasının analizi ve gelişmesi sürekli bir uyarılmaya sahip olduğu görülmüştür. Termolüminesans (TL) çalışmaları aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) gibi iki önemli parametre ile belirlenebilir. Bu çalışmada Lushchik [7] metotları kullanılarak, 260nm UV ışığına maruz bırakılan terbiyum katkılı zirkonyum oksit (ZrO₂: Tb) ince filmlerinin belirlenen kinetik parametrelerin sonuçları verilmiştir. Parıldama eğrilerinin kinetik analizi hem birinci derece hem de ikinci derece parıldama pikleri için ikinci derece kinetikleri göstermişlerdir [8].

C. M. Sunta ve ark. bir diğer çalışmada aşağıda verilen bulgu ve sonuçları çıkarmışlardır. Çok tuzaklı bir genel şekli kullanarak termolüminesans (TL) parıldama eğrilerin sistem parametrelerini farklı çizmek için hesap yapmışlardır. Özellikle birinci derece kinetik parıldama eğrilerinin koşulları altında ışınlanmış nokta üretilmiştir. Parıldama eğrilerinin genel şeklinde düşük tuzaklar işgal edildiğinde birinci derece için her zaman azalma göstermiştir. Burada önerilen pik analizi için parametrelerin belirlenmesi sadece düşük dozlarda olacağını göstermişlerdir. Birinci derece kinetik parıldama eğrileri birleşme merkezinin (R_{rec}) daha hızlı, eşit veya tekrar tuzaklanma (R_{ret}) oranından daha yavaş olup olmayacağını hesaba katmadan elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

İşgal edilmiş bantlarda serbest yüklerin yarı kararlı seviyeleri (QE) termal uyarılma iletkenliği ve TL'nin bilinen analitik ifadelerinin elde edilmesi için gerekli koşul olduğunu göstermişlerdir. Yarı kararlı seviyenin oluşma koşulu, tuzak konsantrasyonu, birleşme merkezi (RC) ve serbest yüklerin tesir kesitine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Katkılı yalıtkanlarda ve yarıiletkenlerde bu parametrelerin değerleri yarı kararlı seviyede tuzaklanmayan yük taşıyıcıları mevcut olan merkezlerde birleşeceğini ve yerlerinden işgal edilen fosforların çoğu da TL yayılım mekanizması ile yeterli bir şekilde açıklanabileceğini göstermişlerdir. Birinci derecenin özellikleri, üst üste lineerlik ve doz öncesi duyarlılaştırma ile bu sistemin yapısı altında kolay bir şekilde açıklanabilmişlerdir. Yarı kararlı seviye ve hızlı bir şekilde tekrar tuzaklanma tutarlı bir yapı olmadığını ve yavaş bir şekilde tekrar tuzaklanmadan dolayı birinci derece kinetiklerin etkisi görüldüğünü belirtmişlerdir [9].

Felicia D.G. Rocha ve ark. bu çalışmada ametistin temel dozimetrik karakteristikleri, termoluminesans (TL) tekniği kullanılarak gama radyasyonunu algılamak için incelenmiştir. Numune, X-ışını ve gama radyasyon demetleri ile test edilmiştir ve TL parıldama eğrilerinin soğurulan doza karşı cevap verme duyarlılığı ve radyasyon enerjisine bağımlılıkları araştırılmıştır. İlk sonuçlar dozimetride radyasyon sürecinde bu materyalin yararlı olduğunu göstermiştir [10].

D. Briand ve ark. yaptıkları bu çalışmada özel bir şekilde proton radyo terapisindeki dozimetri için dizayn edilen küçük LiF:Mg, Ti (MTS-N) pelletleri 85K-550K sıcaklık oranında çalışmışlardır. Farklı Mg veya Ti katkı detektörler için TL parıldama eğrileri beş pikin şiddeti üzerine Mg konsantrasyonun üstün gelen etkisini göstererek kaydetmişlerdir. Kompleks üç pikin varlığı, 290nm ve 420nm aralığında meydana gelen maksimum iki bandan oluşan bu pikin spektral yayılımı 140K yakınında olduğu uygun olduğunu göstermişlerdir. 300K'de parıldama eğrileri ve buna benzer TL'ler gözlenmiştir. 33Gy'den 500Gy kadar bir X-ışınına maruz bırakılan beş TL pikinin davranışını çalışmışlar ve şiddetin her iki durumda da lineer bir fonksiyon olduğunu göstermişlerdir [11].

A. Necmettin Yazıcı ve ark. bu çalışmada kimyasal püskürtme tekniği kullanılarak geliştirilen ZnS ince filmlerinin termolüminesans (TL) parıldama eğrilerini dikkatli bir şekilde incelemişler ve ZnS ince filmlerinin kinetik parametrelerini özel geliştirilen bilgisayar programı ile belirlemişlerdir. Bu araştırmanın sonuçları, ZnS ince filmlerinin tuzaklanan seviyelerini iyi bilen Randall-Wilkins (RW) veya Genel-Derece (GO) modelleri ile analiz edilemeyeceğini göstermişlerdir. Deneysel sonuçların detaylı bir araştırması enerji dağılımının iyi tanımlanması ile bir yapının sahip olduğu tuzak seviyeleri gösterilebileceğini belirtmişlerdir. Teorik bir şekilde oluşturulan parıldama eğrileri ile ZnS ince filmlerinin deneysel parıldama eğrilerinin birleştirilmesinden sonra tuzakların dağılımının exponansiyel bir dağılım çeşidine sahip olduğunu bulmuşlardır [12].

A. Necmettin Yazıcı ve Zihni Öztürk yaptıkları bu çalışmada 2°C/s ısıtma oranında kaydedilen $t_a \geq 30$ dakika ısıtma zamanı için radyasyon öncesi 150°C 'de ısıtma işlemi uygulandıktan sonra pik 3 (160°C) ve pik 4 (190°C) arasına yerleşen ve 175°C 'de görünen (pik 3a olarak gösterilen) yeni bir parıldama piki gözlemlemişlerdir. Bu araştırma bu pikin komşu pik 3 ve pik 4 den farklı karakteristiğe sahip olduğunu göstermiştir. TL yayılım spektrasının çözümleme analizi 396nm, 406nm, 563nm yakınında en az üç etkin yayılım bandına ve ısıtma sürecine bağlı olarak 469nm civarında büyük bir yayılım bandına sahip olduğunu göstermiştir. Doz cevabı, bilgisayar ışınma eğrisi çözümleme (CGCD) tekniği kullanılarak 25mGy ve 400Gy arasında çalışılmıştır ve 25mGy ve 20Gy arasında lineer bir doz cevabına sahip olduğu gözlenmiştir. Radyasyon takibi yapılan ilk ayda bu pikin %12' den daha az sönümlendiği rapor etmişlerdir. Son olarak tuzaklanan parametreler üzerinde 150°C 'de ısıtma işleminin etkisi, ısıtma zamanının bir fonksiyonu olarak CGCD metodu kullanılarak detaylı bir şekilde çalışılmıştır. Sonuçlar kinetik derecenin (b) ısıtma işlemi boyunca yaklaşık olarak sabit kaldığını fakat aktivasyon enerjisi (E_a) ve frekans faktörü (s) değerlerinin ısıtma işlemi boyunca aşırı bir şekilde değiştiğini göstermiştir [13].

P. Olko ve ark. bu çalışmada lityum florür termolüminesans (TL) detektörleri, Li-7 izotopu ve çeşitli aktivatörleri (MTS-7 LiF: Mg, Ti, MTT-7 LiF: Mg, Ti, MCP-7 LiF: Mg, Cu, P ve Ti konsantrasyonunun artırmak) ICHIBAN deneyi içinde ağır yüklü parçacıkları dozimetri için kullanmışlardır.

Mikro dozimetrik model, 0.3 'den 20 meV amu⁻¹ enerji oranı ve Z= 1'den Z=6 oranına kadar iyon yükleri için proton ve ağır yüklü parçacık (HCP) radyasyonundan sonra bu detektörlerin gama ışın dozuna bağlı detektör verimliliğini η , hesaplamak için uygulamışlardır. Z >1 ile HCP için 0.2-0.4 arasında ve protonlar için 0.2–1.0 oranları konumunda olan $\eta_{MCP-7}/\eta_{MTS-7}$ oranını hesaplamışlardır. 1.3-2 değerleri arasında Z>1 için ve 1.0-1.45 değerleri arasında bulunan protonlar için $\eta_{MTT-7}/\eta_{MTS-7}$ değerleri de hesaplanmıştır. Bu bağıntılar, doz değerlendirmesi, TLD okuyucularının doğruluğu ve bilinmeyen bir HCP alanında 'LET etkisi' hakkında bilgi türetmek için uygulanabileceğini göstermişlerdir [14].

P. Bilski ve ark. bu çalışmada çoğu zaman termoluminesans detektör olarak kullanılan LiF: Mg, Ti (TLD-100 veya MTS-N olarak dağılan) özellikleri klinik dozimetri veya radyasyon korumada karşılaşılan seyrek olarak iyonize radyasyonun (gama ışınları) ölçümleri için en iyi şekilde kullanılan olduğunu belirtmişlerdir. Ancak bu detektörler uzayda veya ağır iyon demetlerinde karşılaşılanlar gibi, bir yüksek-LET bileşeni ile karışık alan dozimetre koşullarında da uygulanabileceğini göstermişlerdir. Krakowda Nükleer Fizik Enstitüsünde LiF: Mg, Ti (MTT isimli) detektör son zamanlarda katkılanan bileşikler yoluyla değiştirilerek geliştirilmiş olduğunu ve bu bileşikler yüksek-LET radyasyonunun bir dozundan sonra algılama verimliliğini artırma eğilimde olduğunu belirtmişlerdir. MTT materyalinde katkılanan konsantrasyonlar $C_{Mg}=50\text{pmm}$ ve $C_{Ti}=120\text{ pmm}$ gibi magnezyum üç kattan daha az, titanyum içeriği on kattan çok MTS-N standartları ile kıyaslanmıştır. MTT TL detektörlerinin özelliği yüksek-LET radyasyon verimliliğine bağlı olarak 5MeV alfa parçacıkları için LiF: Mg, Ti standartlarının iki katı olarak artırılmıştır. MTT detektörlerinin cevabı Chiba, Japonya, Dubna ve Rusyada HIMAC hızlandırıcılarının yüklü parçacık demetlerinde çalışılmıştır. MTT detektörlerinin temel öngörülen uygulamaları uzayda doz ölçümleri olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek-LET maruz kaldıktan sonra doz MTS ve MTT detektörlerinin cevap farklılıklarından tahmin edilebileceğini ve yakın gelecekte MTT detektörleri 'Matroshka' deneylerinde uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Bu deneyle özel bir şekilde phantom insan yapısı bir yıl için (Uluslararası Uzay İstasyonu dışında) serbest uzayda maruz bırakılacağını ve Phantom'un özellikle organlardaki radyasyon dozunu belirlemeyi mümkün kılabilmek için insanın binde birkaç ölçüm noktasını kapsayacağını bu çalışmada belirtmişlerdir [15].

I. Kasa ve ark. yaptıkları bu çalışmada termoluminesans fosforun yeni bir çeşidini lineer doz cevabı oranını artırmak amacı ile geliştirmişlerdir. $\text{CaSO}_4: \text{T}_m, \text{C}_u$ maddesini kendi metotlarına göre hazırlamışlar ve 0.5Gy-125.0kGy doz oranında çalışmışlardır. Bu çalışmadaki sonuçlar $\text{CaSO}_4: \text{T}_m, \text{C}_u$ basit tuzak sisteminin bir sonucu olarak, parıldama eğrisinden dolayı mükemmel yeni bir dozimetre materyali olduğu göstermiştir. Birkaç uygulama, çevre ve uzay dozimetresinden rastgele dozimetriye ve yüksek doz radyasyonları gama ışınları olanakları elektron hızlandırıcıları, nükleer güç fabrikaları, radyoterapi, medikal fizik ve benzerleri (2×10^{-6} - 2×10^3)Gy lineer geniş bir oranda olabildiklerinden dolayı dozimetrede de kullanımlarının mümkün olabileceğini göstermişlerdir [16].

Necmettin Yazıcı ve ark. yaptıkları başka bir çalışmada, ek doz (AD), $\text{T}_m (E_a)\text{-T}_{\text{stop}}$, tekrarlanan başlangıç yükselme (RIR), Pik Şekil (PS) ve bilgisayarlaştırarak parıldama eğrilerinin çözülmesi (CGCD) metotlarını $D=0.015\text{Gy}$ ve $D=110\text{Gy}$ doz seviyeleri arasında β radyasyonundan sonra $\text{CaF}_2: \text{Mn}'$ nin termoluminesans (TL) dozimetrik parıldama piklerinin analizi için kullanmışlardır. PS, $E_a\text{-T}_{\text{stop}}$ ve CGCD metotları parıldama eğrisinin tek bir pik olmadığını göstermiştir fakat bir veya daha fazla parıldama eğrisinin üst üste gelmiş olduğunu belirtmişlerdir. CGCD ve $E_a\text{-T}_{\text{stop}}$ metotları bu materyalin $\text{P}_1\text{-P}_5$ olarak verilen en az beş parıldama pikinin üst üste gelecek oluşan bir dozimetrik pik olduğunu göstermiştir. Deneyde değişen dozlar tümünün birinci derece kinetik olduğunu göstermiştir. Aktivasyon enerjisi $\text{T}_m\text{-T}_{\text{stop}}$ deneyinde durdurulan sıcaklık artırılarak dozimetrik parıldama pikinden sıcaklıkla ayrılabilen pikler temizlendikten sonra IR ve PS metotlarıyla çok yakın değerler bulmuşlardır. Diğer bir değişle $\text{T}_m\text{-T}_{\text{stop}}$ deneyini uygulamadan önce tüm uygulanan metotlar sonuçları arasında bir uyumluluk olmadığını bulmuşlardır. $(E_a)\text{-T}_{\text{stop}}$ grafiği termal sönümlemeden etkilenmiştir. Bu parametreler dozimetrik pikin değerlendirilen kinetik parametrelerin belli bir etkisine sahiptir. $\text{CaF}_2:\text{Mn}'$ nin dozimetrik parıldama pikinin duyarlılığı üzerinde ısıtma oranının etkisi CGCD tekniği kullanılarak pik yükseklik ve pik bölge metotları tarafından çalışılmıştır.

Sürekli bir şekilde ısıtma oranının artmasıyla parıldama pikinin toplam bölgesi ve pik şiddetinin azaldığı gözlenmiştir. Başka bir dozimetrik karakteristiği de bu pikin doz duyarlılığı pik yüksekliği ve bölge metotları tarafından incelenmiştir [17].

G. Kitis ve V. Pagonis bu çalışmada bir termolüminesans (TL) parıldama pikinde E aktivasyon enerjisini hesaplamak için iyi bilinen pik şekli ifadelerini tekrar değerlendirilerek sunmuşlardır. Orijinal denklemlerde kullanılan katsayıları anlamak yeni kavramlara yol açmıştır. Tekrar değerlendirme orijinal denklemlerde kullanılan deneysel bir şekilde belirlenen geometrik şekil faktörü yerine genel derece parametresi b 'yi kapsayan pik şekli ifadelerinin katsayıları yeni denklemlere sebep olmuştur. Daha önceleri sadece birinci ve ikinci derece kinetikler için var olan teorinin temelleri belirlenmiş ve arada kalan kinetik derece değerleri için katsayı lineer bir iç değer ve dış değer bulma metodu kullanılarak deneysel bir şekilde bulunmuştur. Bu çalışmada sunulan önemli pik şekli katsayıları, TL şiddeti için genel derece kinetik ifadeleri kullanılarak kinetik derece b 'nin bir fonksiyonu olarak analitik bir şekilde değerlendirilmiştir. E 'nin değerlendirilmesi için yeni türetilen ifadelerdeki temel hata ve deneysel çalışma ile ilgili detaylı bir değerlendirme yapılmıştır. Pik şekli metodunun hassasiyetini daha çok geliştirmek için yeni bir metot önerilmiştir [18].

M. S. Rasheedy ve A. I. Abd-Elmageed bu çalışmada iki ısıtma oranı metodu genellikle Booth-Bohum olarak bilinen birinci derece termolüminesans (TL) parıldama piklerinin aktivasyon enerjisi E (eV) elde etmek için bu metodu kullanmışlar. Ancak bu metodun kinetik dereceler dikkate alınmaksızın TL parıldama piklerinin tüm çeşitleri için aktivasyon enerjisini elde etmek için kullanılabilceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları Booth-Bohum metodu ile elde edilen E aktivasyon enerjisi kullanıldığında, genel derece parıldama piki durumunda exponansiyel faktör s^0 (s^{-1}) elde etmek için birinci derece kinetiklerin maksimum şiddetinin kullanılabilceğini göstermiştir. Aynı zamanda bu çalışmada, genel derece parıldama pikinin (b) kinetik derecesini elde etmek için, nümerik bir metot önerilmiştir. Bu metot, s^0 elde etmek için önerilen metot ve Booth- Bohum tarafından elde edilen E aktivasyon enerjisine bağlıdır. Önerilen metottan bağımsız bir değerlendirmede bir tuzak ve bir birleşme merkezi (OTOR) modeli uygulanarak nümerik bir şekilde bilgisayarlaştırılmış parıldama pikleri yer alarak açıklanmıştır [19].

I. A. Weinstein ve ark. yaptıkları bu çalışmada TLD-500 detektörünün 2.4eV, 3.0eV ve 3.8eV yayılım bantlarında 450K'de temel dozimetrik pikte termolüminesans çalışmışlardır. Termolüminesans (TL) eğrileri, genel derece kinetik denklemleri tarafından yaklaşık olarak $D = (10^{-5} - 1) \text{Gy}$ dozlarda elde edilmiştir. Aktivasyon enerjisi ve frekans faktörü etkisi arasındaki bağıntı denkliği tüm bantlarda gözlenmiştir. Özellikle lüminesans dozimetride olası uygulamalar dikkate alınmıştır. Sonuçta TLD-500 dozimetrik kristalde TL sürecinin kinetikler üzerindeki etkisi gösterilmiştir [20].

M. Gökçe ve ark. bu çalışmada son zamanlarda üretilen Mg_2SiO_4 ana parıldama eğrisinin TL şiddeti, yüksekliği, bütünleşmesi ve parıldama pik sıcaklığının termolüminesans (TL) kinetikleri üzerinde farklı ısıtma oranlarının etkisini rapor etmişlerdir. Fosforun TL özellikleri oda sıcaklığında β radyasyonundan sonra incelenmiştir. Parıldama eğri şekli, pik şekli, başlangıç yükselme ve çeşitli ısıtma oran metotları 473K'de ana parıldama pikinin TL kinetik analizi için kullanılmıştır. Sonuçlar $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Tb}$ fosforunun TL parıldama pikinin ikinci derecen kinetiğe uyduğunu göstermiştir. Bahsedilen metotlar kullanılarak ana dozimetrik pikin analizi aktivasyon enerjisi yaklaşık 1eV ve frekans faktörü $(10^{10} - 10^{11})\text{s}^{-1}$ oranlarında bulunmuştur. Isıtma oranıyla parıldama pikinin sıcaklığının da arttığını gözlemlemişlerdir. Isıtma oranında iki maksimum parıldama piki gösterenler araştırılmıştır. TL şiddeti ve maksimum parıldama pik sıcaklığı ısıtma oranına bağlı olduğu gösterilmiştir [21].

A. Mandowski ve ark. bu çalışmada termolüminesans (TL) ölçümlerinde radyoaktivite birleşmelerinin çeşitli sıcaklıklarda yer alacağını belirtmişlerdir. Lüminesansın kuantum verimliliği sıcaklık artmasıyla azalacağını ve bu mekanizmaya termal sönümleme olarak bilindiğini belirtmişlerdir. TL data sönümlemeden yenilemek için basit bir metot olmadığını göstermişlerdir. Bu çalışmada sönümleme fonksiyonunu ve TL eğrisi sönümlemeden yenilenmesini hesaplamak için Monte-Carlo metoduna dayanan bir logaritma sunmuşlardır. Burada çeşitli ısıtma oranlarıyla aynı başlangıç koşullarında ölçülen TL parıldama eğrilerinin bir serisini kullanmayı amaçlamışlardır. Metodun çok genel olduğunu ve özellikle TL kinetik modellerin varsayımlarına ihtiyaç olmadığını belirtmişlerdir. Metodun güvenilirliği basit tuzak model (STM) kinetiklerine uyarak bilgisayarlaştırılan genel TL parıldama eğrileri kullanılarak test edilmiştir [22].

BÖLÜM III

TEORİ

3.1 Giriş

Bu bölümde, lüminesans, analiz metotları ve ametist kristali hakkında genel bilgiler verilecektir.

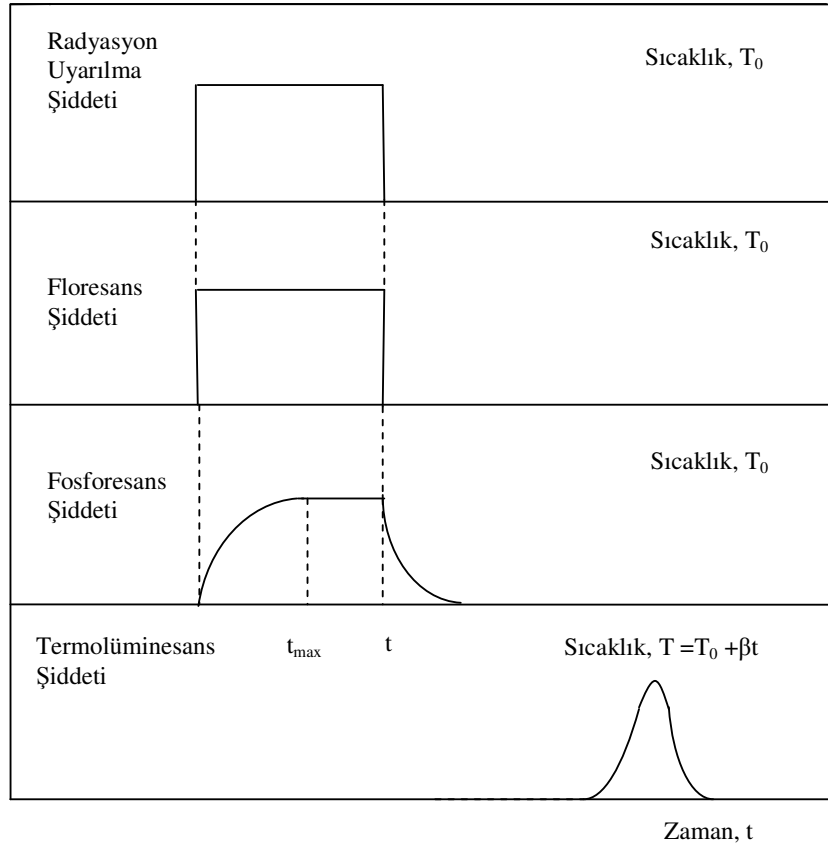
3.2 Lüminesans

Elektron veya ışın demeti malzemenin üzerine geldiğinde, bir kısım enerjisini malzeme tarafından soğurulabilir ve bu soğurulan enerji ışık olarak geri yayılır ise işlem lüminesans olarak adlandırılır. Yayılan ışığın dalga boyu lüminesans materyalinin karakteristiğidir, radyasyon göstergesi değildir. Genellikle lüminesans olaylarının çoğu görünür ışık yayılımı ile ilgilidir fakat diğer dalga boylarından kızılötesi (IR) ve ultraviyole (UV) ışık yayımları da olabilir. Çeşitli lüminesans olayları, ışık yayılımını uyarmak için kullanılan radyasyon türünü yansıtır. Çizelge 3.1 lüminesans olaylarının ve uyarılma metotlarının çeşitlerinden bazıları listelenmiştir.

Çizelge 3.1 Lüminesans olaylarının ve uyarılma metotlarının çeşitleri

Lüminesans Olayı	Uyarılma Metotları
Termolüminesans	İyonize radyasyon, mor ötesi ve görünür ışık
Fotolüminesans	Optiksel fotonlar (mor ötesi, görünür ve kızılötesi ışık)
Radyolüminesans	İyonize radyasyon
Katodolüminesans	Katot ışınları
Elektrolüminesans	Elektrik alan
Biyolüminesans	Biyokimyasal reaksiyon enerjisi
Kemilüminesans	Kimyasal reaksiyon enerjisi
Tribolüminesans	Sürtünme
Piezolüminesans	Basınç (10 ton m ⁻²)
Sonolüminesans	Ses dalgaları
Floresans	İyonize radyasyon, mor ötesi ve görünür ışık
Fosforesans	İyonize radyasyon, mor ötesi ve görünür ışık

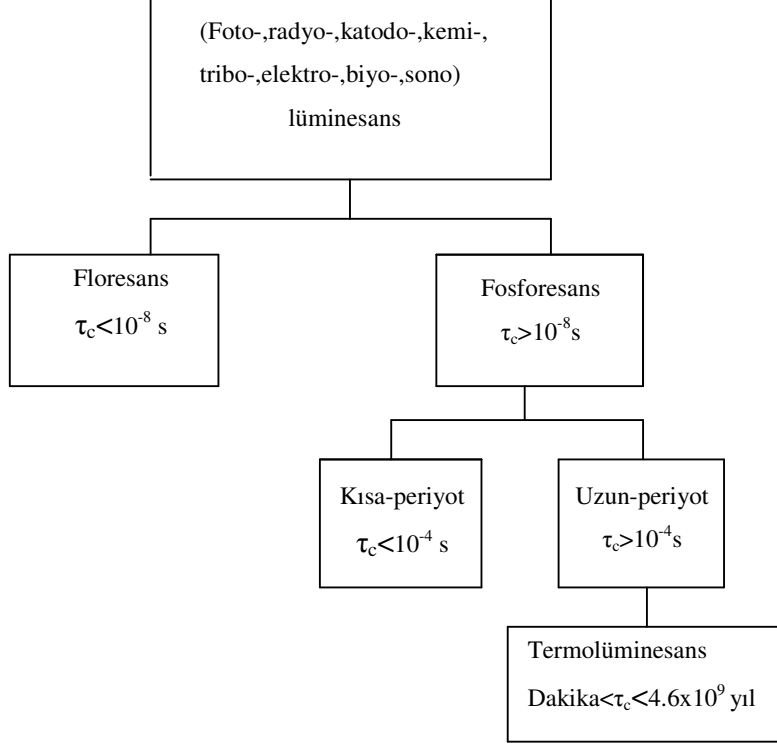
Işığın yayılımı, radyasyon soğurulma sonrası bir karakteristik zaman τ_c yer alır. Bu parametreler lüminesans sürecinin sınıflandırılmasına izin verir. Böylece $\tau_c < 10^{-8}$ saniye ise floresans ve $\tau_c > 10^{-8}$ saniye ise fosforesans olarak adlandırılır (Garlick, 1949; Cruie, 1960). Şekil 3.1’de gösterilen T_0 radyasyon sürecindeki sıcaklık, β ısıtma oranı ve t_r fosforesans başladığında radyasyon sonu ve gecikme arasında geçen zamandır.



Şekil 3.1 Floresans, fosforesans ve termolüminesans radyasyon soğurması ve yayılımı arasındaki ilişki

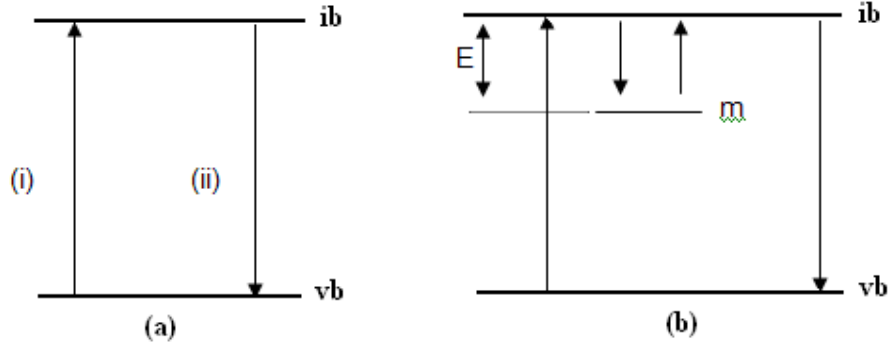
$\tau_c < 10^{-8}$ saniye değeri floresans yayılımının doğal bir süreci için tanımlama sağlar. Floresans yayılımı, radyasyon durumlarının hemen durdurulduğunu ve radyasyon soğurulması ile aynı zamanda yer aldığını gösterir. Fosforesans, maximum şiddete ulaşmak için t_{max} zamanı ve radyasyon soğurması arasındaki bir gecikme tarafından karakterize edilir. Bu fosferans uyarılma sonrası bazı zamanlar için süreklilik sağlayabilir. τ_c gecikme zamanı 1 saniyedir. Fosforesans olarak ışık yayılımı basit bir şekilde sınıflandırılır.

Ancak çok daha kısa bir zamandaki gecikmeler için floresans ve fosforesansı ayırmak daha zordur. Fosforesans ($\tau_c < 10^{-4}$ s) kısa periyot ve ($\tau_c > 10^{-4}$ s) uzun periyot fosforesansı olarak iki temel kısma ayrılır (Garlick-Wilkins, 1945; Randall-Wilkins, 1945; Cruie, 1960).



Şekil 3.2 Lüminesans olayının soyağacı

Uyarılma ve yayılma arasındaki gecikmeyi (τ_c) ve floresans ve fosferansı ayırmak için uyarılma çeşidine göre lüminesans teriminin önüne ek getirilir. Floresans ve fosforesans ayırt etmek, lüminesans gecikme sıcaklığının etkisine bağlı olarak yapılır. Floresans sıcaklıktan bağımsızdır fakat fosforesans gecikmesi güçlü bir sıcaklık bağımlılığı gösterir.



Şekil 3.3 a) Floresans oluşumunu gösteren enerji geçişi b) Fosforesans oluşumunu gösteren enerji geçişleri

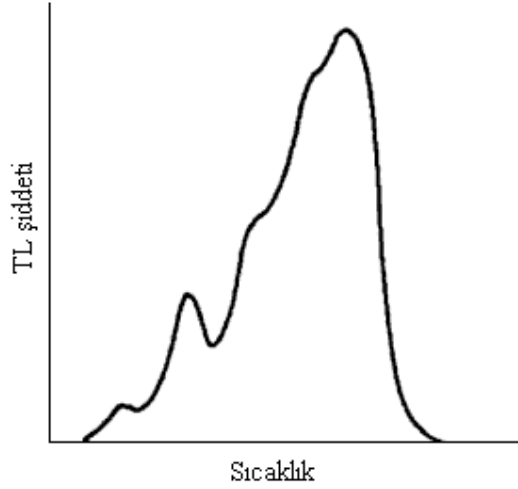
Genelde lüminesans yayılımı bir taban durumdan bir uyarılma durumuna kadar elektronların uyarılarak katı radyasyonundan elektronlara enerji geçişi ile açıklanır (Şekilde 3.3 (a)'da i geçişi). Bir lüminesans fotonunun yayılımı, uyarılan elektron taban durumuna döndüğünde yer alır (Şekil 3.3 (a) ii geçiş). Floresans için, (i) ve (ii) arasındaki geçiş gecikmesi 10^{-8} saniyeden daha azdır ve bu süreç sıcaklıktan bağımsızdır. Fosforesansın sıcaklığa bağlı ilk ifadesi Chen, Kirsh (1981) ve Jablonski (1935) tarafından verildi. Burada (Şekil 3.3 (b)) enerji seviyeleri diyagramı ib seviyesi ve vb seviyesi arasındaki yasak enerji bant aralığındaki bir yarı kararlı seviyenin varlığından dolayı değiştirildi. Uyarılan bir elektron vb seviyesi ve ib seviyesi arasında bulunan bir m tuzağında tuzaklanmış olabilir. Elektronun ib seviyesine geri dönebilmesi için yeterli E enerjisinin verilmesi gerekiyor. Gerekli E enerjisi verilene kadar elektron tuzakta kalacaktır. Işık yayılımından sonra vb seviyesine normal bir geçişle gelebilir. Gecikme, m elektron tuzağında elektronun harcadığı zamana bağlı olarak fosforesans olarak gözlemlenir.

$$\tau_c = s^{-1} \exp(E/kT) \quad (3.1)$$

Burada s sabit, E m seviyesi ile ib seviyesi arasındaki enerji farkı (tuzak derinliği) ve k Boltzman sabitidir. Fosforesans süreci exponansiyel bir şekilde sıcaklığa bağlıdır. Fosforesansın bu basit şekli, birkaç fosforun lüminesans özelliklerinin kullanılması ile katıların enerji bant teorisine dayanır (Johnson, 1939).

3.3 Termolüminesans

Termolüminesans, (TL) bir yalıtkan veya yarı iletkenin ışınlamalar sırasında soğurduğu enerjiyi malzeme ısıtıldığında ışık yayımlanması olarak tanımlanır. TL işlemi süresince sıcaklığının fonksiyonu olarak malzemedan yayımlanan ışığın miktarının grafiği ‘TL parıldama eğrisi ‘ olarak bilinir.



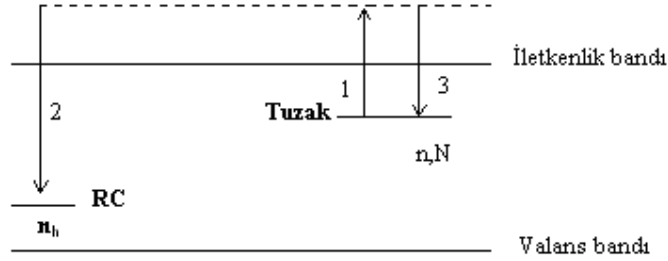
Şekil 3.4 TL parıldama eğrisi

Bir termolüminesans deneyi boyunca, farklı durumlar altında, birkaç parıldama eğrisinden bir grafik elde edilir. Örneğin, TL parıldama eğrilerinin bir serisi, birkaç farklı dozda yayımlanan veya çeşitli sıcaklıklarda deney öncesi ısıtılan bir materyal için elde edilebilir. Genellikle TL parıldama eğrilerinin analiz ve ölçümlerinin temel başarısı, materyal için TL işleminin tanımlanmasında kullanılan, birkaç parametrenin açıklanmasıdır. Bu parametreler TL tuzakları için aktivasyon enerjisi E (tuzak derinliği olarak da adlandırılır), frekans faktörü s , TL sürecinin kinetik derecesi b , tuzak ve yeniden birleşme merkezinin yakalama tesir kesiti ve bu tuzak ve merkezlerin konsantrasyonu N sayılabilir.

3.3.1 Basit Termolüminesans modeli

Malzeme ısıtıldığında ışık yayılım sürecinde oluşan en basit olası model iki seviye arasında yer alır. İzole edilmiş bir elektron tuzağı (T) ve bir birleşme merkezi (RC), Şekil 3.5’ de gösterilmiştir. Bu genel olarak bir tuzak bir birleşme merkez modeli olarak tanımlanır (OTOR).

Burada, N kristaldeki tuzakların toplam konsantrasyonu (m^{-3}), $n(t)$ kristaldeki dolu tuzakların konsantrasyonu (m^{-3}), t zaman, ve $n_h(t)$ birleşme merkezindeki boşluk tuzaklarının konsantrasyonudur (m^{-3}). Dolu tuzakların başlangıç konsantrasyonu $t = 0$ anında n_0 olarak gösterilir.



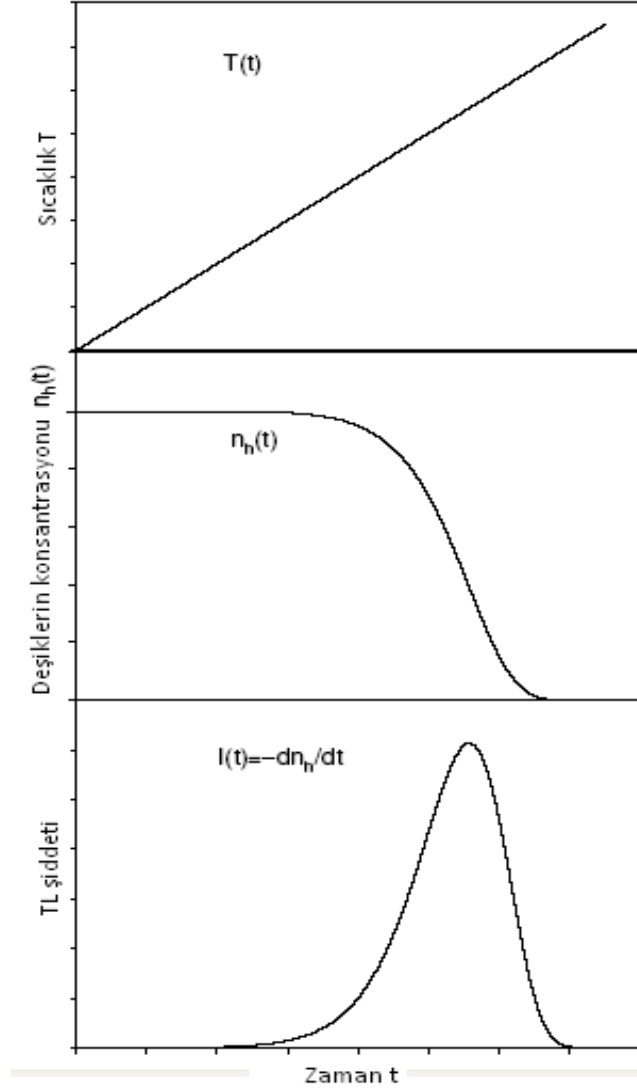
Şekil 3.5 Termolüminesans işlemi için iki basamaklı basit model

Herhangi bir termolüminesans deneyinde malzeme oda sıcaklığından 500°C civarındaki bir yüksek sıcaklığa kadar lineer bir ısıtma oranı $\beta = dT/dt$ ile ısıtılır. Malzeme sıcaklığı artırıldığında, tuzaklanan elektronlar, termal olarak iletkenlik bandına doğru salınır. Bu ifade Şekil 3.5 ‘de 1. geçiş olarak gösterilmektedir. Bu iletkenlik bandındaki elektronlar ya birleşme merkezindeki hollerle birleşebilirler (Şekil 3.5 de 2. geçiş olarak gösterilmektedir), ya da elektron tuzaklarına doğru yeniden tuzaklanabilir (Şekil 3.5’de 3. geçiş olarak gösterilmektedir).

Yayılan ışığın şiddeti, birleşme merkezindeki elektron ve hollerin birleşme oranına eşittir. Bu ifade aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$I(t) = - \frac{dn_h}{dt} \quad (3.2)$$

Şekil 3.6'da ki diyagramlarda, numune sıcaklığındaki artma T , aynı anda ışığın yayılım şiddeti $I(t)$, ve hol tuzaklarının konsantrasyonundaki azalma n_h zamana bağlı olarak gösterilmektedir. Deney süresince lineer ısıtma oranı β kullanılır.



Şekil 3.6 t zamanının bir fonksiyonu olarak RC birleşme merkezinde sıcaklık görüntüsü $T(t)$, boşluk tuzaklarının konsantrasyonu $n_h(t)$ ve termolüminesans şiddeti $I(t)$

3.3.2 Birinci, ikinci ve genel derece TL kinetikleri için ifadeler

Termoluminesans sürecinde üretilen denklemler Randall-Wilkins [23], Garlick-Gibson [24], ve May-Partridge [25] tarafından verildi. Sırasıyla birinci, ikinci ve genel derece denklemleri;

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = nse^{-E/kT} \quad (3.3)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^2}{N}se^{-E/kT} \quad (3.4)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = n^b s' e^{-E/kT} \quad (3.5)$$

E= Aktivasyon enerjisi veya tuzak derinliği (eV)

k= Boltzman sabiti (eV K⁻¹)

t= Zaman (s)

T= Absorblanma sıcaklığı (K)

DeneySEL ölçümlerde malzeme ısıtılmasında lineer ısıtma oranı β kullanılır. Çeşitli sıcaklıklarda $T = T_0 + \beta t$ olarak sonuçlanır. Burada;

β = lineer ısıtma oranı (K s⁻¹)

T₀ = t = 0K anındaki sıcaklık

s = Elektron tuzağını karakterize eden sabit, 'üstel frekans faktörü' veya 'kaçma olasılığı frekansı (s⁻¹) olarak adlandırılır. Bu sabit, örgü fononları ve elektronların çarpışma frekansı ile orantılıdır. s' nin tipik maksimum değeri örgü titreşim frekansının değerlerine karşılık gelir, yani 10¹² – 10¹⁴ s⁻¹

N= toplam tuzak konsantrasyonu (m⁻³)

n= t anında tuzaklanmış elektronların konsantrasyonu (m⁻³)

b= kinetik derece, 1 ile 2 arasında değişen bir parametre

s'= genel derece kinetikleri için etkin üstel faktör olarak adlandırılır (m^{3(b-1)}s⁻¹).

(3.3) - (3.5) denklemleri β lineer ısıtma oranı varsayılarak bütünleştirilirse aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$I(T) = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[-\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right] \quad (3.6)$$

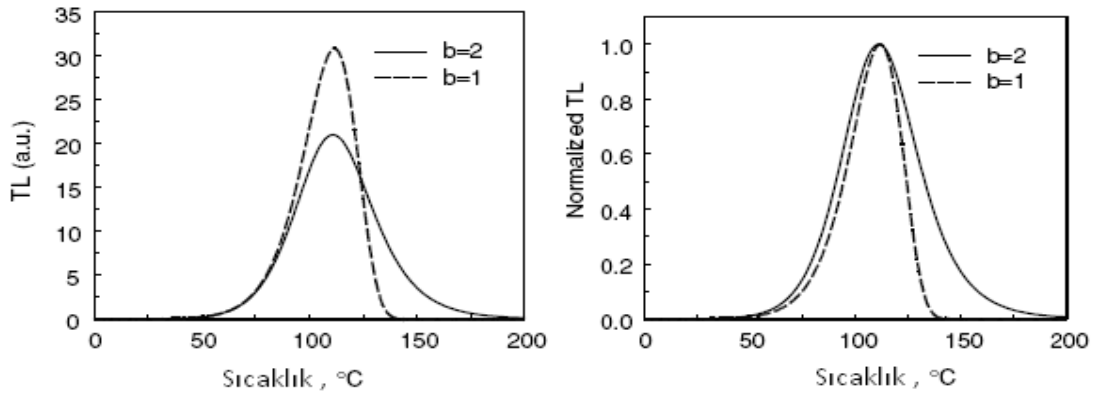
$$I(T) = n_0^2 \frac{s}{N} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \frac{n_0 s}{\beta N} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right]^{-2} \quad (3.7)$$

$$I(T) = s'' n_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \frac{s''(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right]^{-\frac{b}{b-1}} \quad (3.8)$$

(3.6) – (3.8) denklemlerine ek parametreler olarak;

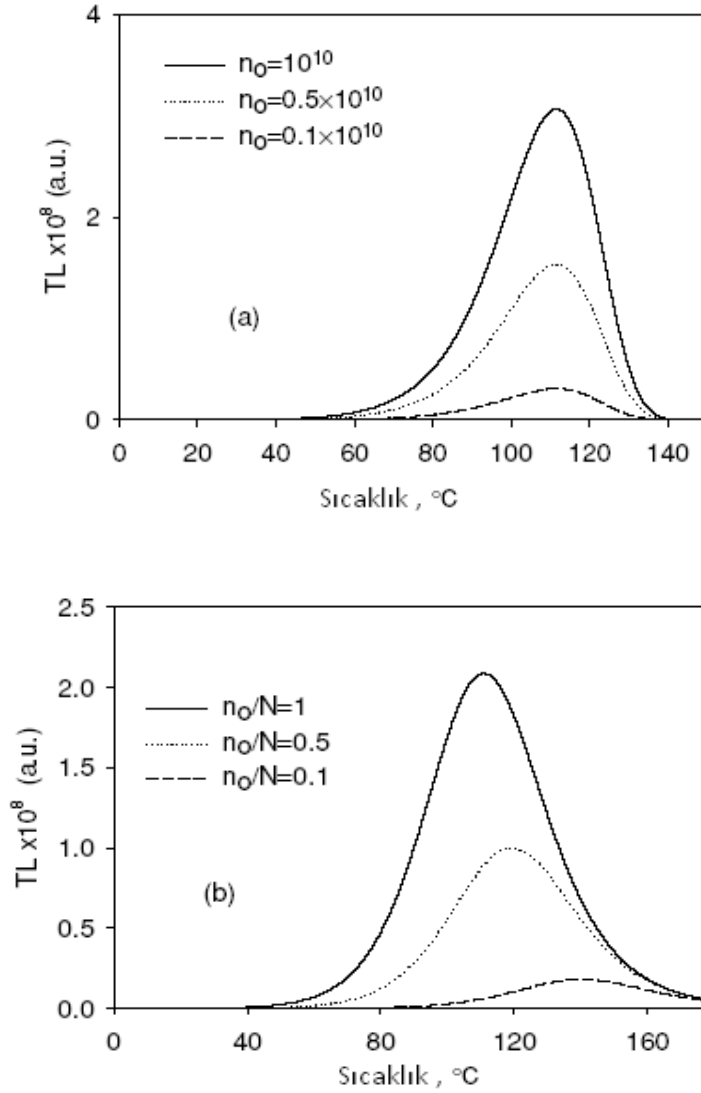
n_0 = tuzaklanmış elektronların $t = 0$ anındaki sayısı (m^{-3})

s'' = genel derece kinetikleri için etkin üstel faktör olarak davranan deneysel bir parametredir (s^{-1}). (3.3) ve (3.4) denklemleri için basitleştirilmiş belli varsayımlar kullanılarak basit termoluminesans modelinden oluşabilmesine rağmen, genel derece kinetik denklemi (3.5) tamamıyla deneyseldir ve gerçek fizik modelleriyle ilişkili olmayacaktır. Şekil 3.7’de birinci ve ikinci derece kinetikleri için TL parıldama eğrilerinin karşılaştırılması gösteriliyor. Işığın yayılımı ikinci derece kinetik durumunda, tuzaktaki elektronların tekrar tuzaklanmasıyla geciktirilir. Bu gecikme çoğunlukla TL parıldama eğrilerinin aşağı olan kısmı boyunca gösterilir. Şekil 3.7’de $E = 1eV$ $s = 10^{12}s^{-1}$, $n_0 = N = 10^3 m^{-3}$ parametreleri kullanıldı.



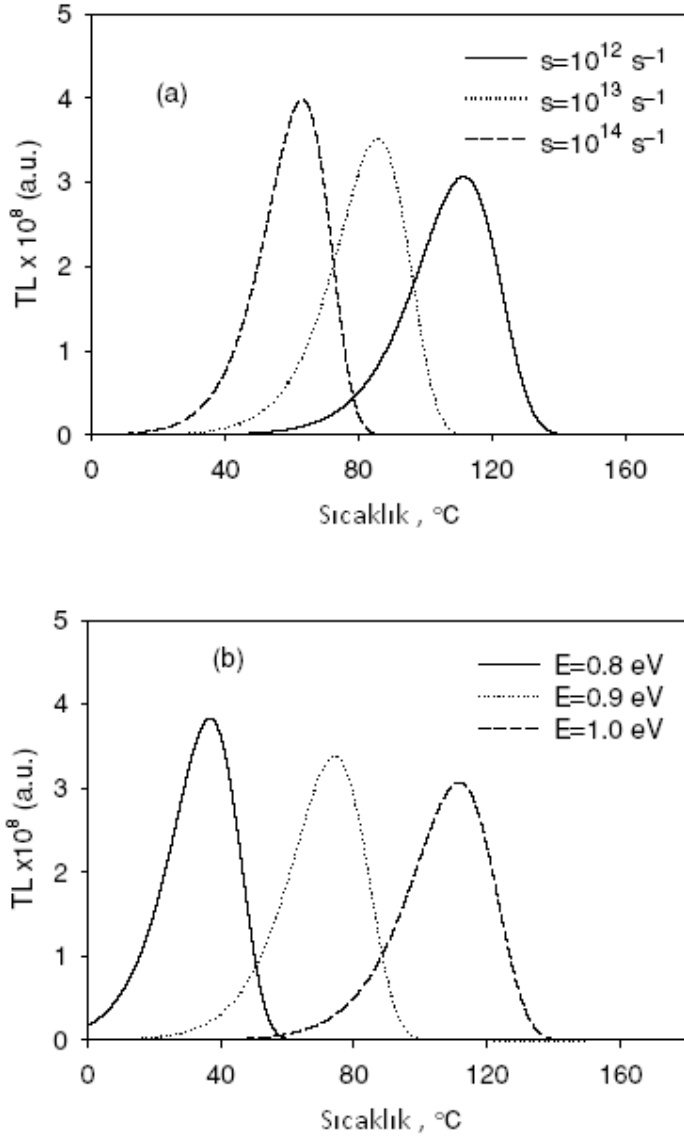
Şekil 3.7 Birinci ve ikinci derece kinetikler için TL parıldama eğrilerinin şematik karşılaştırılması

Şekil 3.8’de birinci ve ikinci dereceden birkaç TL parıldama eğrileri, elektron tuzaklarının farklı n_0 başlangıç konsantrasyonları için (3.6) ve (3.7) denklemleri kullanılarak hesaplandı. Birinci derece kinetikler için gösterilen TL parıldama eğrileri maksimum TL şiddetinin T_M sıcaklığı, başlangıç konsantrasyonu n_0 ‘a bağlı değildir. İkinci derece TL parıldama eğrisi için T_M , yüksek sıcaklık yönünde değiştirilirse n_0 azalır. Şekil 3.8’te $E = 1 \text{ eV}$, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $N = 10^{10} \text{ m}^{-3}$, a) $n_0 = (1, 0.5, 0.1) \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$, b) $n_0/N = 1, 0.5, 0.1$ parametreleri kullanıldı.



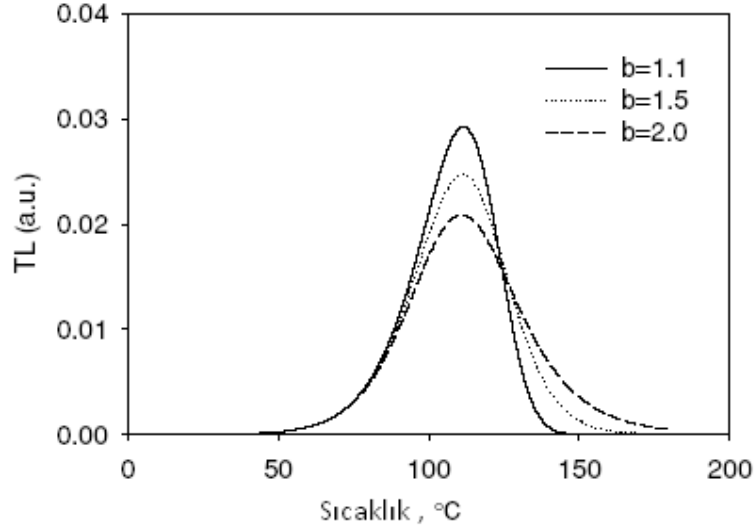
Şekil 3.8 Farklı başlangıç konsantrasyonları için (3.6) ve (3.7) denklemleri kullanılarak hesaplanan birinci ve ikinci derece TL parıldama eğrileri

Şekil 3.9'da birinci derecen birkaç TL parıldama eğrisi a) farklı frekans faktörü s için b) farklı aktivasyon enerjisi E için (3.6) denklemi kullanılarak hesaplandı. Aktivasyon enerjisi artarken veya frekans faktörü azalırken, TL parıldama eğrisi yüksek sıcaklıklara doğru kaymaktadır.



Şekil 3.9 a) Farklı frekans faktörü s ve $E = 1.0$ eV için b) farklı aktivasyon enerjisi E ve $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$ için (3.6) denklemi kullanılarak hesaplanan birinci derece TL parıldama eğrileri

Şekil 3.10'da genel derece TL parıldama eğrileri $b = 1.1 - 2.0$ kinetik derecenin farklı değerleri için (3.8) denklemi kullanılarak hesaplandı. Parametreler $E = 1 \text{ eV}$, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $\beta = 1 \text{ K s}^{-1}$ ve $n_0 = N = 1$ değerleri kullanıldı.



Şekil 3.10 Kinetik derece b parametresinin farklı değerleri için (3.7) denklemi kullanılarak hesaplanan genel derece TL parıldama eğrileri

Verilen denklemlerde bir parıldama eğrisinin maksimumu, (3.6)-(3.8) ifadelerinin türevi alınarak, sifıra eşitlenir. Oluşan denklemler aşağıda gösterilmektedir;

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad \text{birinci derece} \quad (3.9)$$

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \left[1 + \left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad \text{ikinci derece} \quad (3.10)$$

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \left[1 + (b-1) \left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad \text{genel derece} \quad (3.11)$$

Burada T_M , maksimum TL şiddeti I_M için uygun olan sıcaklıktır.

Fakat, (3.6)-(3.8) denklemlerinde görülen integraller temel fonksiyonlara göre hesaplanamaz, ancak nümerik integral metotları kullanılarak değerlendirilmelidir. TL piklerinin analizi en çok üç parametreyle oluşabilir. Bireysel TL pikleri, E aktivasyon enerjisi, s frekans faktörü ve b kinetiklerin derecesi gibi kinetik TL parametrelerini belirlemek için, birkaç teknik kullanılarak analiz edilebilir. Buna ek olarak, TL parılda egrilerinin eğim noktasından faydalanılabilir. Bu eğim noktası sıfıra eşit verinin ikinci türevi alınarak hesaplanabilir.

3.4 Analiz Metotları

3.4.1 Başlangıç yükselme metodu

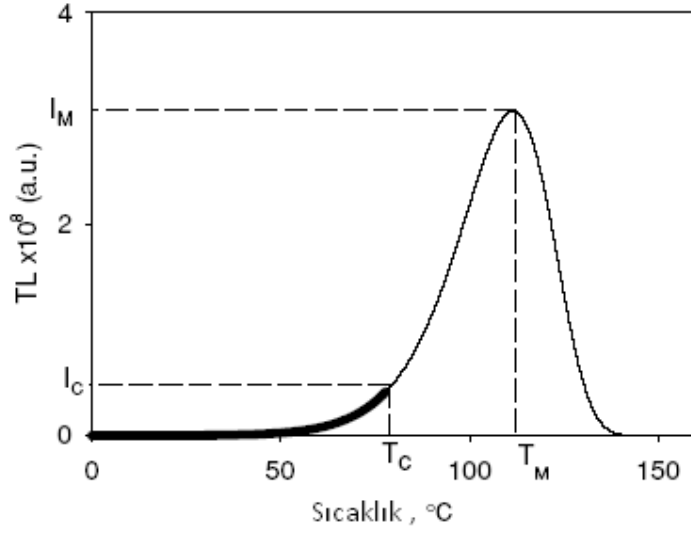
Kinetiklerin herhangi bir derecesine uygulanan deneysel metotlar, bir pikin düşük sıcaklık aralık analizine dayanırlar. Başlangıç yükselme metot analizi ilk olarak Garlick ve Gibson tarafından önerildi.

Bir TL parılda pikinin düşük sıcaklık bölgesinde tuzaklanan elektronların miktarı, T sıcaklığı üzerinde $n(T)$ 'nin bağımlılığı, bu sıcaklık bölgesinde ihmal edildiğinden, yaklaşık olarak sabit varsayılabilir. Sıcaklık artırıldığında (3.6) denklemindeki ilk exponansiyel ifade artarken ikinci ifadenin değeri bir birime yakın olur. Maksimum TL şiddetinden yaklaşık olarak %15 daha küçük bir TL şiddeti, I_C 'ye bağlı olan bir T_C sıcaklığına ulaşınca kadar, bu ifade doğru kalır. Sıcaklıkta daha fazla artış yapılırsa ($T > T_C$) (3.6) denklemindeki ikinci ifade azalır. (3.6) denklemindeki bu iki ifade karşılaştırıldığında TL parılda eğrisi pik şeklini alarak sonuçlanır. $n(T)$ 'nin sabit varsayımı kullanılarak, termoluminesans yayılımı aşağıdaki bağıntı ile tanımlanabilir.

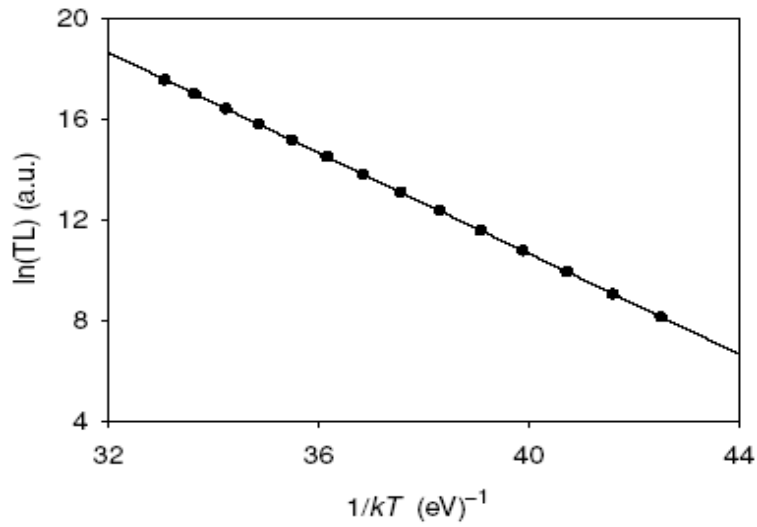
$$I(T) \propto \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (3.12)$$

Şekil 3.11'de tek bir TL parılda pikinin başlangıç yükselme kısmını gösterir. Başlangıç yükselme metodu uygulandığında $\ln(I)$ 'ya karşı $1/kT$ grafiği çizilir ve bu verilerden bir doğru çizgisi elde edilir. Çizginin eğiminden, s frekans faktörü ile ilgili herhangi bir bilgi olmaksızın aktivasyon enerjisi E değeri elde edilir. Başlangıç yükselme metodunu gösteren bir örnek, Şekil 3.12'de verilir.

Bir başka alternatif metotta ise Ilich [26] tarafından önerilen, Şekil 3.12’de gösterilen grafiksel metottur. İzole edilmiş TL parıldama piki üzerinde bir I_C noktası kullanılır. $N = (T_C, I_C)$ noktalarındaki tanjant alınarak, eğim hesaplanır.



Şekil 3.11 Bir termoluminesans parıldama eğrisinin başlangıç yükselme kısmı



Şekil 3.12 Şekil 3.7 nin başlangıç yükselme kısmı için başlangıç yükselme tekniği uygulaması

Bu varsayımlara dayanarak $I(T)$ aşağıdaki şekilde verilir.

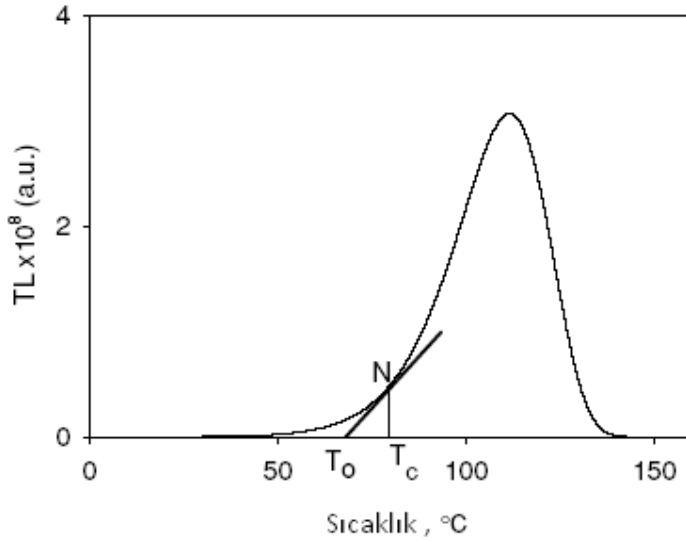
$$I(T) = c \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (3.13)$$

Bu ifadenin türevi aşağıdaki denkleme eşittir.

$$\frac{dI}{dT} = c \frac{E}{kT^2} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) = I \frac{E}{kT^2} \quad (3.14)$$

Şekil 3.13'de N noktasındaki eğimi elde etmek için (3.14) denkleminde T yerine T_c yerleştirilerek bulunur.

$$\left. \frac{dI}{dT} \right|_{T=T_c} = I_c \frac{E}{kT_c^2} \quad (3.15)$$



Şekil 3.13 Ilich tarafından önerilen grafiksel metot

Grafikte x eksenini kesen $M(T_0, 0)$ noktasını bulmak için tanjant çizgisinin bir denklemini kullanılır.

$$I - I_c = \frac{I_c E}{k T_c^2} (T - T_c)$$

$$I = 0 \quad (3.16)$$

Bu denklemin çözülmesiyle E' nin değeri aşağıdaki ifade ile verilir.

$$E = k \frac{T_C^2}{T_C - T_0} \quad (3.17)$$

(T_C, I_C) noktalarının çoğu, istatistiksel olarak bu metodun daha güvenli sonuç verebilmesi için seçilir.

Aramu et al [27] başlangıç yükselme metodunu uyguladı. Burada frekans faktörü s, T sıcaklığına bağlıdır. Buna göre TL şiddeti aşağıdaki şekilde verilir.

$$I \propto T^\alpha \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (3.18)$$

Burada α sabittir. Bu denklemden aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\frac{d \ln(I)}{dT} = \frac{\alpha}{T} + \frac{E}{kT^2} \quad (3.19)$$

Bu denklem, genel durumda elde edilen denklem ile karşılaştırılabilir. Burada frekans faktörü s, T sıcaklığından bağımsızdır.

$$\frac{d \ln(I)}{dT} = \frac{E_{IR}}{kT^2} \quad (3.20)$$

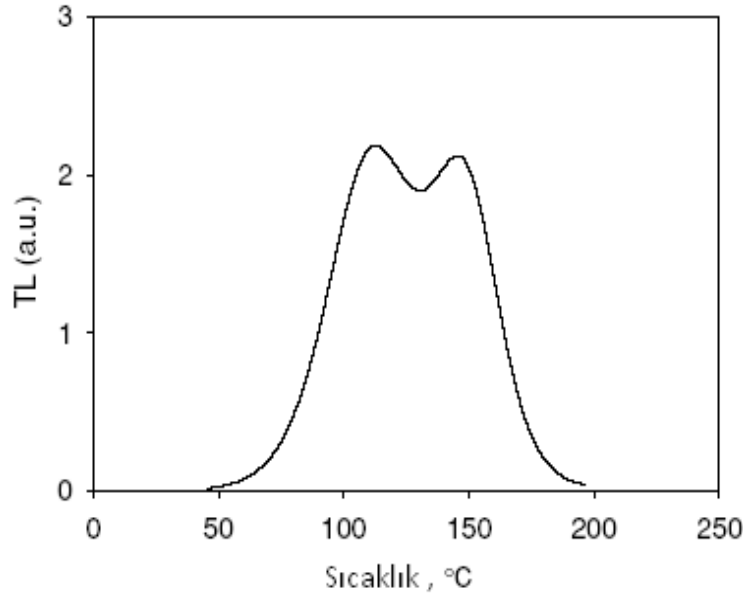
Burada E_{IR} başlangıç yükselme metodu kullanılarak elde edilen aktivasyon enerjisidir. (3.19) ve (3.20) denklemleri karşılaştırıldığında E gerçek aktivasyon enerjisi elde edilir.

$$E = E_{IR} - \alpha kT \quad (3.21)$$

(3.21) denklemi birkaç yüzdeyle E' nin doğru değerini sağlar. Bu durum için frekans faktörü s, T sıcaklığına bağlıdır. Şu da belirtmeli ki, TL parıldama piki tekrar çözümlenirse, birbirine yakın eğrilerin üst üste binen piklerin varlığından dolayı verimsiz olmaktadır ve başlangıç yükselme metodu bu piklere uygulanmamaktadır.

Şekil 3.14'de da iki farklı parıldama piki mevcuttur, ikinci pik, birinci pikin maksimum noktasından azalmaya başladığı kısım üzerinde yükseldiği gösteren bir durumdur. Şekil 3.14'de gösterilen bu durumda, başlangıç yükselme metodu uygulanmadan önce, birleşik TL parıldama piklerini bileşik halden, parçalara ayırmak gerekmektedir. Birleşik TL parıldama piklerine, başlangıç yükselme metodu uygulamak için birkaç metot önerildi.

İlk metot bir termal temizleme tekniğini kapsar [28]. Numune ilk TL pikinin maksimum noktasının biraz ötesine ısıtılır, daha sonra herhangi bir sıcaklık değerine kadar soğutulur. Burada lüminesans ihmal edilir ve daha sonra bitişik pikin maksimum noktasının biraz ötesine kadar tekrar ısıtılır ve tekrar soğutulur. Bu yöntem, tüm pikler için tekrarlanır. Bu metot, her pik için temiz başlangıç yükselme eğrileri üretir. Bu uygulama TL pikinin termal temizleme işleminin tamamlanmasını sağlayamaz, bu yüzden E değerleri çok doğru olmayabilir.



Şekil 3.14 Başlangıç yükselme metodunun başarısız olduğu üst üste binen TL parıldama pikleri örneği

Termal temizleme tekniği ve başlangıç yükselme metot analizleri birçok ısıtma ve soğutma döngüleri kullanılarak daha sistematik durumlarda uygulanabilir. Her zaman T_{stop} sıcaklığının biraz daha yüksek değerindeki $I(t)$ grafiklerinin bir serisi, başlangıç yükselme metodu kullanılarak analiz edilir. Bu süreç tarafından E aktivasyon enerjisi grafiklenerek, T_{stop} 'un bir fonksiyonu olarak yazılır. Grafiğin tipinden genellikle bir 'merdiven' şekli elde edilir ve ' $E-T_{stop}$ grafik ' ile gösterilir. Bu metot, TL pikleri sıcaklıkla yeterince ayrıştığında en iyi şekilde uygulanabilir.

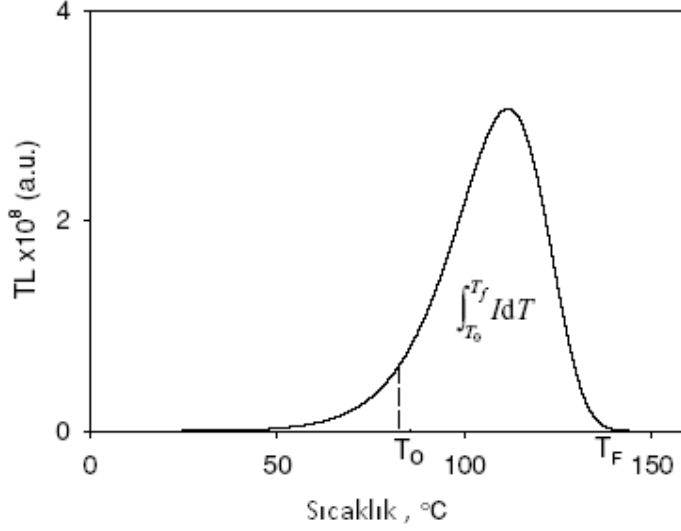
Bir alternatif metot Mc Keever [29] tarafından tanıtıldı. Radyasyona tabi tutulan bir numune, birinci pikin düşük sıcaklık bölgesi üzerindeki noktaya bağlı T_{stop} sıcaklığına kadar lineer oranda ısıtılır. Numune daha sonra soğutulur, tekrar ısıtılarak tüm parıldama pikleri elde edilir. Burada maksimum TL şiddetinin sıcaklığı T_M dikkate alınır. Bu yöntemde her zaman T_{stop} ' un biraz daha yüksek değeri kullanılarak (T_{stop} sıcaklığı 2^0C den 5^0C 'ye artırılır) aynı radyasyon numunesi veya farklı radyasyon numunesi için numune birkaç kez tekrar ısıtılır. T_M ' ye karşı çizilen T_{stop} grafiğinde basamak şeklinde bir eğri elde edilir. Bu eğrinin yatay çizgisi farklı aktivasyon enerjisi E'ye karşılık gelir.

Bu metot tek veya üst üste binen birinci ve ikinci derecen pikler için uygulanır. Bu durumda düzgün bir basamak şekli elde edilir. TL pik yapısında birbirine yakın üst üste binen pikler olduğunda hem birinci hem de ikinci derecedeki durumlar için bu piklerin eğimleri düzgündür ve yaklaşık olarak değeri 1 bulunur. Metot kompleks parıldama eğrilerinin içindeki bireysel piklerin sayısının ve pozisyonlarının hesaplanmasına izin verir. Tuzaklanan parametreler parıldama eğrilerine, programlanmış en iyi eğri uydurma (best fit-simülasyon) yöntemi uygulanarak hesaplanabilir.

Fractional glow (FG) olarak bilinen metot daha hassastır. Aynı zamanda deneysel olarak çok talep edilen bir tekniktir. Bu metot Gobrecht ve Hofmann [30] tarafından tanıtıldı. Bu yöntemde (FG) ısıtma ve soğutma küçük sıcaklık aralıklarında yapılır. Aktivasyon enerjisi E, $\ln(I)$ 'ya karşı $1/kT$ grafiğinden her ısıtma ve soğutma döngüsü için hesaplanır.

3.4.2 Bütün TL parıldama eğrilerinde kullanılan analiz metotları

Bu metotlar ‘bölge metotları’ veya ‘bütün parıldama pik’ analiz metotları olarak bilinirler ve bir parıldama piki altındaki integral ölçümlerine dayanırlar. Bu metotlar iyi izole edilmiş ve temiz bir pik mevcut olduğunda uygulanabilirler.



Şekil 3.15 Bütün parıldama pikinde n(T) alanının hesaplanması-alan ölçüm metodu

Şekil 3.15’de gösterildiği gibi, belirli sıcaklık bölgesinde TL şiddetinin n(T) integral değeri, başlangıç yükselme bölgesinde verilen T_0 sıcaklığından parıldama pikinin sonundaki T_f final sıcaklığına kadar parıldama eğrisinin altında kalan bölge tarafından hesaplanabilir.

$$n = \int_{t_0}^{t_f} I dt = \frac{1}{\beta} \int_{T_0}^{T_f} I dT \quad (3.22)$$

Birinci derece kinetikler varsayılarak ve Randall Wilkins [23] bağlantıları, (3.3) denkleminde yerine konulursa;

$$\ln \left[\frac{I}{\int_{T_0}^{T_f} I dT} \right] = \ln \frac{s}{\beta} - \frac{E}{kT} \quad (3.23)$$

Bu denklem birinci derece kinetik durumunda $\ln(I/n(T))$ karşı çizilen $1/kT$ grafiği $(-E)$ eğimini veren lineer bir fonksiyondur. Bu lineer fonksiyon y eksenini $\ln(s/\beta)$ noktasında keser.

May ve Partridge [25] ve Muntoni et al [31] genel derece kinetik durumları içinde aynı metodu önerdiler. Bu durumu aşağıdaki denklemle ifade ettiler.

$$\ln\left(\frac{I}{n^b}\right) = \ln\frac{s'}{\beta} - \frac{E}{kT'} \quad (3.24)$$

Burada $\ln(I/n^b)$ 'ye karşı $1/kT$ 'nin grafiği çizilir.

Kinetik derece b bilinirse, sıcaklığın geniş bir serisi elde edilebilir. Burada ki eğim bir doğru çizgisidir. Kinetik derece bilinmediğinde, b ' nin çeşitli değerleriyle birkaç çizgi çizilir ve en iyi doğru çizgisi seçilerek işlem yapılır.

3.4.3 Analizlerin pik pozisyon metotları

Bu metotlar iki geniş kategori altında incelenir. Metotların hesaplanması maksimum TL şiddetinin T_M sıcaklık bölgesine dayanır ve bu metotlarda TL parıldama pikinin ölçümü sırasında çeşitli ısıtma oranları (β) kullanılır.

3.4.3.1 Maksimum sıcaklığa dayanan analiz metotları

Randall ve Wilkins [23] birinci dereceden denklemi çözmediler, TL parıldama pikinin maksimum sıcaklığını dikkate aldılar fakat sıcaklığın biraz daha aşağısına karşılık gelen değeri kullandılar. Burada bir elektronun tuzaktan kaçma olasılığını bir birim olarak aldılar. Randall ve Wilkins $s = 2.9 \times 10^9 s^{-1}$ değerini kullanılarak, E için çok basit ifadeler buldular.

$$E = 25kT_M \quad (3.25)$$

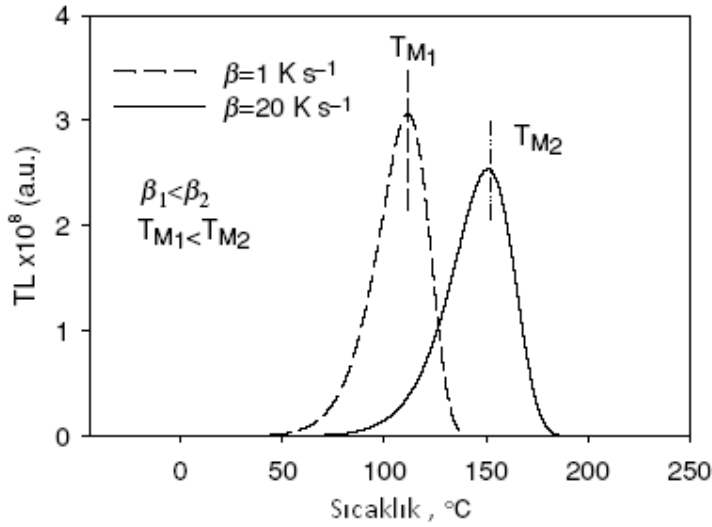
Urbach [32] $s = 10^9 s^{-1}$ değerini kullanarak benzer bir bağıntı verdi.

$$E = \frac{T_M}{500} = 23kT_M \quad (3.26)$$

(3.25) ve (3.26) denklemlerindeki nümerik faktörler s değerine bağlıdır. Böylece, bu denklemlerde E' nin değeri sadece yaklaşık bir değerdir. Bu denklemler E değerlerinin sadece ilk yaklaşıklığı olarak kullanılabilir.

3.4.3.2 Çeşitli ısıtma oranlarına dayanan analiz metotları

Lineer ısıtma oranı β değiştiğinde, pikin maksimum TL şiddetinin T_M sıcaklığı da değişir. Isıtma oranı daha da artırıldığında T_M 'nin değeri daha yüksek sıcaklıklara doğru bir kayma yapar. Bu etki Şekil 3.16'de açık bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.16 Isıtma oranıyla, maksimum şiddetin T_M sıcaklığındaki değişimi

Bohum [33], Porfianovitch [34] ve Booth [35] birinci derece bir pik ve iki farklı ısıtma oranına dayanan, E 'nin hesaplanması için bir metot önerdiler.

(3.9) denklemindeki maksimum koşullar dikkate alınarak ve iki farklı ısıtma oranı kullanılarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$E = k \frac{T_{M_1} T_{M_2}}{T_{M_1} - T_{M_2}} \ln \left[\frac{\beta_1}{\beta_2} \left(\frac{T_{M_2}}{T_{M_1}} \right)^2 \right] \quad (3.27)$$

Bu formüle göre T_M sıcaklığı 1 °C hassasiyetle ölçülebilirse, %5 ' lik bir hassasiyetle E' nin değerini verir.

Biraz daha farklı metotta, Hoogenstraaten [36] birinci derece denklemlerden başlayarak, aşağıda verilen lineer bağıntıları elde etmek için birkaç ısıtma oranının kullanılmasını önerir.

$$\ln\left(\frac{T_M^2}{\beta}\right) = \frac{E}{kT_M} + \ln\left(\frac{E}{sk}\right) \quad (3.28)$$

$\ln(T_M^2/\beta)$ karşı çizilen $1/kT_M$ sonuç grafiği E eğimli bir doğru çizgisi vermelidir. Bu eğimin y eksenini kestiği nokta $\ln(E/sk)$ 'dır.

Chen ve Winer [37] I(T)' nin genel derece ifadelerinde görünen integral için bir yaklaşıklık kullanılarak bir metot önerdiler. Bu metoda göre aşağıda gösterilen denklemi buldular.

$$\ln\left[I_M^{b-1}\left(\frac{T_M^2}{\beta}\right)^b\right] = \frac{E}{kT_M} + c \quad (3.29)$$

Burada c = sabittir. Bu denklem yoluyla b'nin farklı değerleri için eşitliğin solundaki nicelikleri değerlendirmek mümkündür. Bu nicelikler, $1/kT_M$ 'nin bir fonksiyonu olarak grafiklerin bir serisi elde edilir. b'nin değerleri en iyi yaklaşıklık lineer grafiği için bulunur. Grafik bir doğru çizgisi olarak karşımıza çıkar ve bu doğru çizgisinin eğimi E'dir. Bu metot genel ısıtma oranları için geçerlidir ve burada ısıtma oranı β 'nin bir sabit olmasını gerektirmez.

İkinci derece kinetik durumu için; aşağıdaki denklem verilir.

$$\ln\left[I_M\left(\frac{T_M^2}{\beta}\right)^2\right] = \frac{E}{kT_M} + c \quad (3.30)$$

Bu metot sadece b'nin birden biraz daha farklı değerleri için kullanılır. Çünkü b = 1 için maksimum TL şiddetinin T_M sıcaklığı, tuzaklanan elektronların başlangıç konsantrasyonları n_0 'dan bağımsızdır.

Chen ve Winer [37] integral yaklaşıklığını ve maksimum yayılım koşullarını kullanarak aşağıda gösterilen denklemleri elde ettiler.

$$\left(\frac{\beta}{T_M^2}\right) \cong \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right)\left(\frac{ks}{E}\right)[1 + (b-1)\Delta_M] \quad (3.31)$$

Burada $\Delta_M = 2kT_M/E$ 'dir. $[1 + (b - 1)\Delta_M]$ niceliği bir birime yakındır ve bir sabit olarak dikkate alınabilir. $\ln(\beta/T_M^2)$ 'ye karşılık çizilen $1/kT_M$ grafiğinin eğimi bir doğru çizgisi verir ve bu çizginin eğimi $(-E)$ 'dir.

Başka bir farklı metot ise Gartia et al [38] tarafından iki farklı ısıtma oranı kullanılarak önerildi. Booth metoduna benzeyen bu metot, birinci dereceden bir pik için tamamıyla geçerlidir. Aynı zamanda birinci derecen bir TL piki olmasa da uygulanır. Bu metot β ısıtma oranıyla I_M 'nin değişimine dayanır ve T_M ile β 'nın kullanılmasından daha kolaydır. Genel derece ifadeleri kullanılarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$E = \frac{kT_{M_1}T_{M_2}}{T_{M_1}-T_{M_2}} \ln \frac{I_{M_1}}{I_{M_2}} \quad (3.32)$$

(3.32) denklemi kullanıldığında E aktivasyon enerjisindeki maksimum sistematik hata, kinetiklerin herhangi bir derecesi için %1'den daha azdır ($1.1 \leq b \leq 2.5$).

Chen ve Winer [37] gösterdiler ki exponansiyel faktör s, sıcaklığa bağlı olduğu durumda ($s \propto T^\infty$), $\ln(T_M^2/\beta)$ 'ya karşı çizilen $1/kT_M$ grafiği bir doğru çizgisini verir ve bu doğru çizgisinin eğimi, gerçek aktivasyon enerjisi E'nin yerine $E + \alpha kT_M$ alınır.

Şu da vurgulanmalıdır ki çeşitli ısıtma oran metot analizleri uygulandığı sırada, numune ve TL sistemindeki ısıtma elementleri arasında iyi termal temasa sahip olmaları gerekmektedir.

3.4.3.3 İzotermal bozunma metodu

Bir izotermal bozunma deneyinde genel olarak şu deneysel yöntem uygulanır. Radyasyon sonrası numune belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Numune bu sıcaklıkta belli bir zaman aralığında tutulur. Işık yayılımı (aynı zamanda fosforesans bozunma olarak tanımlanır) zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür ve böylece tuzaklanan elektronların bozunma oranlarını değerlendirmek mümkün olur. Sabit sıcaklıklarda TL şiddetinin zamana karşı çizilen grafiğine izotermal bozunma eğrisi denir.

İzotermal bozunma analizinin metodu Garlick ve Gibson [24] tarafından birinci derece kinetikler için gösterilir. TL pikleri için gösterilen birinci derece kinetikler, T_i sıcaklığında, izotermal bozunma eğrisi, zamanın bir fonksiyonu olarak exponansiyel bir grafik gösterir. Bu ifade aşağıdaki formülle verilir.

$$I = I_0 \exp\left(-s \exp\left(-\frac{E}{kT_i}\right) t\right) \quad (3.33)$$

Bu denklem $\ln(I)$ 'ya karşı çizilen t zaman grafiğinin birinci derece kinetik pikler için lineer olacağını gösterir.

$$\text{eğim} = m_i = -s \exp\left(-\frac{E}{kT_i}\right) \quad (3.34)$$

Bu denklemin doğal logaritması alınarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\ln(|\text{eğim}|) = \ln s - \frac{E}{kT_i} \quad (3.35)$$

$\ln(|\text{eğim}|)$ ' e karşı çizilen $1/kT$ grafiğinden bir doğru çizgisi elde edilir ve bu doğru çizgisinin eğimi $-E$ 'dir ve y eksenini kestiği nokta $\ln s$ olur.

Deney T_1 ve T_2 gibi iki farklı sabit sıcaklıkla yürütülürse, m_1 ve m_2 gibi iki farklı eğim elde edilir ve (3.35) denkleminde (3.36) denklemi oluşur.

$$\ln\left(\frac{m_1}{m_2}\right) = \frac{E}{k} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \quad (3.36)$$

Bu denklem E 'nin hesaplanması için kullanılabilir.

Genel derece kinetikler için izotermal bozunma analiz uygulamaları [25] ve [39] tarafından önerildi. Bu durumda izotermal analizi kullanılarak b kinetik derecesini bulmak mümkündür. t zamanına göre (3.5) genel derece denkleminin integrali alınarak ve sıcaklık sabit tutularak (3.37)' da verilen denklem elde edilir.

$$I_t = I_0 \left[1 + s' n_0^{b-1} (b-1) t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)\right]^{\frac{b}{1-b}} \quad (3.37)$$

$$I_0 = s' n_0^b \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (3.38)$$

I_0 ve n_0 sırasıyla L pik şiddetinin başlangıcı ve tuzaklanan yüklerin başlangıç konsantrasyonudur. I_t , t zamanındaki TL pik şiddetidir. (3.37) denklemini yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\left(\frac{I_t}{I_0}\right)^{\frac{1-b}{b}} = \left[1 + s' n_0^{b-1} (b-1)t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)\right] \quad (3.39)$$

Bu denklem $(I_t/I_0)^{\frac{1-b}{b}}$ 'ye karşı çizilen zaman grafiği, b'nin uygun değeri bulunduğunda bir doğru çizgisi olması gerektiğini gösterir.

$$m = s' n_0^{b-1} (b-1) \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (3.40)$$

Farklı izotermal bozunma sıcaklıkları kullanılarak, eğimin doğru çizgilerinin bir serisi elde edilir ve $\ln(m)$ 'ye karşı çizilen $1/kT$ grafiğinden aktivasyon enerjisi E, belirlenebilir.

Alternatif bir şekilde, May ve Partridge [25] ifadeleri kullanılarak, b değerleri belirlenebilir.

$$\ln\left(\frac{dI}{dt}\right) = \ln c + \frac{2b-1}{b} \ln(I) \quad (3.41)$$

$\ln(dI/dt)$ 'ye karşı çizilen $\ln(I)$ grafiği bir doğru çizgisi verir, bu doğru çizgisi $m = (2b - 1/b)$ eğimine eşittir. Buradan b değeri hesaplanabilir.

3.4.3.4 Parıldama pikinin şekline dayanan analiz metotları

E, s ve b kinetik parametrelerini anlamak için bir TL parıldama eğri analizinin popüler bir metodunda pikin şekil veya geometrik özellikleri dikkate alınır. Birinci derece pikler asimetrik olmasına rağmen, ikinci derece kinetiklere bağlı TL parıldama pikleri, yaklaşık bir simetri şekli tarafından karakterize edilir. Şekil 3.17'de gösterilen parametreler aşağıdaki şekilde tanımlanır.

T_M maksimumdaki pik sıcaklığı

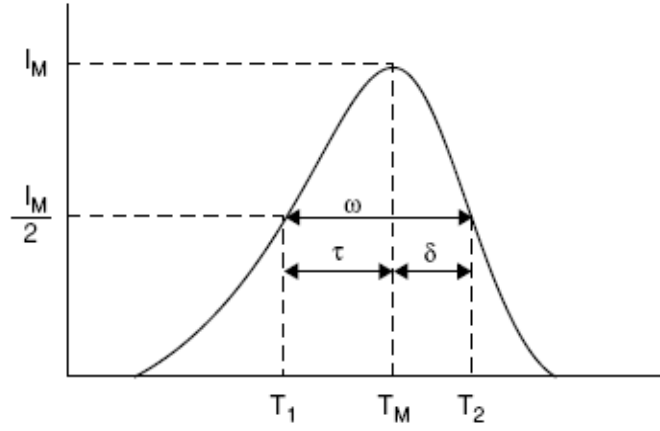
T_1 ve T_2 sırasıyla T_M 'nin yarı şiddetinde her iki yanındaki sıcaklıklar

$\tau = T_M - T_1$ pikin düşük sıcaklık kısmındaki yarı genişlik

$\delta = T_2 - T_M$ parıldama pikinin artan sıcaklık kısmındaki yarı genişlik

$w = T_2 - T_1$ toplam yarı genişlik

$\mu = \delta/w$ geometrik şekil ya da simetri faktörü olarak isimlendirilir.



Şekil 3.17 Geometrik şekil büyüklükleri τ , δ , ω

E tuzak derinliğini hesaplamak için parıldama pikinin şeklini ilk kullanan Grossweinerdir [40]. Bu metot maksimum şiddetin T_M sıcaklığına ve yarı şiddetin düşük sıcaklık bölgesindeki T_1 değerlerine bağlıdır. Birinci derece kinetikler varsayılarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$E = 1.51k \frac{T_M T_1}{T_M - T_1} \quad (3.42)$$

Bu ifadede E'nin hesaplanmasında daha iyi hassasiyet elde etmek için Chen [41] tarafından deneysel bir şekilde (3.42) denkleminde verilen sabit sayı Grossweiner [40] tarafından (3.52) denkleminde 1.52 olarak değiştirildi.

Lushchik aynı zamanda hem birinci hem de ikinci derece kinetikler için TL parıldama pikinin şekline dayanan bir metot önerdi[42]. Burada δ parametresi tanımlanır ve bir parıldama piki yaklaşık olarak bir üçgen şekli olarak düşünülebilir.

Birinci derece kinetik durum için E 'nin ifadesi;

$$E = \frac{kT_M^2}{\delta} \quad (3.43)$$

İkinci derece kinetik durum için Lushchik formülü;

$$E = \frac{2kT_M^2}{\delta} \quad (3.44)$$

E değerinin daha iyi hassasiyet verebilmesi için Chen (2.43) denklemini 0,978 ve (3.44) denklemini 0,853 çarparak, verilen iki denklemleri düzenledi [41].

Halperin ve Braner parıldama piki üzerinde hem T_1 hem de T_2 sıcaklığını kullanarak farklı bir yaklaşım verdiler [43].

Birinci derece için;

$$E = \frac{1.72}{\tau} kT_M^2 (1 - 2.58\Delta_M) \quad (3.45)$$

İkinci derece için;

$$E = \frac{2}{\tau} kT_M^2 (1 - 3\Delta_M) \quad (3.46)$$

Denklemlerini verdiler ve burada $\Delta_M = 2kT_M/E$ dir. Halperin ve Braner 'in denklemleri E'ye bağlı Δ_M 'nin varlığından dolayı E bulmak için tekrar eden bir süreç gerektirir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için, bir yeni yaklaşıklık metodu Chen tarafından önerildi ve aşağıdaki ifadeler elde edildi [41].

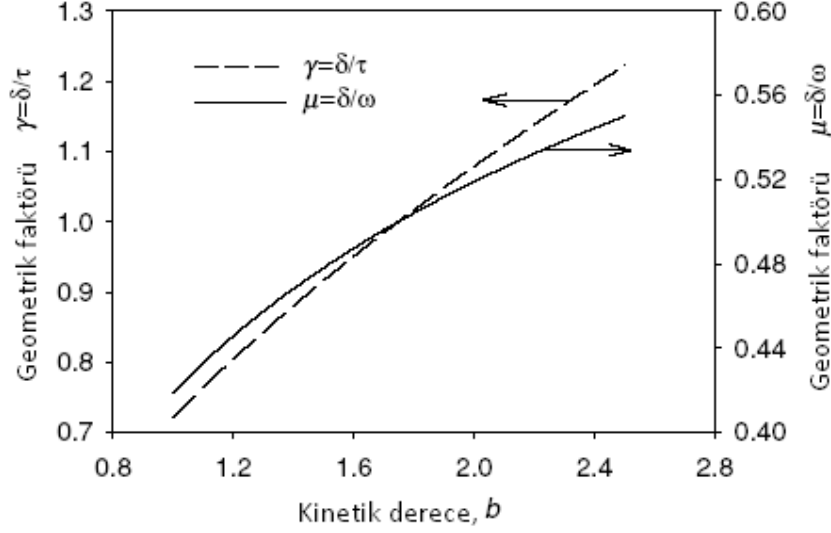
Birinci derece için;

$$E = 2kT_M \left(1.25 \frac{T_M}{\omega} - 1 \right) \quad (3.47)$$

İkinci derece için;

$$E = 2kT_M \left(1.76 \frac{T_M}{\omega} - 1 \right) \quad (3.48)$$

Chen, E 'nin hesaplanması için genel ifadeler tanımlar. Bu metoda göre $0.1 \text{ eV} - 2.0 \text{ eV}$ arasındaki geniş enerji oranı için ve $10^5 \text{ s}^{-1} - 10^{23} \text{ s}^{-1}$ arasındaki eksponansiyel faktör değeri için de kullanılır [44].



Şekil 3.18 Kinetik derece b ve geometrik faktörler $\mu = \delta/\omega$ ve $\gamma = \delta/\tau$ arasındaki bağıntı

Chen 'in kullandığı bu metot, herhangi bir tekrarlı yöntem ve kinetik derece ile ilgili bilgi vermez. Pik şekli kullanılarak, μ simetri faktörü bulunur. Bu denklem aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

$$E_{\alpha} = c_{\alpha} \left(\frac{kT_M^2}{\alpha} \right) - b_{\alpha} (2kT_M) \quad (3.49)$$

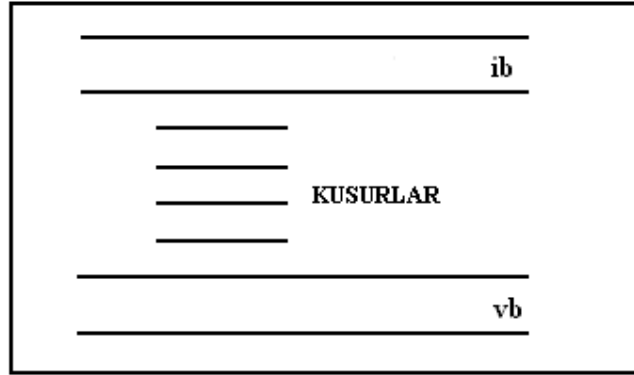
Burada α ; τ , δ veya ω 'dir. c_{α} 'nın ve b_{α} 'nın değerleri aşağıdaki gibi özetlenir.

$$\begin{aligned} c_{\tau} &= 1.510 + 3.0(\mu - 0.42) & b_{\tau} &= 1.58 + 4.2(\mu - 0.42) \\ c_{\delta} &= 0.976 + 7.3(\mu - 0.42) & b_{\delta} &= 0 \\ c_{\omega} &= 2.52 + 10.2(\mu - 0.42) & b_{\omega} &= 1 \end{aligned} \quad (3.50)$$

Birinci derece TL parıldama pikleri için $\mu = 0.42$ ve ikinci derece pikler için $\mu = 0.52$ olarak alınır. Chen şekil (3.17)'te gösterilen μ 'nün ölçümü b 'nin değerlendirilmesi için kullanılabilir. b 'nin 0.7 ve 2.5 arasındaki değerleri için 0.36 'dan 0.55'e kadar μ 'nün bir grafiği hesaplanır [44]. Bir başka grafik Balarin tarafından önerildi [45]. $\gamma = \delta/\tau$ parametrelerinin bir fonksiyonu olarak kinetik dereceler verilir ve aynı zamanda Şekil 3.18' te gösterilir.

3.5 Aktivasyon Enerjisi

eV cinsinden ifade edilen E, enerjidir. Enerji, bir kristalin iletkenlik bandı (ib) ve valans bandı (vb) arasında yasak bant boşluğu içindeki yarı kararlı durum veya yarı kararlı seviye olarak belirlenir. Bu enerji aynı zamanda tuzak derinliği olarak bilinir. Yarı kararlı seviye, iletkenlik bandına yakın bir elektron tuzağı, valans bandına yakın bir hol tuzağı veya bant boşluğunun ortasına, üstüne veya aşağısına yerleşmiş olan bir lüminesans merkezi olabilir. Yarı kararlı seviye, kristal yapısında mevcut olan kusurlardan meydana gelebilir. Bir kristal, tuzak ve lüminesans merkezlerinin birkaç çeşidini içerebilir. $E > kT$ ise tuzaklanan yükler, uzun bir periyot için tuzakta kalabilirler. Buradaki k boltzman sabitidir. Bir elektron tuzağı için aktivasyon enerjisi, tuzak seviyesinden iletkenlik bandının taban seviyesine kadar eV cinsinden ölçülür. Bir hol tuzağı için aktivasyon enerjisi, tuzağın olduğu seviyeden valans bandının üst seviyesine kadar eV cinsinden ölçülür.



Şekil 3.19 Bant boşluğunda kusur seviyeleriyle bir yalıtkanın basit bir bant yapısı

Bir iyonize radyasyonla katı bombardıman edildiğinde boş yükler yarı kararlı seviyede tuzaklanabilirler. Katı ısı ile uyarılırsa, tuzaklanan yükler, tuzaktan salınabilirler. Termal uyarılma süreci genellikle Arrhenius tarafından verilen denklemle ifade edilir. Aktivasyon enerji kavramı bir enerji bariyeri olarak görülebilir. Birinci derece kinetikler kullanılarak maksimum şartlar dikkate alınır aşağıda verilen denklem elde edilir.

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (3.51)$$

Maksimum sıcaklık (T_M) artığında, aktivasyon enerjisinin (E) artığı basit bir şekilde gözlemlenir. Aslında $E \gg kT_M$ için maksimum sıcaklık (T_M), aktivasyon enerjisi (E) ile yaklaşık olarak lineer bir şekilde artar. Açıklanan bu ifade Randall-Wilkins modeli ile aynıdır. Daha derin tuzaklarda bulunan elektronlar, tuzaklardan kurtulmak için daha fazla enerji ve daha yüksek sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyarlar.

3.6 Kristal Kusurlar

Termoluminesans dozimetresinde ilgilenilen materyaller, iletkenlik elektronları tamamıyla radyasyon enerjisini soğuran yalıtkanlardır. Bu yalıtkanlar, alkali halojenür, LiF ve NaCl gibi kübik yapılardır.

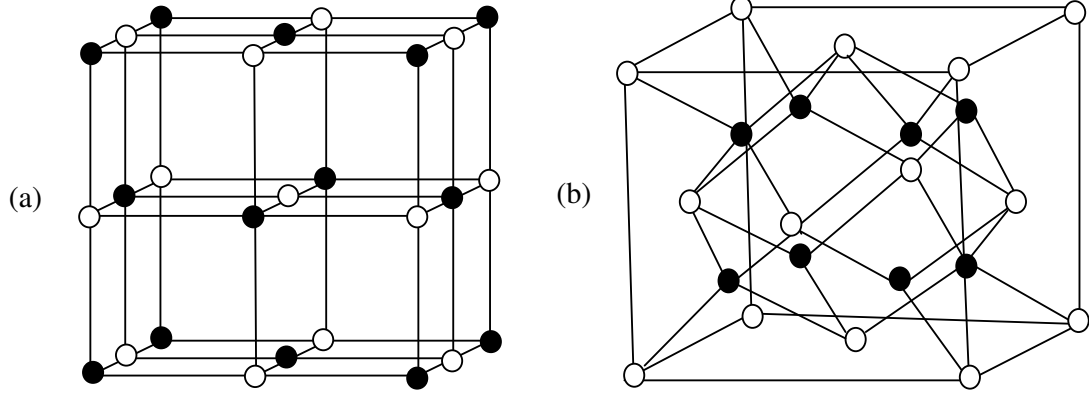
Bir kristal 3-kat periyodiklik tarafından karakterize edilen atom veya moleküllerin toplanmasıdır. Bir kristalin tam olarak tanımlanması için, bir birim hücre içindeki atomların (veya moleküllerin) pozisyonlarının bilinmesi gerekir. Kristal yapı keyfi orijin ile $\vec{a}_i (i = 1, 2, 3)$ üç bileşenli bir vektördür. Kristaldeki tüm atomlar \vec{r} 'nin tüm ötelemeleri ile birim hücre atomlarından elde edilmiş olacaktır.

$$\vec{r} = \sum_i a_i \vec{a}_i \quad (3.52)$$

Burada a_i tüm pozitif ve negatif tamsayıları temsil eder. Denklem 3.60'ta tanımlanan kristal idealdir. Termal titreşimler periyotluğu bozar ve bu denkleme uymayı imkansız hale getirir. Bu durumda kristal kusurludur. Denklem 3.52'deki limit kristalin büyüklüğü ile sınırlıdır. Serbest yüzeyler tarafından sınırlanan kristaller, kristal kusurların ilk çeşididir. Serbest yüzeyler ve olası diğer kusurları olan kristal, gerçek bir kristaldir.

Lüminesans olayının anlaşılması için özellikle halojenürler ve onların kusurları uygundur. Gerçek bir kristalin davranışı ve ışınlama sırasında ikinci yük parçacık tarafından yaratılan yük taşıyıcıları için potansiyel tuzaklar olarak davranabilen, tüm kusurları tartışmak için kullanılacaktır.

Alkali halojenür yapıları, sırasıyla alkali ve halojenür iyonlarının düzenlenmesiyle oluşur. Şekil 3.20 ideal bir kristalin yapısını gösterir.



Şekil 3.20 İdeal kristalin üç boyutlu yapısı

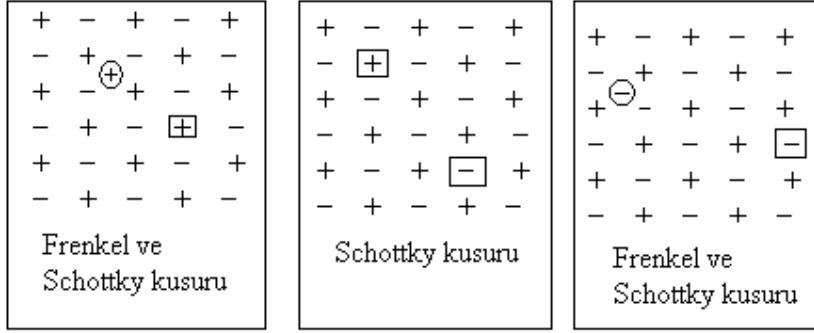
- a) LiF in yapısı (●Li ○F)
b) CaF₂ nin yapısı (●Ca ○F)

Bunun aksine gerçek bir kristal ise temelde üç çeşit kusura sahiptir.

3.6.1 İç veya doğal kusurlar

- a) Boşluk veya noksan atomlar (Schottky kusurları). Boşluk kusuru, kristalde bir atom bulunduğu yerden çıkartıldığında ve yerine başka bir atom gelmediğinde oluşan kusurdur.
- b) Arayer veya Frenkel kusuru. Bir X kristalinde bulunan X atomunun kristal içinde uygun bir yerde olmamasından kaynaklanır.
- c) Yerine geçme kusurları. Örneğin alkali bölgelerinde halit iyonlarının olması
- d) Önceki kusurların bir araya gelmesinden oluşan yapı kusurları

Şekil 3.21 'de sözü geçen kusurlar gösterilmektedir.



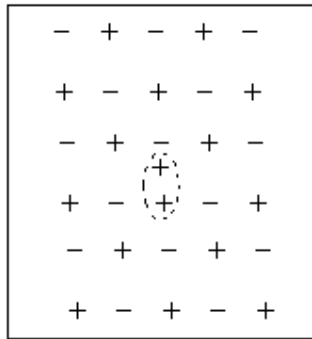
Şekil 3.21 İç kusurlu gerçek bir kristalin yapısı. Örneğin LiF + alkali iyon (Li^+),
 - halojenür iyonu (F^-), \square^+ alkali iyon boşluğu, \square^- halojenür iyon
 boşluğu, \oplus arayer alkali iyon, \ominus arayer halojenür iyon

3.6.2 Dış veya safsızlık kusurları

a) Yerine geçme safsızlığı: Bir Y atomunun bir X atomunun yerini alması

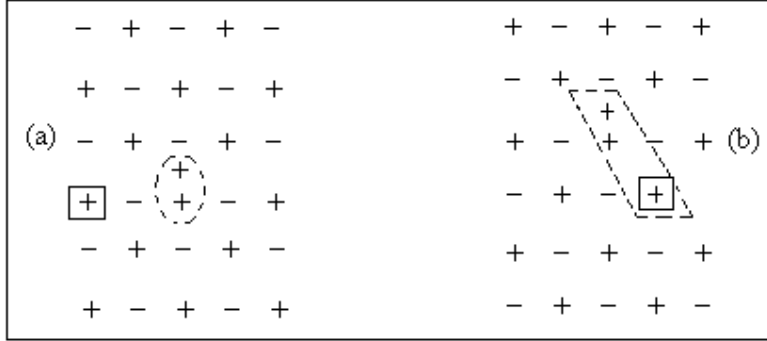
b) Arayer safsızlıkları: Bir Y atomu X kristali içinde mükemmel bir kristale ait olmayan bir arayere girmesi

Bu safsızlıklar, sonraki aşamalarda kristal yapı içinde, kristalin erimesi ve difüzyonu olayları sırasında oluşurlar. Örnek olarak şekil 3.22 LiF içindeki çift değerlikli Mg^{2+} kationunun davranışı gösterilebilir. Burada Mg^{2+} , Li^+ iyonunun yerini alır.



Şekil 3.22 Çift değerlikli Mg^{2+} kationunun yerine geçmesi

Kimyasal safsızlık mekanizmalarının anlaşılması için, şekil 3.23 a’da gösterilen boşluk konsantrasyonları üzerinde çift değerlikli bir iyonun etkisi görülebilir. Safsızlığın aşırı pozitif yüklerin yerini tutmak için (dengelemek için), bir alkali iyonu çıkartılmalıdır. Ayrıca çift değerlikli katyon safsızlığı yerel bir pozitif yük ve katyon boşluğu ise, yerel negatif bir yük olduğundan dolayı şekil 3.23 b’de görüldüğü gibi birbirlerini çekerek bir kompleks oluşturabilirler.



Şekil 3.23 (a) Alkali iyon kayıpları (b) Bir kompleks oluşturmak için iyonları çekimi

3.6.3 İyonize radyasyon alkali halojenürlerde kusurlar

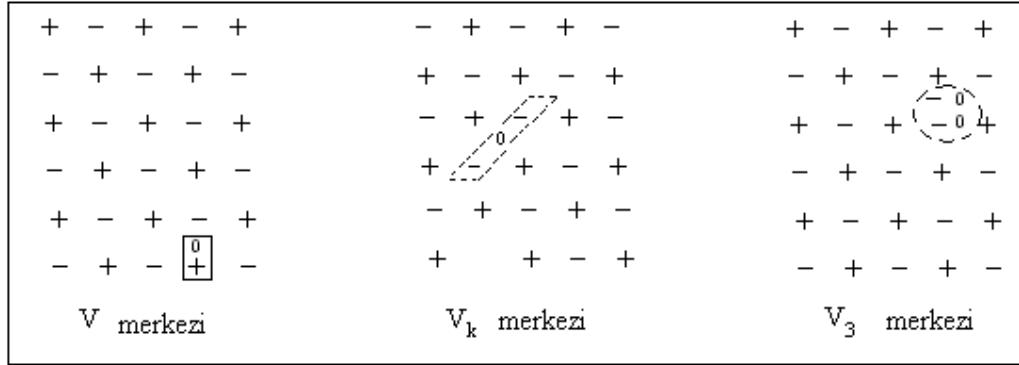
Bu kusurlar soğurma merkezleri olarak bilinen renk merkezleri iyonik kristallerdir. Örneğin negatif iyon boşluğu oluşması ve iyonları çevreleyen negatif yükler nötr olmadığı için, negatif iyon boşluğu yerine pozitif yük bölgeleri yerleşir. İyonize radyasyon nedeniyle, bir elektron kristalde serbest hale geçer ve hareket eder. Bu hareketi sırasında yerleşik pozitif tarafından bir Coulomb kuvvetiyle çekilebilir ve boşluk tarafından tuzaklanabilir. Bu sistem veya merkez, F merkezi olarak isimlendirilir.

Benzer bir şekilde, bir pozitif iyon boşluğu da bir hol tuzağını temsil eder ve bu sistem V merkezi olarak isimlendirilir. Fakat bu sistem hakkında herhangi bir deneysel veri bilinmemektedir. Hol merkezlerinin diğer çeşitleri;

$-V_k$ merkezi, bir boşluk bir çift negatif iyon tarafından tuzaklandığında bu merkez elde edilir.

$-V_3$ merkezi, bir halojen iyonunun işgal edilen bölgesinde nötr bir halojen molekülünden oluşur. Bu da iki halojenür iyonunun iki deşik ile tuzaklanmasının etkisiyle oluşur.

Kristalde radyasyon hasarıyla görünen olaylar hakkında kısa bir bilgi verilmiştir. Sözü edilen tüm bu kusurlar şekil 3.24 'de gösterilmektedir.



Şekil 3.24 Gerçek bir kristalde V, V_k, V₃ merkezleri

Bir radyasyon sırasında üretilen kusurların önemli ana hatlarının belirtilmesi gerekmektedir. Yüksek doz seviyeleri, TL materyallerinde istenmeyen etkilere yol açabilir. Genellikle soğurma etkisini ve hassasiyeti düşüren radyasyon hasarı denilen etkiden termoluminesans dozimetri sisteminin korunması önemlidir. Ayrıca, fotoluminesans gibi çeşitli lüminesans tekniklerini kullanarak renk merkezlerini çalışmak, termoluminesans ile ilgili bilgiyi geliştirilebilir.

Fotonlar, elektronlar, nötronlar, yüklü ve yüksüz parçacıklar kullanılarak yapılan radyasyon bombardımanı, örgüde atomların normal pozisyonlarını değiştirmesi, boşluk ve ara yer oluşturması gibi yer değiştirmeler ile kristalde kusurlar yaratabilir. Üretilen kusurların sayıları, radyasyon akışı ve radyasyon zamanıyla orantılıdır. Ancak üretilen kusurların sayısı uzun bir radyasyon süresince yavaş yavaş azalır çünkü boşluk-ara yer yeniden birleşmelerin olasılığı artacaktır.

Radyasyon, iyonize hasarı olarak adlandırılan bir süreç tarafından negatif iyon boşluğunda üretilebilir. Bu mekanizma iyonize elektron ve hollerin yeniden birleşmesiyle ilgilidir. Yeniden birleşme süresine bağlı elektron-hol çifti (eksiton) uyarılma sırasında bir negatif örgü iyonu üzerinde tuzaklanabilir. Yeniden birleşme süresince salınan enerji, boşluk ve ara yer atomları oluşturan çarpışmaları üreten negatif iyonla iletilir. Tüm bunlar F merkezleri ve ara yer üretimi ile sonuçlanır.

3.7 X-Işını

3.7.1 X- ışının özellikleri

X-ışınları, bir katot ışın tüpü yakınında yer aldığı anda, floresan ışığı yayan bir baryum tuzuyla kaplı ekranda gözlemlendiğinde, Wilhelm Conrad Roentgen tarafından 1895’de keşfedildi. Wilhelm Conrad Röntgen keskin radyasyonla oluşan bir oluşumun katot ışın tüpü tarafından yayılan ve bilinmeyen ışın denilen ışının X-ışını olacağı sonucunu çıkardı.

Gama ışınları, X-ışınları ve radyo dalgaları, ışık, elektromanyetik radyasyonun bir yapısıdır. Tüm elektromanyetik radyasyonlar foton denilen enerjinin kütsüz dalga hareketi ile karakterize edilir. Fotonlar ışık hızında ve elektromanyetik radyasyonun özel bir çeşidi olarak tanımlanan karakteristik bir dalga boyu ve frekansla hareket eder. Bir foton tarafından taşınan enerjinin miktarı, radyasyonun frekansıyla doğru orantılıdır, dalga boyu ile ters orantılıdır. Böylece, X-ışını kısa dalga boyu ve yüksek frekansta enerjinin büyük bir kısmına sahip olur. X-ışını iyonize radyasyonla ifade edilir. Çünkü iyonlar yaratılarak atomlardan elektronları yörüngelerden çıkartmak için yeterli enerjiyi içerir.

X-ışınları birkaç ilgi çeken özelliklere sahiptirler. X-ışınları kısa dalga boylu olduklarından dolayı, nüfuz eden materyalde görünür ışığı yansıtabilir veya soğutabilir. X-ışını gibi bir ışık fotografik film üzerine görünür bir şekil oluşturabilir. X-ışınları radyasyon terapisinde kullanıldıklarında faydalı olabilirler ve dokuda biyolojik değişimleri oluşturabilirler. Ancak, X-ışınları aynı zamanda kromozomlara hasar verebilme kabiliyetlerinden dolayı biyolojik organizmalar içinde zararlı olabilirler.

X-ışınları belirli malzemelerde daha uzun dalga boylu floresan ışık yayılımına veya radyasyon yayılımına sebep olabilirler. X-ışınlarının kullanılan bu özelliklerinden dolayı tıp, endüstri ve araştırma alanlarında geniş uygulamalarda bulunurlar. Bilim adamları Wilhelm Conrad Roentgen'nin keşfinden sonra X-ışınlarını bir teşhis cihazı olarak kullandılar. Endüstri uygulamalarda makinelerin iç kısımlarının denetimi ve birleşme bağlantıları gibi malzemelerde iç kusurların yerleşimini kapsar. Araştırmalarda X-ışının başlıca uygulamaları X-ışın difraksiyonu ve X-ışın floresans analizidir. Bu yöntemler kimyasal bileşim ve maddelerin kristal yapı analizleri için kullanılırlar.

3.7.2 X-ışının oluşumu

3.7.2.1 X-ışın spektrumu

X-ışını bir yüksek vakumda bir hedef metalle yüksek hızlı elektronlar çarpıştığında, iki farklı mekanizma tarafından oluşurlar. Sonuçta X-ışınları Bremsstrahlung olarak bilinen sürekli bir spektrumdan ve hedef malzemenin özel enerji karakteristiğiyle radyasyondan oluşur. Bremsstrahlung, yüksek hızlı bir elektron, çekirdek tarafından başlangıç alanından saptırıldığında elektron meydana gelir. Bu elektron başlangıç enerjisini kaybettiği kısımda yavaşlar. Bu kaybettiği enerji bir X-ışın fotonu ile sonuçlanır. Enerjinin sürekli korunması amacı ile oluşturur. X-ışın fotonunun enerjisi X-ışınına dönüştürülen kinetik enerji miktarına ve elektronda oluşan sapma açısına bağlıdır. Böylece, enerjinin sürekli dağılımı oluşabilir. Bremsstrahlung, tıp teşhisindeki bir X-ışını tüpünde üretilen X-ışının en etkili metodunu temsil eder.

X-ışının ikinci metodu karakteristik radyasyon etkisi teriminden oluşturulur. Bu hedef malzemenin çok özel radyasyon karakteristiğinin oluşumu ile sonuçlanır. Karakteristik radyasyon hedef malzemenin bir yörünge elektronu ile yüksek hızdaki bir elektron çarpıştığında oluşur. Yörünge elektronu, elektron kabuğunda bir boşluk yaratarak atomdan çıkartılır. Bir elektron bir yüksek enerji seviyesinden bu boşluğa doğru düşer ve bir X-ışın fotonun yapısındaki fazla enerjiyi salar. Karakteristik radyasyon araştırmada önemlidir çünkü her element bilinmeyen bir malzemeyi tanımlamak için kullanılacak bir karakteristik spektrum oluşturur. Bu X-ışın floresans analizinin temel yapısıdır. Karakteristik radyasyon aynı zamanda X-ışın difraksiyonunda kullanılan yüksek şiddetli monokromatik X-ışının kaynağından meydana gelir.

3.7.2.2 X-ışın tüpü

Bir X-ışın sistemi oluşturmak için bir elektron kaynağı, elektron hızlandırma ve yüksek hızlı elektronları durdurmak için bir hedef gerektirir. 1913'de Coolidge bugün hala kullanılan X-ışının temel tüpünü geliştirdi. Bir çeşit tüp, bir sıcak katot X-ışını tüpü denilen elektron oluşturmak için bir tungsten filamanlı bir katottan oluşur ve bir tungsten hedef elektronu durduran bir bakır anotta gömülmüştür. Filaman odak noktası denilen hedefin bir küçük bölgesi üzerine elektron demeti odaklanan konkav bir kaba yerleşir. Tungsten başka (bakır gibi) malzemedan yapılmış hedef genellikle düşük enerjili monokromatik X-ışını oluşturmak için difraktometre de kullanılır. X-ışınları bir liman denilen barınacak yerde bir küçük pencere yoluyla tüp yönlendirilmiştir.

Elektronlar, parlaklık için tungsten filaman ısıtılarak katotta oluşur. Elektronların sayısı filamanın sıcaklığı ayarlanarak kontrol edilebilir. Katotta saniyede gösterilen yük miktarı akım olarak adlandırılır ve miliamper (mA) cinsinden ifade edilir. Elektronlar bir yüksek voltaj potansiyeli tarafından pozitif anoda doğru hızlandırılır. Bu potansiyel fark kilovoltaj (kV) cinsinden ifade edilir. Tüp karşısında voltaj zamanla değişebilir ve genellikle kilovoltaj pik (kVp) olarak ifade edilir. Bir elektron bir voltluk bir voltaja karşı çizilirse, bir elektro voltluk (eV) enerjiye sahip olur. Böylece kilovoltaj pik, çoğu enerjik foton üst limit olarak tanımlanır. Bu pratik bir bakış açıdır fakat, demetteki ortalama fotonun enerjisi yaklaşık olarak kilivoltaj pikin üçte biridir. Örneğin kilovoltaj pik 60 olarak ayarlanırsa, yaklaşık olarak 20keV ortalama bir enerji ile 60keV bir maksimum enerjiye sahip bir X-ışın demeti oluşur. Bu sürekli spektrum üzerine konulan hedef malzemenin karakteristik radyasyonu olacaktır.

Elektronlar tarafından taşınan enerjinin sadece küçük bir yüzdesi anoda çarparak X-ışınına dönüşür. Enerjinin yüzde 99'dan daha büyük kısmı hedef tarafından soğurulacak ve ısıya dönüştürülecektir. Hedef genellikle su ile veya erimesini önlemek için petrole soğutulur.

3.7.3 X-ışınının madde ile etkileşimi

X-ışını madde içine girdiği zaman sahip olduğu enerji hedef malzemede çekirdek ve elektronlara aktarılır. Aktarılan bu enerjiyi alan bir elektron atomu terk ederken atomda iyonlaşır. Elektronun kaybettiği enerji miktarı, malzemede hareket etme çeşidine ve foton enerjisine bağlıdır. X-ışınının madde ile üç ayrı şekilde etkileşir. Bunlar fotoelektrik etki, Compton saçılması ve Çift oluşumdur.

3.7.3.1 Fotoelektrik etki

Fotoelektrik etkide, X-ışın fotonu bir yörünge elektronuyla çarpışır ve toplam bir şekilde elektron tarafından soğurulur. Elektron kabukta bir boşluk yaratacağından atomdan çıkarılır. Çıkarılan elektron kinetik enerjisini kaybedene kadar iyonlar yaratarak diğer atomlarla etkileşir. Dış kabuktan düşen atomdaki elektronlar karakteristik foton yapısındaki iç kabuktaki boşluğu doldurur. Fotoelektrik soğurma 10keV aşağısındaki enerjiyle X-ışın fotonunda en etkili şekilde meydana gelir.

3.7.3.2 Compton saçılması

Compton saçılması bir yörünge veya serbest elektrondan bir X-ışın fotonu saçıldığında oluşur. Fotoelektrik sürecin aksine, sadece foton enerji kısmı elektrona aktarılır. Elektron atomdan çıkarılır ve X-ışın fotonu enerjisi azalarak saçılır. Bu saçılan fotona ek olarak Compton veya Fotoelektrik süreç tarafından yörünge elektronlarıyla sürekli etkileşirler. Compton saçılmasının olasılığı X-ışın fotonun artmasıyla enerji olarak artar. Fotoelektrik ve Compton çarpışmaları boyunca etkileşimin yaklaşık olarak 35 keV olma olasılığına eşittir.

3.7.3.3 Çift oluşumu

X-ışınının madde ile olan üçüncü etkileşme mekanizması, çift oluşumdur. Bu olayın gerçekleşebilmesi için X-ışının minimum 1.02 MeV bir enerjiye sahip olması gerekir. Çift oluşumunda, bir foton çekirdek etrafında elektrik alanıyla etkileşir ve bir elektron ve pozitronun (pozitif elektron) yaratılmasıyla maddeye geçer.

Pozitron iki 0.511 MeV gama fotonları (radyasyon ortadan kaldırıldığında) yaratarak, bir elektronla etkileşerek mikrosaniyede yok olur. Bu fotonlar Compton ve Fotoelektrik çarpışmalar tarafından maddeyle etkileşir.

3.8 Ametist'in Fiziksel Kimyasal ve Yapısal Özellikleri

Ametist kristalinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir [46].

Çizelge 3.2 Ametist'in fiziksel kimyasal ve yapısal özellikleri

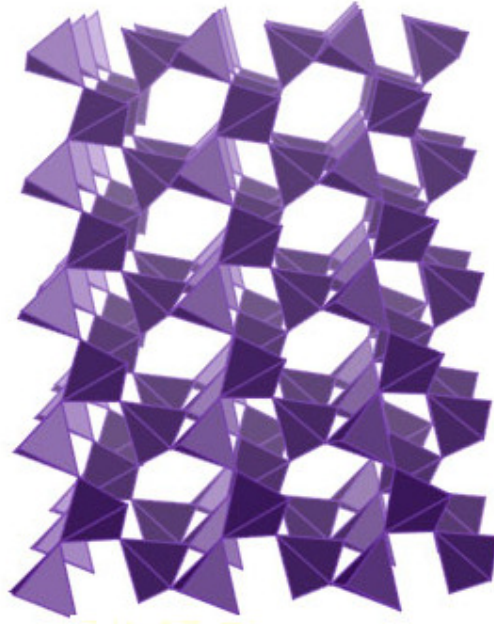
Kategori	Mineral çeşidi
Kimyasal formülü	Silisyum dioksit (SiO ₂)
Renk	Mor, menekşe
Kristal yapı	Piramidin altı kenarının sonunda 6 kenarlı prizma
Kristal sistem	Tetrahedral sınıf 32
Eşleştirme	Dauphine kanunu, Brazil kanunu ve Japan kanunu
Ayrılma	Hiçbiri
Kırılma	Konkoidal
Mohs ölçeği- Sertlik	7 saf olmayan çeşitlerinde daha küçük
Parlaklık	Vitreous (camsı), glossy (düz ve parlak)
Işın	Beyaz
Saydamlık	Saydam, yarı saydam
Özel çekim	2.65 sabit; safsızlık çeşitlerinde değişken
Optiksel özellikleri	Tek eksenli (+) (pozitif)
Kırınımı	$n_w = 1.543 - 1.553$ $n_e = 1.552 - 1.55$
Çift kırılma	+0.0009 (B-G aralığı)
Pleokroizm	Hiçbiri
Erime noktası	1650 ± 75 °C
Çözünürlük	H ₂ O erimez
Diğer karakteristikler	Piezoelektrik

3.8.1 Kristal yapısı

Ametist kuvarsın bir çeşididir. Kristal yapısı doğal bir şekilde meydana gelir ve kuvarsın en değerli yapılarından biridir. Saydam prizmalı kristal yaygın şekilde bir jeod olarak bilinen nodüller bir taşta bir kabuk oluşumu (oyuk-druse) olarak bir kümede bulunabilirler. Ametist morun gölge değişimlerinden solgun eflatun veya morun en yoğun leylak rengi bu kristalin eşsiz renkleridir. Mücevherde en değerli ametist, en derin ve en yoğun renk çeşitlerinin sürekli şeffaf ve parlak olmasıdır.



Şekil 3.25 Ametist kristali



Şekil 3.26 Silisyum dioksitin (SiO_2) kristal yapısı-oksijen %53.26, silisyum %46.74

3.8.2 Fiziksel özellikleri

Ametist morun gölgeli çeşididir fakat kırmızımsı ve yumuşak mor renklerini de içerebilir. Mor rengi kuvarsta manganezden gelir. Demirin varlığı rengin şiddetini belirlemeye yardımcı olur. Ametist çok pahalı olabilir fakat geniş bir şekilde yayılması ve çeşitli küresel depozitolardan dolayı çok ucuza da bulunulabilir. Ametistin sadece rengi ile değil aynı zamanda saydam ve yarı saydam şeffaflığı da önemlidir.

Fakat daima camsı bir parlaklıkla devam etmektedir. Özel çekimi 6.5 ve sertliği 7 (mohs ölçeği) gerçek ametisti sentetik olarak ayırmak çok zordur. Doğada bir mineral olarak, her kristal maden bölgelerine göre farklılık gösterir. Değerli taş uzmanları genellikle bölgeleri tanırlar ve özellikle rengin en yoğun olduğu örneklerin bulunduğu bölgelerden başlarlar. Bunun yanında kristalin ayrılması, şekli, kristal sistemi ve diğer fiziksel karakteristikleri de önemlidir.

3.8.3 Kimyasal özellikleri

Ametist için kimyasal formül, silisyum dioksittir. Renge bağlı olarak ayırt etme özelliği kimyasal bileşenlerini temsil eder. Ametist manganez (Mn) safsızlığının bir kombinasyonu boyunca ve demirin varlığından dolayı özel bir nicelik olarak meydana gelir. Her kristalin rengi dolu-renk bantlarının dağılımına bağlıdır. Bu renk bantları sadece 480 Fahrenheit derece (248.9⁰C) aşağısındaki sıcaklıklar için uygundur. Böylece bu yarı değerli taş sönümlenmeyi önlemek amacıyla aşırı ısıdan korunmalıdır. Profesyonel ısıtma işlemi Citrin ve Ametrine (400⁰C ve 500⁰C) olarak bilinen popüler değerli taşları üretmek için ametist kullanılır. Çoğu doğal şekilde ametist olarak başlar ve Citrin olarak meydana gelir. Volkanların yakınında lava ve magmaya maruz kalanlar ve diğer magma içeren cisimler ısıtılarak da bu kristaller oluşturulabilir. Yarı ametist ve yarı citrin üretiminden oluşan ametrine popüler yarı değerli bir kristal olur.

BÖLÜM IV

DENEYSEL ÇALIŞMA

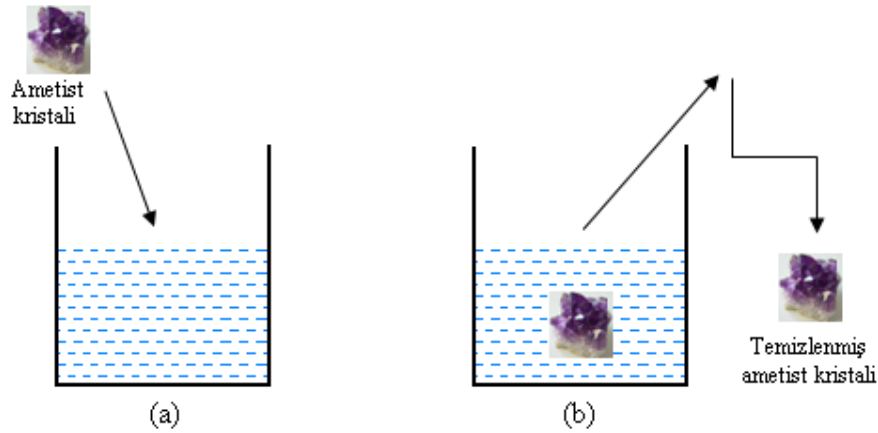
Bu bölümde, Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında dozimetrik özellikleri incelenecek ametist kristalinin termolüminesans özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmalar anlatılacaktır.

4.1 Ametist Kristaline Radyasyon Uygulanmadan Alınan Termolüminesans Ölçümleri

4.1.1 Ametist kristalinin temizlenmesi

Kristalin temizlenmesi için aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

1. Şekil 4.1-a' da görüldüğü gibi, ametist kristalini yüzeysel kirden arıtmak için, kristal bir kısıkaç yardımıyla tutuldu ve içinde saf su bulunan beher içerisinde konularak içerisinde iyice karıştırıldı.
2. Şekil 4.1-b' de görüldüğü gibi, kristalinin yüzeyinde bulunabilecek son kirlerde kristal saf su içinde iken kulak çöpü yardımıyla temizlendi.
3. Yukarıda anlatılan 2. adımdan sonra, kristal beherden çıkarıldı ve deneyde kullanılmaya hazır hale getirildi. Dış etkenlerden etkilenmemesi için karanlık odada tutuldu.



Şekil 4.1 Ametist kristalinin temizlenme işlemi

4.1.2 TLD ölçümleri

Deneysel çalışma boyunca termoluminesans ölçümlerini almak için Fotoğraf 4.1 'de görülen RA94 TLD Reader-Analyser model TLD cihazı kullanıldı.



Fotoğraf 4.1 RA94 TLD Reader-Analyser model TLD cihazı

TLD ölçüm cihazının ön panelinde çalıştırma düğmeleri, 4 haneli ekran, azot veya argon gaz akışı ayarları için kullanılan rotametre, mod kontrolü ile programlama anahtarları ve ısıtma levhası, kontrol ışık kaynağı ve ısıtma güç birimi içeren çekmece bulunmaktadır. RA94 TLD Reader-Analyser TL dozimetre yukarıda anlatılan işlemlerde kullanılan modern bir cihazdır. Cihaz bünyesinde bulunan kendi mikroişlemcisi ve bilgisayar destekli bir sistemden oluşur.

Radyasyona tabi tutulmadan önce ametist kristalinin TLD ölçümleri alınırken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

1. Sistemin yüksek hassasiyet kararlılığı ve TL malzemelerinin düşük şiddetli sinyalleri için kullanılan azot veya argon gazı rotametre değeri yüz üzerinden 40-60 aralığında ayarlandı.
2. TLD Reader Analyser cihazında direnç yardımı ile oluşturulan sıcaklığın kristale en iyi şekilde iletilmesini sağlamak için, cihazın ön panelinde bulunan çekmece içerisindeki levha greslendi ve ametist kristali levha üzerine yerleştirildi.

3. TLD cihazına bağlı bilgisayarda bulunan TLD programı kullanılarak deneysel çalışma boyunca sıcaklık 50⁰C-400⁰C aralığında ısıtma oranı olarak bilinen β değerleri (1-5)⁰C/s aralığında lineer olarak artacak şekilde ayarlandı.

4. TL lümü başlatıldı ve daha önce bahsedildiği gibi TLD sistemindeki bilgisayara aktarılan veriler Axum grafik çizim programı kullanılarak ışıma şiddetinin sıcaklığa göre grafiği elde edildi.

4.2 Ametist Kristaline Radyasyon Uygulandıktan Sonra Alınan Termolüminesans lmleri

Radyasyon işlemi için Fotoğraf 4.2'de görülen X-ışıını cihazı kullanıldı. Radyasyon cihazında kullanılan X-ışıını tüpü su soğutmalı tek fazlı Machlett OEG-50A lik bir tüptür. 0,1mm alüminyum filtreli 1mm berilyum pencerele olup tungsten hedeften ibarettir. Maksimum 50kV luk gerilim ve 20mA lik akım sağlanabilmektedir. Doz hızı (20cm uzakta) ~30Gy/dak dır.



Fotoğraf 4.2 Machlett OEG marka X-ışıını tüpü

Ametist kristaline radyasyon uygulanırken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

1. Olası bir elektriksel boşalımda tüpe zarar vermemek, güvenli çalışmak ve istenen doz seviyesini aşmamak amacıyla X-ışıını tüpünün voltaj ve akım değerleri sırasıyla 30kV ve 15mA olarak ayarlandı.

2. Ametist kristali alüminyum bloktan yapılmış boru içine yerleştirildi.

3. Kristal 300Gy X-ışın doz alacak şekilde 10 dakika X-ışını radyasyonuna maruz bırakıldı.
 4. Daha sonra, kristal alüminyum bloktan yapılmış boru içinden alındı ve siyah bir kutu içinde taşınarak TLD cihazına yerleştirildi.
 5. TLD Reader Analyser cihazı 50⁰C-400⁰C sıcaklık aralığında çalışacak şekilde ayarlandı.
 6. 5. adımda verilen sıcaklık aralığında $\beta=1^0\text{C/s}$, 2^0C/s , 3^0C/s , 4^0C/s , 5^0C/s lineer ısıtma oranlarına tekabül eden 5 termoluminesans ölçümü yapıldı ve her bir ısıtma oranı değişimindeki ölçüm yapılmadan önce örnek 300Gy X-ışınına maruz bırakıldı.
- Yukarıdaki işlemler, 600Gy, 900Gy ve 1800Gy X-ışını radyasyon değerleri için tekrarlandı.

4.3 Ametist Kristaline Tavlama İşlemi ve Radyasyon Uygulandıktan Sonra Alınan Termoluminesans Ölçümleri

Tavlama işlemi için Fotoğraf 4.3'te görülen Proterm marka boru tipi fırın kullanıldı. Proterm marka boru tipi fırının çıkabileceği maksimum sıcaklık 1200⁰C, sıcaklık ayar hassasiyeti 1⁰C ve sıcaklık sapması $\pm 2^0\text{C}$ 'dir.



Fotoğraf 4.3 Proterm marka boru tipi fırın

Ametist kristali 60 dakika süreyle 200⁰C'de tavlama işlemine tabi tutuldu. Bu işlemden sonra, kristal 300Gy X-ışın dozuna maruz bırakıldı ve yine siyah bir kutu ile taşınarak TLD Reader Analyser cihazına götürülüp yerleştirildi. TLD Reader Analyser cihazı 50⁰C-400⁰C sıcaklık aralığında çalışacak şekilde ayarlandı.

Bu sıcaklık aralığında $\beta=1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için termoluminesans ölçümü alınarak parıldama eğrisi elde edildi. Daha sonra kristal 60 dakika süreyle 400°C 'de tavlama işlemine tabi tutuldu ve kristale 1800Gy X-ışını uygulandıktan sonra benzer işlemler tekrarlandı.

4.4 Optiksel Soğurma Ölçümleri

Optiksel soğurma ölçüm işlemleri Fotoğraf 4.4'te gösterilen Perkin Elmer marka Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresi ile gerçekleştirildi.



Fotoğraf 4.4 Perkin Elmer marka Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresi

Lambda 950 spektrofotometresi UV(165-380)nm, VIS(380-780)nm, NIR(780-3300)nm dalgaboyu aralığında ölçüm yapmayı sağlayan bir sistemdir. Bu özelliği sayesinde, kullanılan örneğin 175nm ile 3300nm arasındaki dalga boyu değişimini gözlemlemeye olanak verir. Ölçüm yapılacak dalga boyu aralığı, sistemin çözünürlüğü ve hangi tür ölçüm yapılacağı (soğurma, yansıma veya geçirgenlik) “Perkin Elmer UV WinLab” bilgisayar programı sayesinde belirlenir. Elde edilen veriler Axum grafik çizim programı ile grafik haline getirilir.

Ametist kristali soğurma ölçümü için Perkin Elmer marka Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresine yerleştirildi. Daha sonra Perkin Elmer UV WinLab bilgisayar programında 200nm-800nm dalga boyu aralığı ve 1nm ölçüm aralığı için ayarlandı. Elde edilen ölçüm verileri axum programı yardımı ile grafiklere dönüştürüldü.

BÖLÜM V

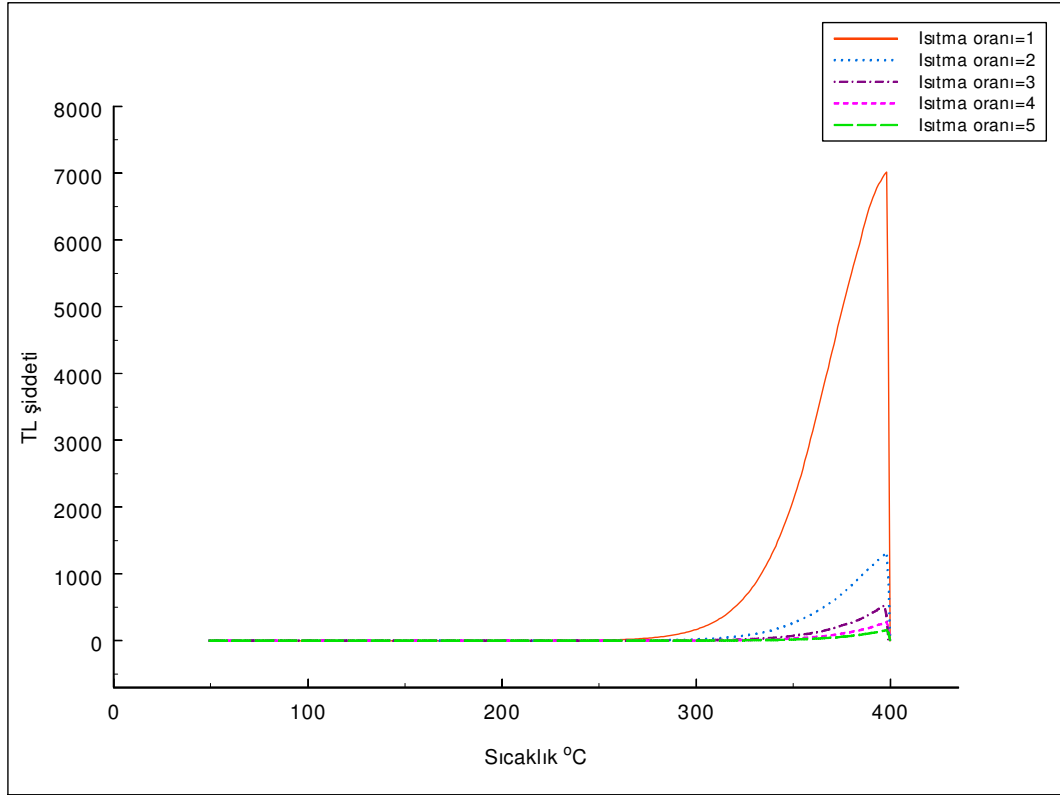
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde ametist kristalinin termoluminesans ölçümleri sonucunda elde edilen parıldama eğrileri ve bu eğrilerden yararlanarak farklı doza maruz bırakılan, farklı ısıtma oranlarında ısıtılan ve farklı tavlama sıcaklık işlemlerine tabi tutulan kristalin bu durumlar için belirlenen kinetik parametreleri verilecek ve sonuçların yorumları yapılacaktır.

5.1 Ametist Kristaline Radyasyon Uygulanmadan Alınan Termoluminesans Ölçümleri

Ametist kristaline radyasyon ve tavlama işlemi uygulanmadan önce $\beta = 1^{\circ}\text{C/s}$, 2°C/s , 3°C/s , 4°C/s , 5°C/s farklı ısıtma oranları için termoluminesans (TL) ölçümü alındı. Bu ölçümler alınırken her ısıtma oranı için ametist kristali 50°C sıcaklığından başlanarak 400°C sıcaklığına kadar ısıtıldı. Termoluminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı grafiği çizilerek parıldama eğrileri elde edildi. Burada farklı ısıtma oranlarının parıldama eğrileri üzerindeki etkisi incelendi.

Şekil 5.1 'de farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, $\beta = 1^{\circ}\text{C/s}$ için elde edilen eğri yaklaşık 270°C civarında ortaya çıkmaktadır. Bunun anlamı sığ tuzaklar zaman içinde tamamen boşalmış durumdadırlar. Diğer hız oranlarına göre elde edilen eğrilere bakıldığı zaman derin tuzaklarda tuzaklanan elektron sayısının gittikçe azaldığı görülmektedir. Bu durum beklenen sonuçtur. Çünkü her ısıtma işleminde tuzaklar boşalmaktadır.



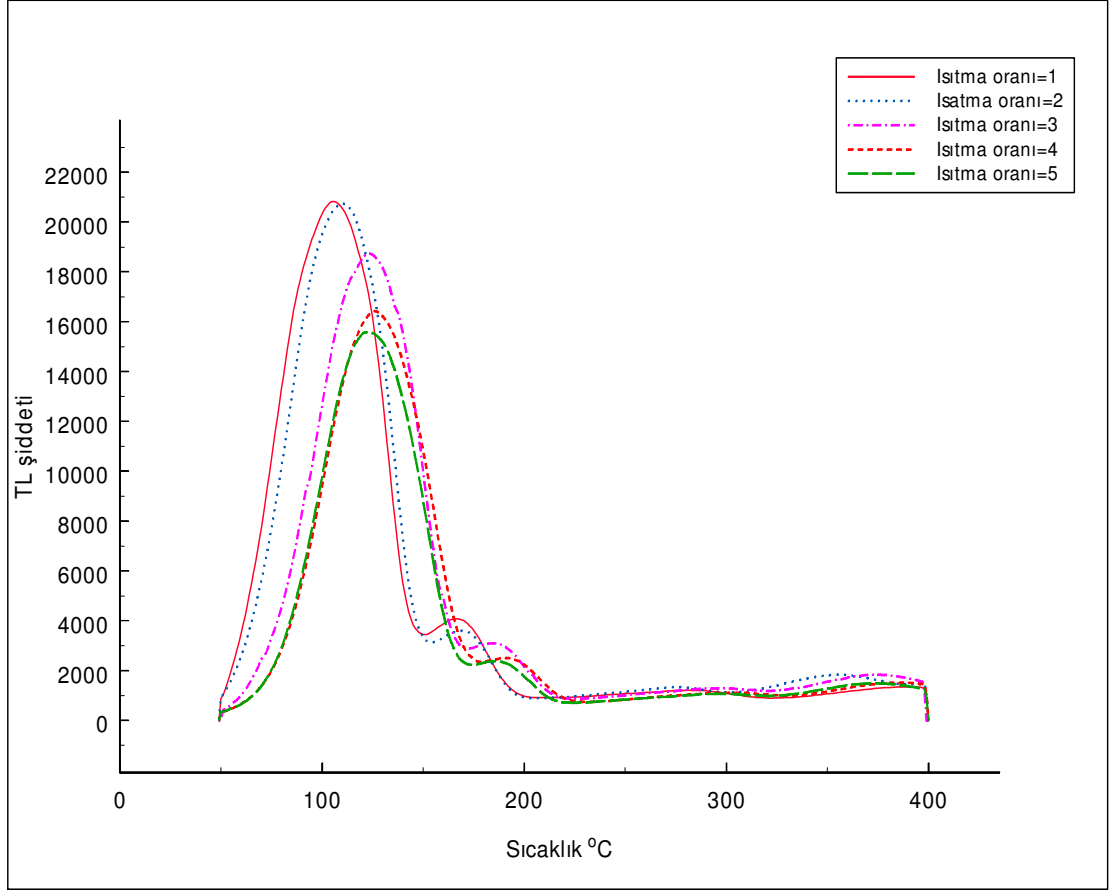
Şekil 5.1 Farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri

5.2 Ametist Kristaline Radyasyon Uygulandıktan Sonra Alınan Termoluminesans Ölçümleri

Ametist kristali 300Gy, 600Gy, 900Gy ve 1800Gy değerlerinde X-ışın dozuna maruz bırakıldı ve her bir radyasyon işlemi sonrasında $\beta = 1^{\circ}\text{C/s}$, 2°C/s , 3°C/s , 4°C/s , 5°C/s farklı ısıtma oranları için termoluminesans (TL) ölçümleri alındı.

Şekil 5.2'de ametist kristaline 300Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, ısıtma oranının artmasıyla TL parıldama eğrilerinin şiddetinin azaldığı ve elde edilen parıldama eğrilerinin yüksek sıcaklıklara doğru bir kayma oluşturduğu görülmektedir.

Diğer taraftan, Şekil 5.2’ de verilen eğrilere pik şekli (Peak Shape) metodu kullanılarak kristalin aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri belirlendi. Burada ısıtma oranının ve verilen X-ışını dozunun parıldama eğrileri üzerindeki etkileri incelendi.



Şekil 5.2 Ametist kristaline 300Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri

Çizelge 5.1’de 300Gy X-ışını dozuna maruz bırakılan ametist kristalinin farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve Pik Şekli (PS) metodu kullanılarak hesaplanan kinetik parametre değerleri verilmektedir.

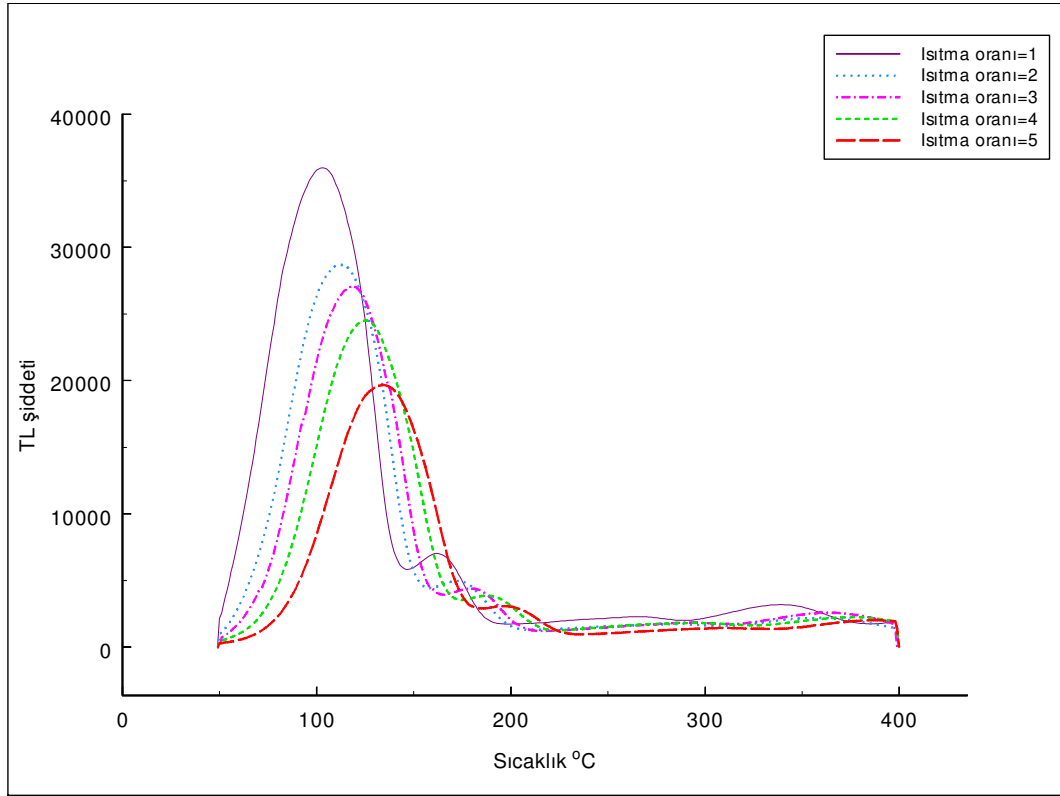
Çizelge 5.1 Ametist kristaline 300Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri

$\beta(^{\circ}\text{C/s})$	Pik	I_M	$T_M(^{\circ}\text{C})$	$E_r(\text{eV})$	$E_{\delta}(\text{eV})$	$E_{\omega}(\text{eV})$	$s_r(\text{s}^{-1})$	$s_{\delta}(\text{s}^{-1})$	$s_{\omega}(\text{s}^{-1})$
1	1	20828.19	106	0.54	0.60	0.57	7.3×10^5	4.7×10^6	1.9×10^6
	2	4084.90	166	1.67	1.53	1.60	1.4×10^{18}	3.3×10^{16}	2.2×10^{17}
2	1	20754.06	111	0.57	0.63	0.60	3.6×10^6	2.1×10^7	9.1×10^6
	2	3607.03	170	1.96	1.77	1.87	3.3×10^{23}	2.6×10^{19}	3.8×10^{20}
3	1	18151.02	130	0.39	0.33	0.37	7.1×10^3	1.0×10^3	3.3×10^3
	2	3107.48	184	3.10	2.07	2.42	7.4×10^{33}	2.1×10^{22}	1.8×10^{26}
4	1	16431.62	126	0.70	0.74	0.72	1.3×10^8	4.6×10^8	2.5×10^8
	2	2506.64	190	3.18	2.13	2.48	2.7×10^{34}	6.7×10^{22}	5.0×10^{26}
5	1	15581.21	122	0.77	0.78	0.78	1.8×10^9	2.7×10^9	2.4×10^9
	2	2383.58	186	3.08	2.13	2.46	6.0×10^{33}	1.4×10^{23}	7.2×10^{26}

Çizelge 5.1’de her iki pike tekabül eden I_m değerlerinin artan ısıtma oranıyla azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan, T_m ’ da $\beta= 5^{\circ}\text{C/s}$ için hariç diğer ısıtma oranlarında arttığı görülmektedir. Benzer şeyleri $E_r(\text{eV})$, $E_{\delta}(\text{eV})$ ve $E_{\omega}(\text{eV})$ değerleri $s_r(\text{s}^{-1})$, $s_{\delta}(\text{s}^{-1})$ ve $s_{\omega}(\text{s}^{-1})$ değerleri için söyleyebiliriz. Yani ısıtma oranı değerleri artarken E ve s değerleri de artmaktadır. $\beta= 3^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için alınan ölçümlerde deneysel bir hata olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı yapılan deneysel yorumlarda bu ısıtma oranı için elde edilen veriler göz önüne alınmadı. Buradan elde edilen sonuçlar beklentileri karşılamaktadır.

Şekil 5.3’de kristale 600Gy X-ışın dozuna maruz bırakıldıktan sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, ısıtma oranının artmasıyla TL parıldama eğrilerinin şiddetinin azaldığı ve elde edilen parıldama eğrilerinin sıcaklık artışıyla birlikte sağa kaydığı görülmektedir.

Diğer taraftan, Şekil 5.3’ de verilen eğrilere Pik Şekli (Peak Shape) metodu kullanılarak kristalin aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri belirlendi. Burada ısıtma oranının ve verilen X-ışını dozunun parıldama eğrileri üzerindeki etkileri incelendi.



Şekil 5.3 Ametist kristaline 600Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri

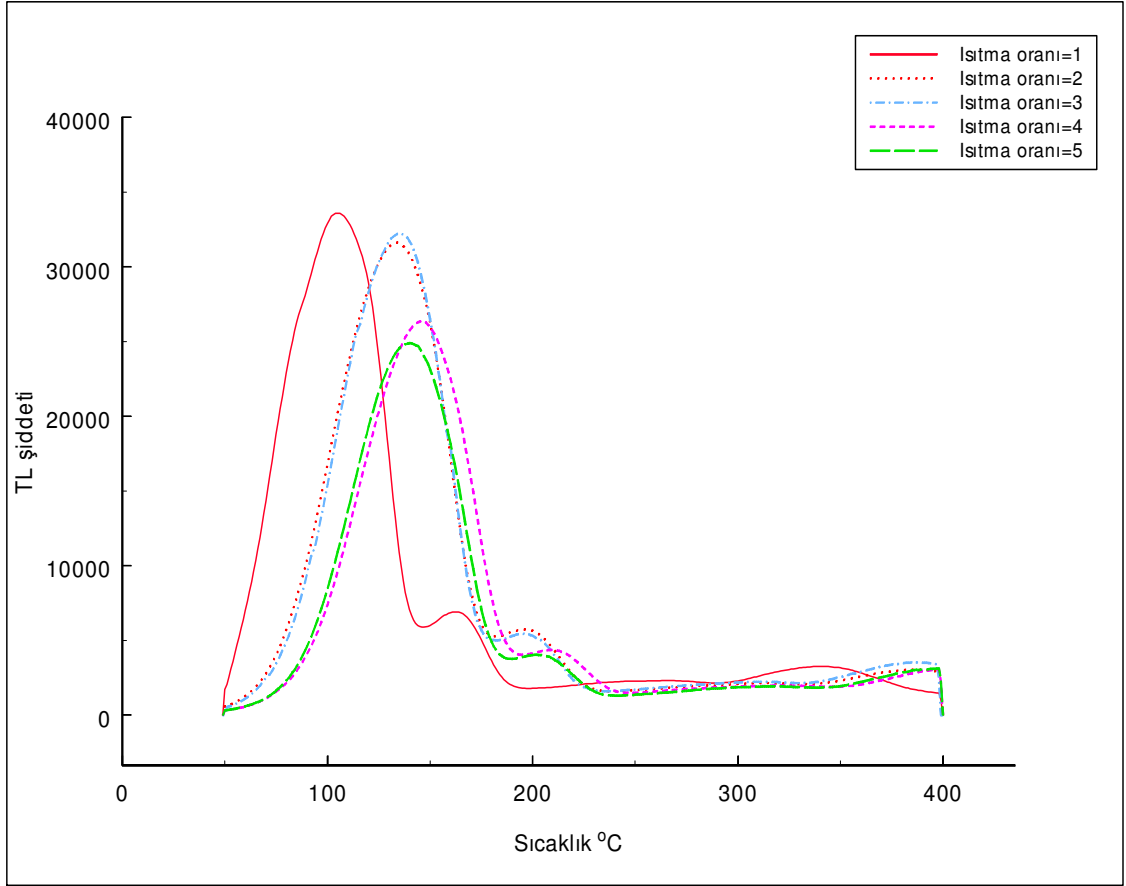
Çizelge 5.2’de 600Gy X-ışını dozuna maruz bırakılan ametist kristalinin farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve Pik Şekli (PS) metodu kullanılarak hesaplanan kinetik parametre değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.2 Ametist kristaline 600Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri

$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{s})$	Pik	I_M	$T_M(^{\circ}\text{C})$	$E_{\tau}(\text{eV})$	$E_{\delta}(\text{eV})$	$E_{\omega}(\text{eV})$	$s_{\tau}(\text{s}^{-1})$	$s_{\delta}(\text{s}^{-1})$	$s_{\omega}(\text{s}^{-1})$
1	1	35981.35	103	0.50	0.56	0.53	2.4×10^5	1.6×10^6	6.2×10^5
	2	7048.15	162	1.88	1.70	1.79	6.5×10^{20}	4.8×10^{18}	5.5×10^{19}
2	1	28693.75	113	0.55	0.61	0.58	1.6×10^6	9.7×10^6	3.9×10^6
	2	4990.10	172	2.25	1.82	2.00	8.2×10^{24}	8.7×10^{19}	1.0×10^{22}
3	1	27086.99	119	0.57	0.63	0.60	3.1×10^6	1.8×10^7	7.7×10^6
	2	4409.97	179	2.32	1.88	2.07	7.6×10^{25}	2.9×10^{20}	4.3×10^{22}
4	1	24525.67	125	0.68	0.72	0.70	8.8×10^7	3.6×10^8	1.9×10^8
	2	3889.12	188	3.07	2.18	2.50	1.2×10^{34}	9.9×10^{23}	4.2×10^{27}
5	1	19691.01	134	0.64	0.69	0.67	2.0×10^7	1.0×10^8	5.0×10^7
	2	3096.79	197	3.28	2.19	2.56	1.1×10^{35}	1.6×10^{23}	1.7×10^{27}

Çizelge 5.2’de her iki pike karşılık gelen parıldama eğrilerinin I_M değerlerinin artan ısıtma oranıyla azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan, T_m sıcaklık değeri artan ısıtma oranlarına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Benzer şeyleri $E_{\tau}(\text{eV})$, $E_{\delta}(\text{eV})$ ve $E_{\omega}(\text{eV})$ değerleri $s_{\tau}(\text{s}^{-1})$, $s_{\delta}(\text{s}^{-1})$ ve $s_{\omega}(\text{s}^{-1})$ değerleri için söyleyebiliriz. Yani ısıtma oranı değerleri artarken aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri de artmaktadır. 600Gy X-ışınına tabi tutulan kristalin şiddet, sıcaklık, aktivasyon enerjisi ve frekans faktörü değerleri beklenen sonuçları karşılamaktadır.

Şekil 5.4'te 900Gy X-ışını dozuna tabi tutulan ametist kristalinin farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, ısıtma oranının artmasıyla TL parıldama eğrilerinin şiddetinin azaldığı ve elde edilen parıldama eğrilerinin artan ısıtma oranına bağlı olarak sağa kaydığı görülmektedir. Bu kayma sıcaklık artışını temsil etmektedir.



Şekil 5.4 Ametist kristaline 900Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri

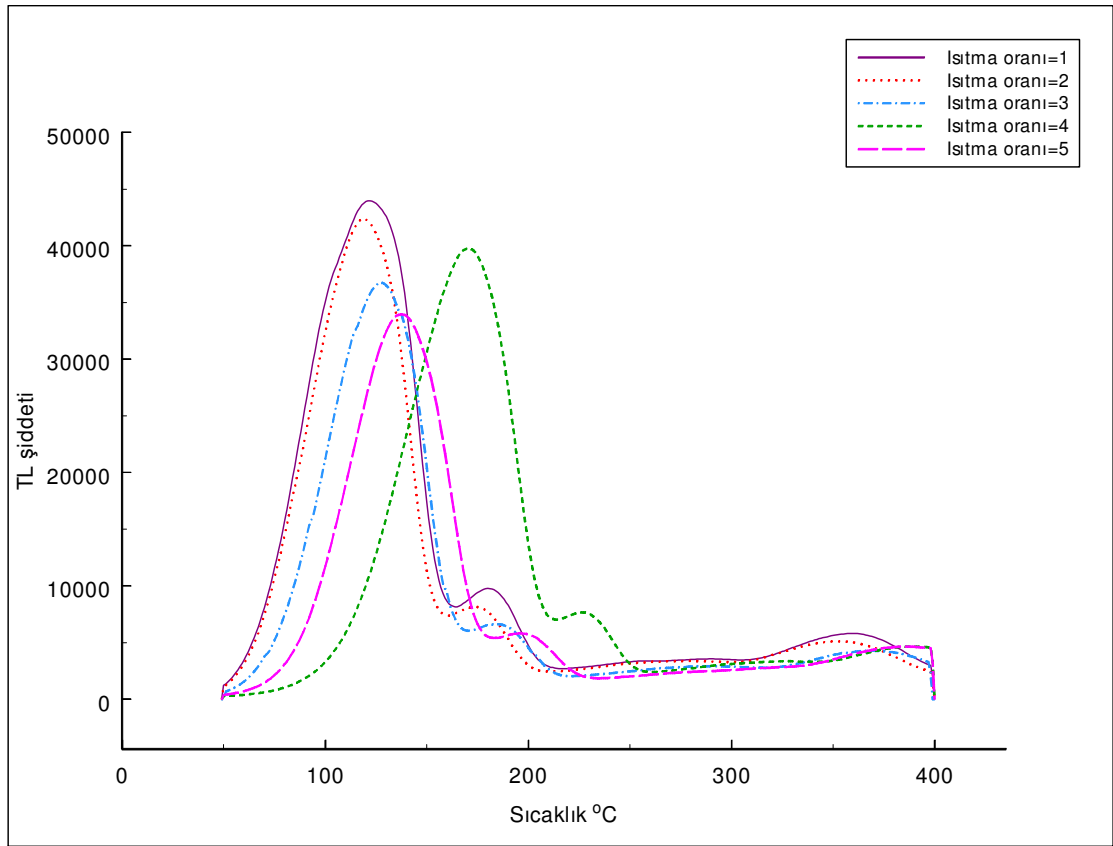
Çizelge 5.3'te Ametist kristali 900Gy X-ışını dozuna tabi tutulduktan sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve Pik Şekli (PS) metodu kullanılarak hesaplanan kinetik parametre değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.3 Ametist kristaline 900Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri

$\beta(^{\circ}\text{C/s})$	Pik	I_M	$T_M(^{\circ}\text{C})$	$E_{\tau}(\text{eV})$	$E_{\delta}(\text{eV})$	$E_{\omega}(\text{eV})$	$s_{\tau}(\text{s}^{-1})$	$s_{\delta}(\text{s}^{-1})$	$s_{\omega}(\text{s}^{-1})$
1	1	33585.59	106	0.46	0.50	0.48	5.6×10^4	2.3×10^5	1.0×10^5
	2	6923.86	163	1.69	1.55	1.63	3.2×10^{18}	7.1×10^{16}	6.0×10^{17}
2	1	31622.11	134	0.51	0.57	0.54	1.9×10^5	1.0×10^6	4.3×10^5
	2	5742.70	196	2.65	2.00	2.25	4.1×10^{27}	3.1×10^{20}	1.7×10^{23}
3	1	32232.39	135	0.54	0.60	0.57	6.7×10^5	3.6×10^6	1.5×10^6
	2	5454.22	196	2.86	2.09	2.39	2.4×10^{30}	9.3×10^{21}	1.7×10^{25}
4	1	26400.99	146	0.58	0.63	0.60	1.5×10^6	7.7×10^6	3.4×10^6
	2	4372.70	210	2.54	2.00	2.22	1.5×10^{26}	2.8×10^{20}	1.2×10^{22}
5	1	24897.31	140	0.63	0.68	0.66	1.0×10^7	5.7×10^7	2.6×10^7
	2	4034.86	201	3.79	2.31	2.78	2.0×10^{40}	2.2×10^{23}	2.7×10^{29}

Çizelge 5.3'te birinci ve ikinci pike tekabül eden parıldama eğrilerinin I_m değerlerinin artan ısıtma oranıyla azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan, T_m sıcaklık değeri $\beta = 5^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı hariç diğer ısıtma oranlarında artan ısıtma oranlarına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Benzer şeyleri $E_{\tau}(\text{eV})$, $E_{\delta}(\text{eV})$ ve $E_{\omega}(\text{eV})$ değerleri $s_{\tau}(\text{s}^{-1})$, $s_{\delta}(\text{s}^{-1})$ ve $s_{\omega}(\text{s}^{-1})$ değerleri için söyleyebiliriz. Yani ısıtma oranı değerleri artarken aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri de artmaktadır. Kristal 900Gy X-ışın dozuna maruz bırakıldıktan sonra elde edilen veriler beklenen sonuçları karşılamaktadır.

Şekil 5.5'te ametist kristaline 1800Gy X-ışını uygulandıktan sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, ısıtma oranının artmasıyla TL parıldama eğrilerinin şiddetinin azaldığı ve elde edilen parıldama eğrilerinin sıcaklık artışıyla birlikte sağa kaydığı gözlenmektedir. Burada $\beta=4C/s$ ısıtma oranı için alınan ölçüm beklenen değerleri karşılamadığından dolayı ihmal edilebilir.



Şekil 5.5 Ametist kristaline 1800Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrileri

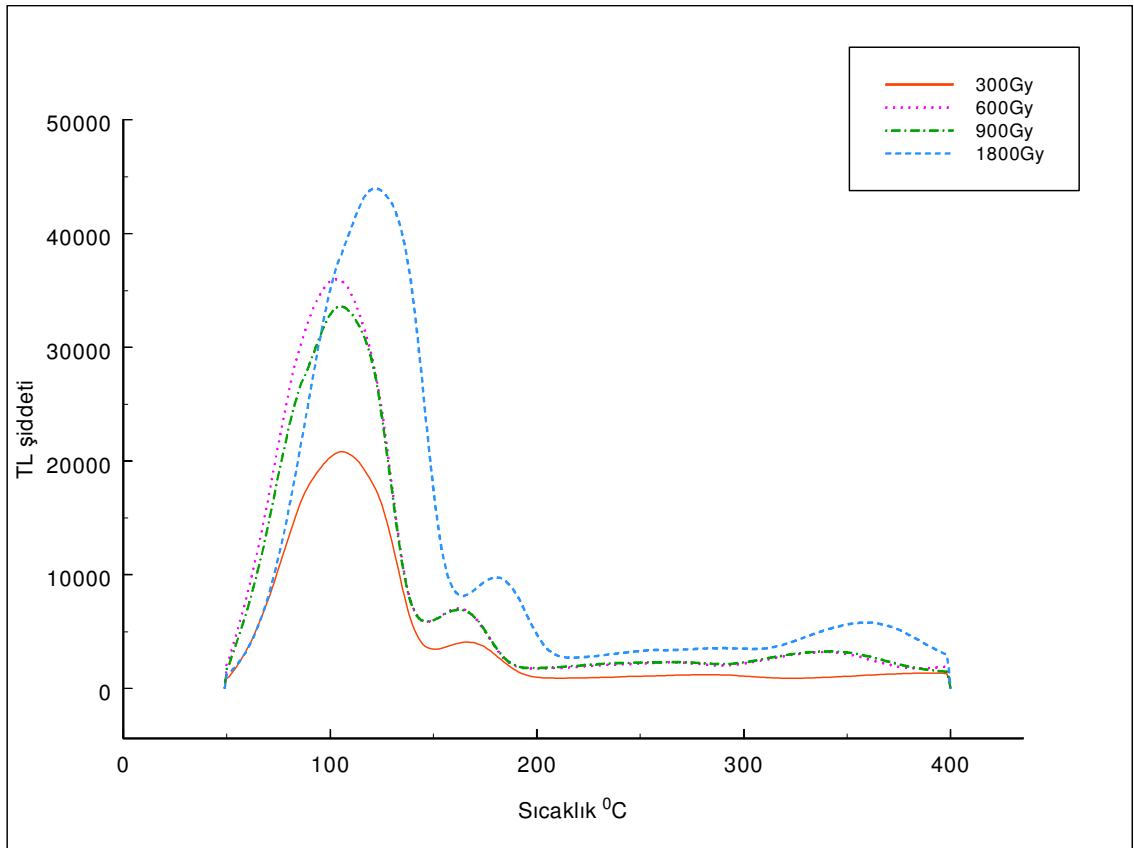
Çizelge 5.4'te 1800Gy X-ışını dozuna maruz bırakılan ametist kristalinin farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve Pik Şekli (PS) metodu kullanılarak hesaplanan kinetik parametre değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.4 Ametist kristaline 1800Gy X-ışını dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranları için elde edilen parıldama eğrilerinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri

$\beta(^{\circ}\text{C/s})$	Pik	I_M	$T_M(^{\circ}\text{C})$	$E_r(\text{eV})$	$E_{\delta}(\text{eV})$	$E_{\omega}(\text{eV})$	$s_r(\text{s}^{-1})$	$s_{\delta}(\text{s}^{-1})$	$s_{\omega}(\text{s}^{-1})$
1	1	43973.22	122	0.44	0.46	0.45	1.7×10^4	3.1×10^4	2.2×10^4
	2	9773.72	180	1.92	1.69	1.80	2.5×10^{20}	6.0×10^{17}	1.0×10^{19}
2	1	42394.57	119	0.55	0.60	0.57	1.1×10^6	5.0×10^6	2.3×10^6
	2	8148.29	174	2.52	1.97	2.19	7.5×10^{27}	3.6×10^{21}	1.2×10^{24}
3	1	36730.16	127	0.61	0.66	0.63	6.6×10^6	3.0×10^7	1.4×10^7
	2	6625.27	184	2.71	1.98	2.26	3.2×10^{29}	2.1×10^{21}	2.9×10^{24}
4	1	39769.79	171	0.57	0.58	0.57	4.0×10^5	6.5×10^5	5.2×10^5
	2	7656.33	226	3.66	2.51	2.92	6.1×10^{36}	1.0×10^{25}	1.6×10^{29}
5	1	33953.99	137	0.70	0.75	0.73	1.1×10^8	4.9×10^8	2.5×10^8
	2	5804.75	195	3.28	2.14	2.52	1.6×10^{35}	5.7×10^{22}	8.3×10^{26}

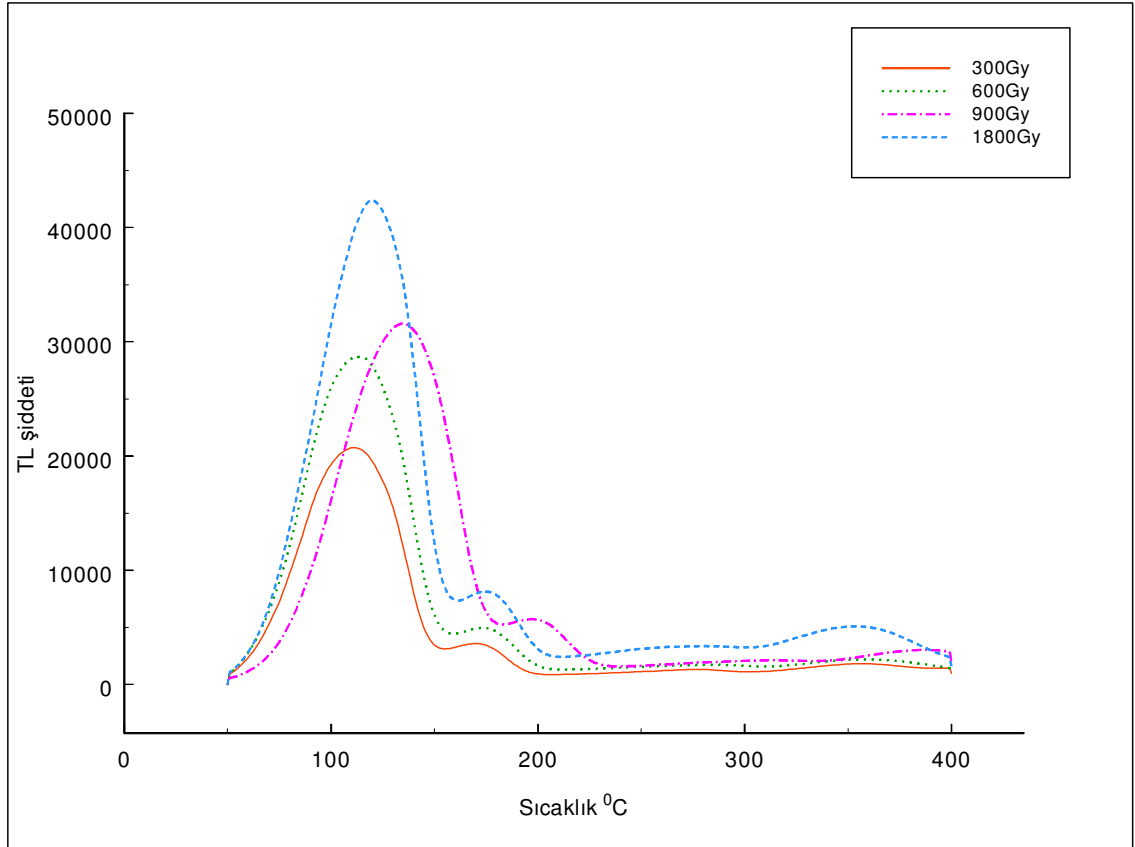
Çizelge 5.4'te birinci ve ikinci pike karşılık gelen parıldama eğrilerinin I_M değerlerinin $\beta = 4^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı hariç diğer ısıtma oranlarında artan ısıtma oranlarına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan, T_m sıcaklık değerinin $\beta = 4^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı hariç diğer ısıtma oranlarında artan ısıtma oranlarına göre arttığı gözlenmektedir. Benzer şeyleri $E_r(\text{eV})$, $E_{\delta}(\text{eV})$ ve $E_{\omega}(\text{eV})$ değerleri $s_r(\text{s}^{-1})$, $s_{\delta}(\text{s}^{-1})$ ve $s_{\omega}(\text{s}^{-1})$ değerleri için söyleyebiliriz. Yani $\beta = 4^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı hariç diğer ısıtma oranı değerleri artarken aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri de artmaktadır. 1800Gy X-ışın dozuna tabi tutulan ametist kristalinin $\beta = 4^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı hariç diğer ısıtma oranları için elde edilen veriler beklenen sonuçları karşılamaktadır.

Şekil 5.6'da $\beta=1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için 300Gy, 600Gy, 900Gy ve 1800Gy X-ışın dozlarına maruz bırakılan ametist kristalinin parıldama eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, 900Gy için elde edilen parıldama eğrisi hariç diğer parıldama eğrilerinde doz miktarı artıkça parıldama piklerinin TL şiddeti artmaktadır. Kristal 1800Gy X-ışın dozuna tabi tutulduktan sonra elde edilen eğride yüksek sıcaklığa doğru bir kayma oluşturduğu gözlenmektedir.



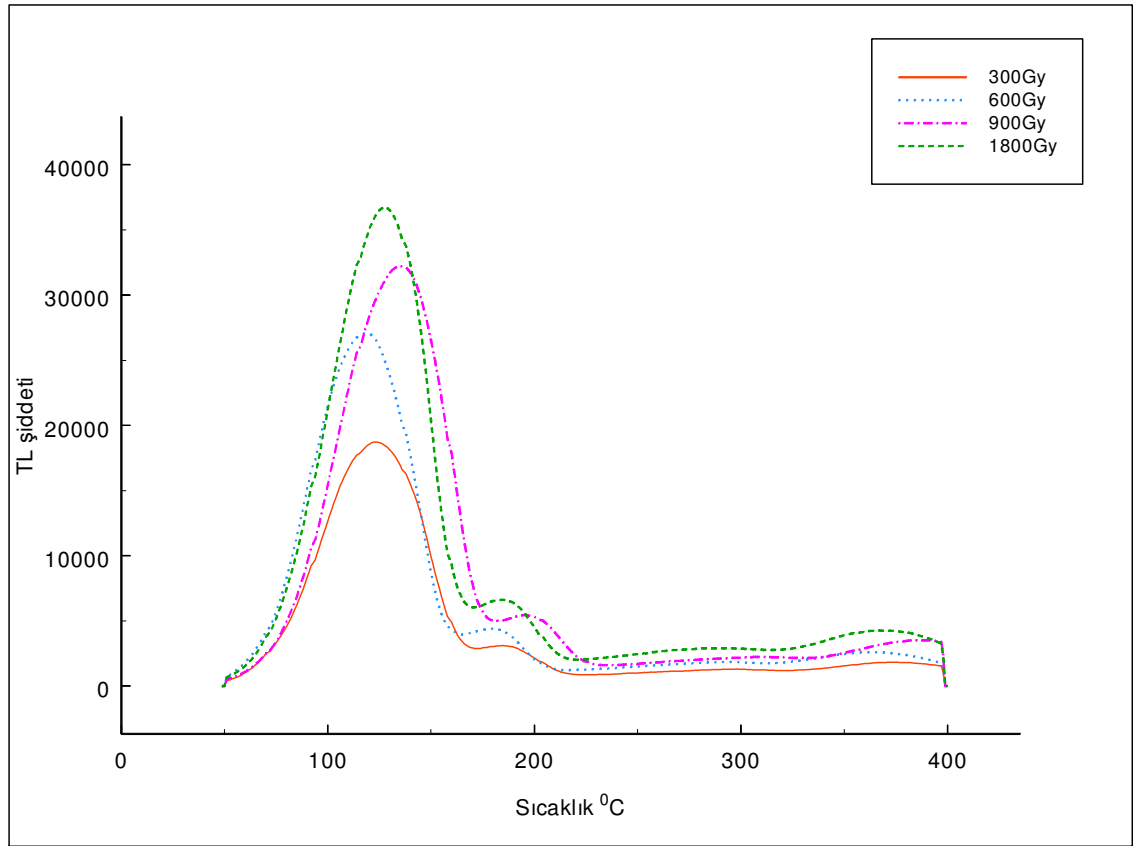
Şekil 5.6 Farklı X-ışın dozlarına maruz bırakılan kristalin $\beta=1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri

Şekil 5.7’de 300Gy, 600Gy, 900Gy ve 1800 Gy X-ışın dozuna maruz bırakılan ve $\beta=2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, doz miktarı artıkça parıldama piklerinin TL şiddeti artmaktadır. 900Gy için elde edilen eğrinin T_m sıcaklığı diğer eğrilere göre bir artış gösterdiği görülmektedir.



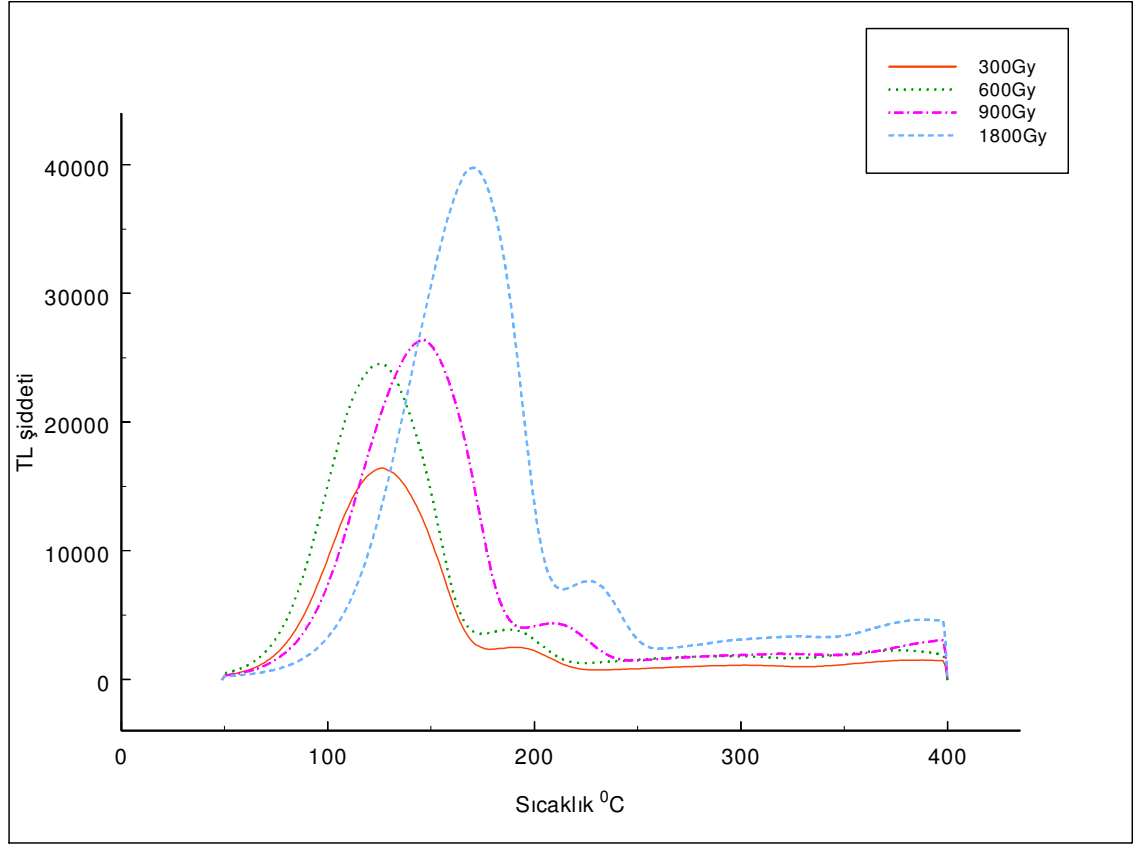
Şekil 5.7 Farklı X-ışın dozlarına maruz bırakılan kristalin $\beta=2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri

Şekil 5.8’de 300Gy, 600Gy, 900Gy ve 1800 Gy X-ışın dozuna maruz bırakılan ve $\beta=3^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, doz miktarı arttıkça parıldama piklerinin TL şiddeti artmaktadır. Doz miktarının artmasına bağlı olarak T_m sıcaklıklarında yüksek sıcaklıklara doğru bir kayma olduğu görülmektedir.



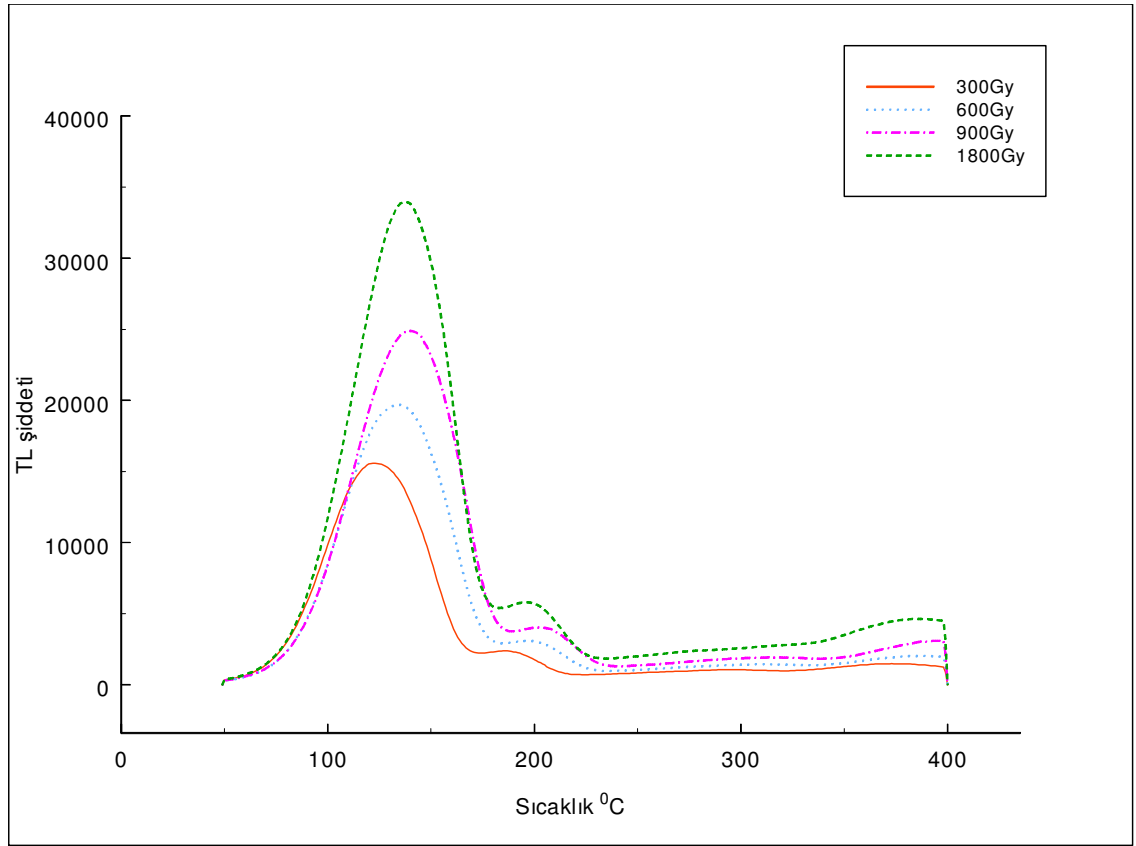
Şekil 5.8 Farklı X-ışın dozlarına maruz bırakılan kristalin $\beta=3^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri

Şekil 5.9’da 300Gy, 600Gy, 900Gy ve 1800 Gy X-ışın dozuna maruz bırakılan ve $\beta=4^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, doz miktarı artıkça parıldama piklerinin TL şiddeti artmaktadır. Doz miktarının artmasına bağlı olarak parıldama eğrilerinin yüksek sıcaklıklara doğru bir kayma oluşturduğu gözlenmektedir.



Şekil 5.9 Farklı X-ışın dozlarına maruz bırakılan kristalin $\beta=4^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri

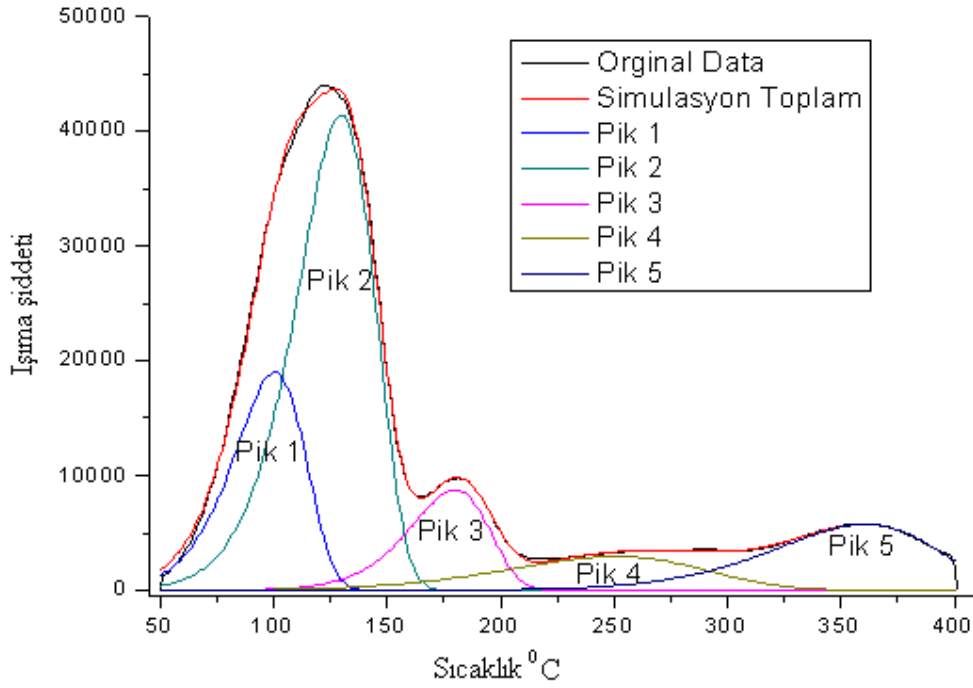
Şekil 5.10'da 300Gy, 600Gy, 900Gy ve 1800 Gy X-ışın dozuna maruz bırakılan ve $\beta=5^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, doz miktarı artıkça parıldama piklerinin TL şiddeti artmaktadır. Doz miktarının artmasına bağlı olarak parıldama eğrilerinin yüksek sıcaklıklara doğru bir kayma oluşturduğu gözlenmektedir. Elde edilen parıldama eğrileri beklenen sonucu karşılamaktadır.



Şekil 5.10 Farklı X-ışın dozlarına maruz bırakılan kristalin $\beta=5^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrileri

5.3 Simülasyon sonucu

Ametist kristalinin termoluminesans ölçümlerinden elde edilen parıldama eğrilerinde üst üste binmiş pikler olabileceğinden 1800Gy X-ışın dozu uygulanan ve $\beta=1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinin üst üste binmiş parıldama eğrilerinin ayrıştırılması Glow Fit programı kullanılarak yapıldı. Simülasyon sonucunda parıldama eğrisinde beş parıldama piki olduğu belirlendi. Belirlenen bu pikler şekil 5.11’de verilmektedir.



Şekil 5.11 1800Gy X-ışınına maruz bırakılan ve $\beta=1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinin simülasyonla elde edilen değişik tuzaklara ait eğriler ve deneysel ve simülasyonla elde edilen toplam radyasyon eğrilerinin karşılaştırılması

Çizelge 5.5 Simülasyonla elde edilen parıldama eğrilerinin aktivasyon enerjilerinin maksimum şiddet ve sıcaklık değerleri

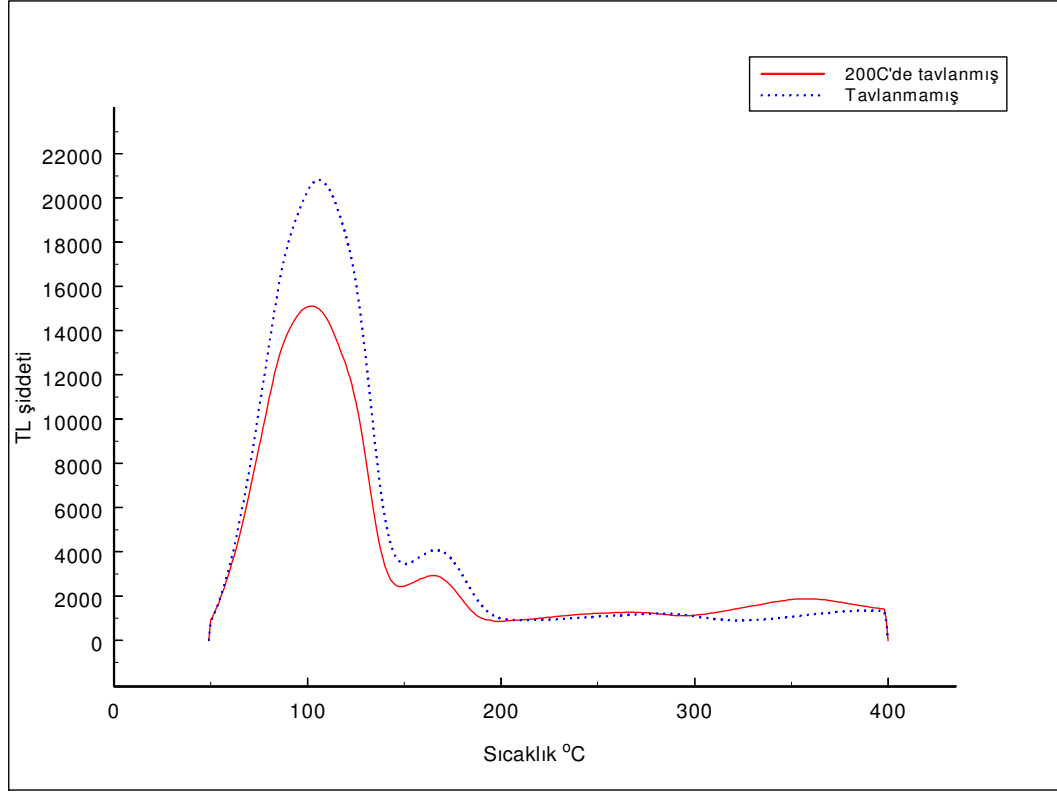
	Pik 1	Pik 2	Pik 3	Pik 4	Pik 5
E (eV)	0.72	0.77	0.97	0.50	0.90
I_M	18979	41407	8732	2936	5731
$T_M (^{\circ}\text{C})$	100	129	179	250	360

Deneyde elde edilen veriler simülasyon sonucu ile karşılaştırıldığında elde ettiğimiz birinci pikin aslında pik1 ve pik2'den oluştuğu, ikinci pikin ise pik3 olduğu gözlemlendi. Bazı parıldama eğrilerinde görülen üçüncü bir pikin simülasyon sonucunda pik5 olduğu görüldü. Ancak parıldama eğrilerinin hepsinde üçüncü pikin oluşmamasından dolayı bu pik dikkate alınmadı. Birinci pike karşılık gelen pik1 ve pik2'nin ortalama aktivasyon enerji değeri 0.74eV iken, hesaplanan değerlere göre birinci pikin aktivasyon enerji değerleri 0.53eV-0.77eV aralığında bulundu. İkinci pike karşılık gelen pik3'ün simülasyon sonucunda aktivasyon enerji değeri 0.97eV iken hesaplanan değerlerde 1.60eV-2.67eV aralığında bulundu. Buradaki değerlerin yüksek ve düşük çıkmasının sebebi elde edilen eğrilerdeki piklerin birbirinden çözümlenmemiş olmasından kaynaklanabilir.

5.4 Ametist Kristaline Tavlama İşlemi ve Radyasyon Uygulandıktan Sonra Alınan Termoluminesans Ölçümleri

Proterm marka boru tipi fırının içersine yerleştirilen ametist kristali 60 dakika süreyle 200⁰C'de tavlama işlemine tabi tutuldu. Sonrasında kristale 300Gy X-ışını dozu verilerek $\beta=1^0\text{C/s}$ lineer ısıtma oranı için termoluminesans ölçümü alındı. Daha sonra kristal 60 dakika süreyle 400⁰C'de tavlama işlemine tabi tutuldu ve kristale 1800Gy X-ışını dozu verilerek $\beta=1^0\text{C/s}$ ısıtma oranı için termoluminesans ölçümü alındı. Bu ölçümler alınırken $\beta=1^0\text{C/s}$ oranı için ametist kristali 50⁰C-400⁰C sıcaklık aralığında ısıtıldı. Termoluminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı grafiği çizilerek parıldama eğrileri elde edildi. Elde edilen bu parıldama eğrilerine göre değişken tavlama sıcaklıkları ve değişen doz miktarlarının etkisi incelendi. Bu parıldama eğrilerine pik şekli metodu kullanılarak aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri belirlendi.

Çizelge 5.6 ve çizelge 5.7'de farklı tavlama sıcaklıklarına ve farklı doz miktarlarına maruz bırakılan ametist kristalinin termoluminesans ölçümü sonucunda elde edilen parıldama eğrilerine pik-şekli metodu uygulanarak belirlenen aktivasyon enerjisi, frekans faktörü ve parıldama eğrisinin maksimum şiddeti ve maksimum sıcaklık değerleri verildi.



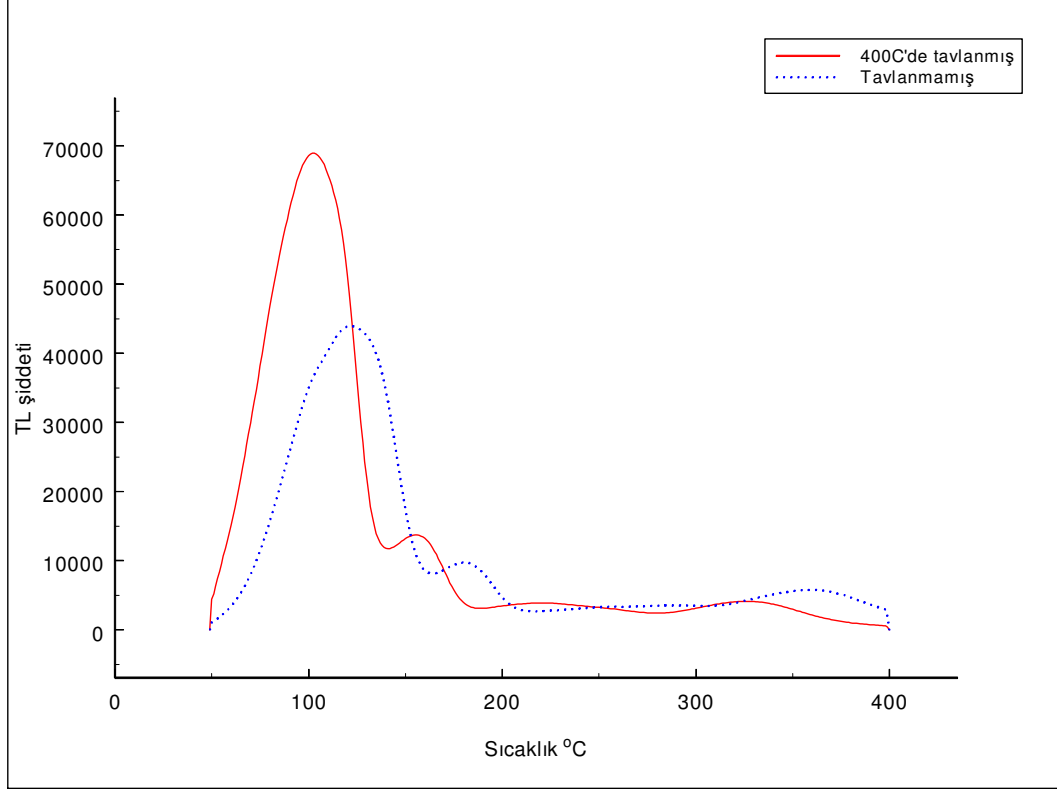
Şekil 5.12 200⁰C tavlama sıcaklığında 300Gy X-ışın dozu verilerek elde edilen parıldama eğrisi ve 300Gy X-ışın dozu verilerek elde edilen parıldama eğrilerinin karşılaştırılması

Çizelge 5.6 200⁰C tavlama sıcaklığında 300Gy X-ışın dozu verilerek $\beta=1^0$ C/s ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri

Pik	I_M	$T_M(^0C)$	$E_\tau(eV)$	$E_\delta(eV)$	$E_\omega(eV)$	$s_\tau(s^{-1})$	$s_\delta(s^{-1})$	$s_\omega(s^{-1})$
1	15117.97	102	0.51	0.62	0.60	3.5×10^5	1.3×10^7	6.2×10^6
2	2934.54	165	1.60	1.48	1.55	2.4×10^{17}	9.5×10^{15}	7.4×10^{16}

200⁰C tavlama sıcaklığında 300Gy doz verilen ametist kristalinin $\beta=1^0$ C/s ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinde 102⁰C ve 165⁰C maksimum sıcaklık değerlerinde pikler gözlemlendi. Birinci pikin ortalama aktivasyon enerjisi 0.57eV, ortalama frekans faktörü $6.5 \times 10^6 s^{-1}$ ve ikinci pikin ortalama aktivasyon enerjisi 1.54eV, ortalama frekans faktörü $1.0 \times 10^{17} s^{-1}$ olarak hesaplandı.

Ametist kristali 200⁰C sıcaklığında 60 dakika tavlaniıp 300Gy X-ışın dozu verildikten sonra $\beta=1^0\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinin 300Gy X-ışını dozuna maruz bırakılan ve $\beta=1^0\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisi ile kıyaslandı. Parıldama eğrilerinin TL şiddetinin ve sıcaklığının 200⁰C tavlama sıcaklığında azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.13 400⁰C tavlama sıcaklığında 1800Gy X-ışın dozu verilerek elde edilen parıldama eğrisi ve 1800Gy X-ışın dozu verilerek elde edilen parıldama eğrilerinin karşılaştırılması

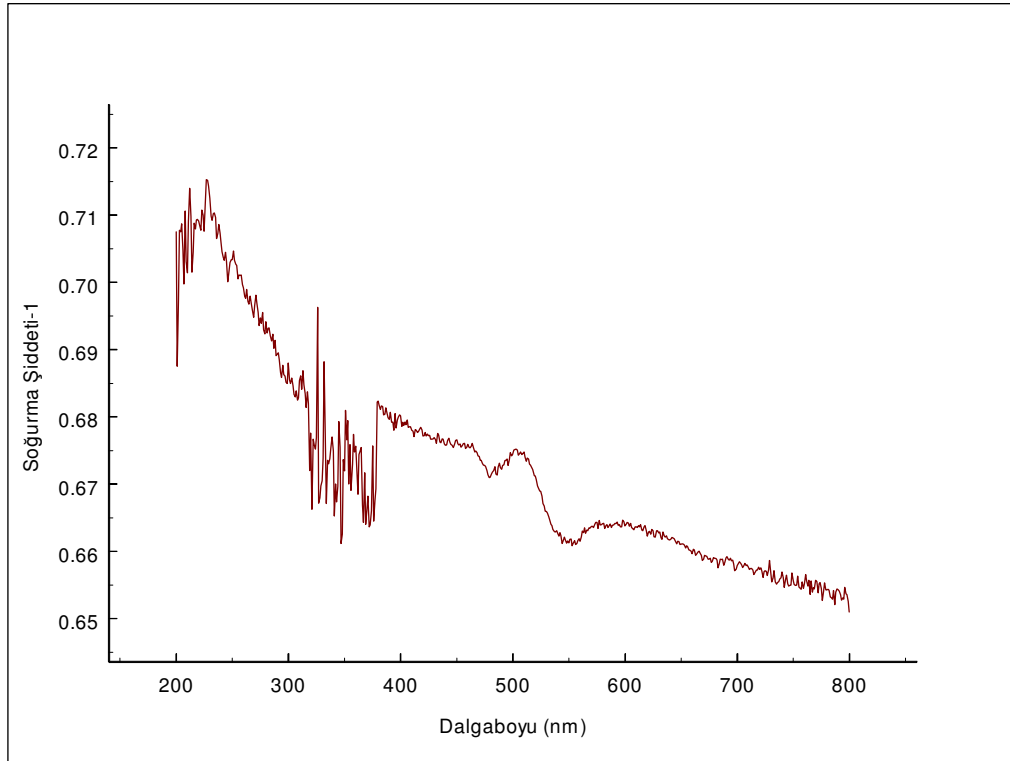
Çizelge 5.7 400⁰C tavlama sıcaklığında 1800Gy X- ışın dozu verilerek $\beta=1^0\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinin maksimum şiddeti, maksimum sıcaklığı ve kinetik parametre değerleri

Pik	I_M	$T_M(^0\text{C})$	$E_t(\text{eV})$	$E_\delta(\text{eV})$	$E_o(\text{eV})$	$s_r(\text{s}^{-1})$	$s_\delta(\text{s}^{-1})$	$s_o(\text{s}^{-1})$
1	68989.22	102	0.56	0.61	0.58	1.6×10^6	8.2×10^6	3.7×10^6
2	13761.97	155	2.00	1.74	1.87	4.2×10^{22}	3.1×10^{19}	1.1×10^{21}

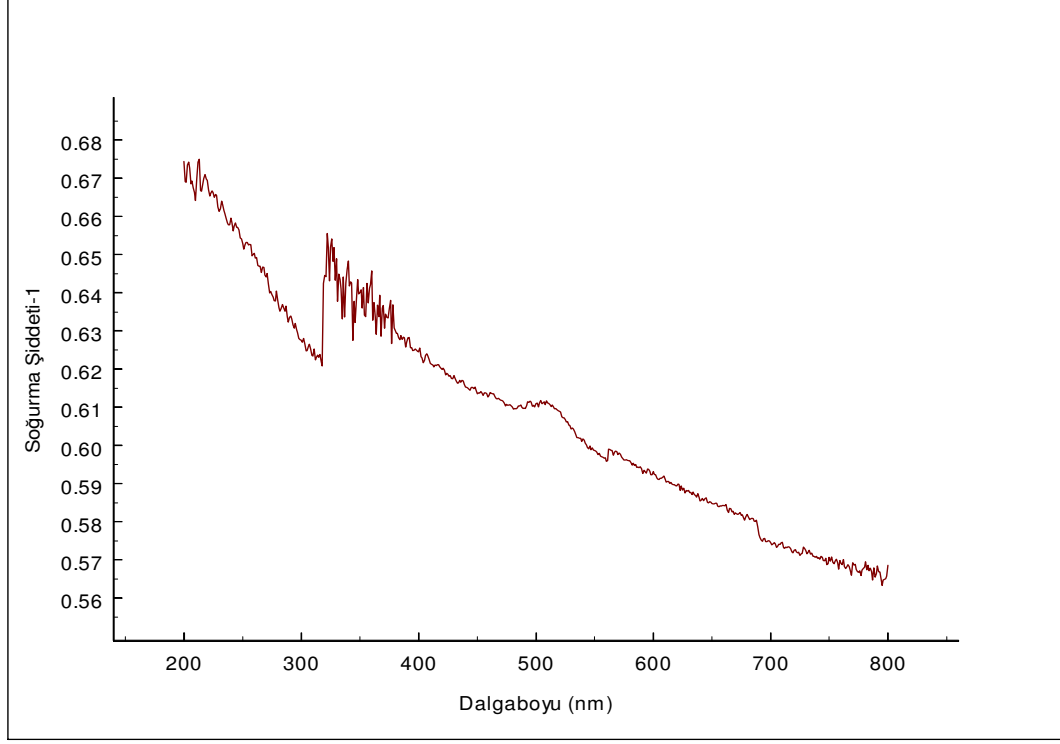
400°C tavlama sıcaklığında 1800Gy X-ışın dozuna maruz bırakılan ametist kristalinin $\beta=1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinde 102°C ve 155°C maksimum sıcaklık değerlerinde iki pik gözlemlendi. Yapılan hesaplamada birinci pikin ortalama aktivasyon enerjisi 0.58eV, ortalama frekans faktörü $4.5 \times 10^6 \text{s}^{-1}$ ve ikinci pikin ortalama aktivasyon enerjisi 1.87eV, ortalama frekans faktörü $1.4 \times 10^{22} \text{s}^{-1}$ olarak bulundu. Ametist kristali 400°C sıcaklığında 60 dakika tavlanyıp 1800Gy X-ışın dozu verildikten sonra $\beta=1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisinin 1800Gy X-ışını dozuna maruz bırakılan ve $\beta=1^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma oranı için elde edilen parıldama eğrisi ile kıyaslandı. Ametist kristalinin 400°C sıcaklığındaki tavlama işleminde TL parıldama şiddetinin ve sıcaklığın artışı gözlenmektedir.

5.5 Optiksel Soğurma İşlemi

Ametist kristali soğurma ölçümü için Perkin Elmer marka Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresi kullanıldı. Daha sonra Perkin Elmer UV WinLab bilgisayar programında 200nm-800nm dalga boyu aralığı ve 1nm ölçüm aralığı için ayarlandı. Elde edilen ölçüm verileri axum programı ile grafik haline getirildi.



Şekil 5.14 Ametist kristalinin soğurulma bandı



Şekil 5.15 Ametist kristalinin soğurulma bandı

Ametist kristaline herhangi bir radyasyon işlemi uygulamadan optik soğurulma ölçümleri alındı. Burada elde edilen grafiklerden soğurma bant değerleri belirlendi.

Ametist kristaline optik soğurulma işlemi iki kez yapıldı. Buna göre Şekil 5.14'teki soğurulma grafiğinde 228nm dalga boyunda dar ve 466nm-530nm dalga boyu aralığında ise geniş soğurulma bandı gözlemlendi. Son olarak uygulanan optiksel soğurma işleminde Şekil 5.15'de 360nm dalga boyunda dar ve 450nm-530nm dalga boyu aralığında geniş soğurulma bantları elde edildi. Elde edilen bu soğurulma bantlarına göre ametist kristalinin yapısının silisyum dioksit olmasıyla birlikte SiO_2 yapısında bulunan safsızlık atomlarından bu soğurulma bantlarının oluştuğu söylenebilir.

Ametist kristalinin optik soğurulma sonucunda soğurulma bant değerlerinin ultraviyole spektrumuna yakın dalga boylarında çıkmasından dolayı renginin mor menekşemsi olduğu söylenebilir.

BÖLÜM VI

SONUÇLAR

Ametist kristalinin termolüminesans ölçümleri sonucunda elde edilen parıldama eğrileri ve bu eğrilerden yararlanarak farklı doza maruz bırakılan, farklı ısıtma oranlarında ısıtılan ve farklı tavlama sıcaklık işlemlerine tabi tutulan kristalin bu durumlar için belirlenen kinetik parametreleri incelendi.

Ametist kristaline tavlama ve radyasyon işlemi uygulamadan önce farklı ısıtma oranları için TL parıldama eğrileri elde edildi. Yaklaşık olarak 270⁰C sıcaklık civarındaki tüm sığ tuzakların boşaldığı ve 270⁰C sıcaklık değerinden daha yüksek sıcaklıklarda var olan derin tuzaklarda tuzaklanan elektronların ısıtma oranının artmasıyla azaldığı gözlemlendi.

Ametist kristaline farklı oranlarda X-ışın dozu verildikten sonra farklı ısıtma oranlarına göre elde edilen parıldama eğrilerine göre ısıtma oranı arttıkça TL şiddetinin azaldığı ve parıldama eğrilerinin yüksek sıcaklıklara doğru bir kayma oluşturduğu görüldü.

Elde edilen parıldama eğrilerinde iki pik oluştuğu gözlemlendi. Bu parıldama eğrilerine pik şekli metodu uygulanarak aktivasyon enerjisi birinci pik için 0.53eV-0.77eV, ikinci pik için 1.60eV-2.44eV aralığında bulundu. Frekans faktörü birinci pik için $8.2 \times 10^5 \text{s}^{-1}$ - $2.3 \times 10^9 \text{s}^{-1}$, ikinci pik için $5.5 \times 10^{17} \text{s}^{-1}$ - $8.0 \times 10^{29} \text{s}^{-1}$ aralığında hesaplandı.

Ametist kristalinin kinetik parametrelerinin farklı ışınlama dozları ve farklı ısıtma oranlarına göre farklı değerler aldığı görüldü. Doz miktarı arttıkça kinetik parametre değerleri de artmaktadır.

Simülasyon sonucunda alınan veriler ile hesaplanan değerler kıyaslandığında sonuçların farklı değerler aldığı görülmektedir. Bunun nedeni parıldama eğrilerinin üst üste binen piklerin olmasından ve birbirinden iyice ayrıştırılmamış olmasından kaynaklanmaktadır.

Ametist kristalinin soğurma bantlarının ve pik değerlerinin belirlenmesi için optik soğurma ölçümleri alındı. Ultraviyole-görünür-yakıninfrared bölgelerini kapsayan (200nm -800nm aralığı) optik soğurma eğrileri elde edildi. Renk merkezlerini oluşturan soğurma bantlarında 228nm ve 360nm dalga boyunda dar ve 466nm-530nm dalga boyu aralığı ile 450nm-530nm dalga boyu aralığında geniş soğurma bantlarının olduğu gözlemlendi.

Ametist kristalinin parıldama eğrilerinin TL şiddeti artan doz miktarına bağlı olarak sürekli bir lineerlik göstermesine bağlı olarak ametist kristalinin radyasyon dozimetrisinde güvenli bir şekilde kullanılabilceği tespit edildi.

KAYNAKLAR

- [1] Plath, I. and Lehmann, G., Thermoluminescence of Shock-Loaded Amethyst Quartz, *Phys Chem Minerals*, 14, 383-386, 1987.
- [2] Sunta, C. M., Feria Ayta, W. E., Kulkarni, R. N., Piters, T. M. and Watanabe, S., General-order kinetics of thermoluminescence and its physical meaning, *J. Phys. D: Appl. Phys.* Printed in the UK, 30, 1234-1242, 1997.
- [3] Sunta, C. M., Feria Ayta, W. E., Piters, T. M., Kulkarni, R. N. and Watanabe, S., Anomalies in the determination of the activation energy of thermoluminescence glow peaks by general-order fitting, *J. Phys. D: Appl. Phys.* Printed in the UK, 32, 1271-1275, 1999.
- [4] Prokic, M., Effect of lithium co-dopant on the thermoluminescence response of some phosphors, *Applied Radiation and Isotopes* 52, 97-103, 2000.
- [5] Bos, A. J. J., High sensitivity thermoluminescence dosimetry, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 184, 3-28, 2001.
- [6] Azorin et al., *Radiat. Meas.* 29, 315, 1998; *Radiat. Prot. Dosim.* 85, 317, 1999.
- [7] Sov. Phys. JETP 3, 390, 1956 and Chen J. *Appl. Phys.* 40, 570, 1969; *Electrochem. Soc.* 166, 1254, 1969.
- [8] Rivera, T., Azorin, J., Falcony, C., Martinez, E., Garcia, M., Determination of thermoluminescence kinetic parameters of terbium-doped zirconium oxide, *Radiation Physics and Chemistry* 61, 421-423, 2001.
- [9] Sunta, C. M., Ayta W. E. F., Chubaci, J. F. D. and Watanabe, S., A critical look at the kinetic models of thermoluminescence: I. First-order kinetics, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 34, 2690-2698, 2001.
- [10] Briand, D., Vinceller, S., Iacconi, P., Berkane-Krachai, A., Bilski, P., Benabdesselam, M. and Lapraz, D., LPES-CRESA, EA1174, Universite de Nice-Sophia Antipolis 06108 Nice Cedex 2, France, *Radiation Protection Dosimetry, Nuclear technology Publishing*, 100, 297-300, 2002.
- [11] Yazıcı, A. N., Öztaş, M., Bedir, M. and Kayalı, R., Determination of the Trapping Parameters of ZnS Thin Films Developed by Chemical Spraying Technique, *Turk J Phys* 26, 277-282, 2002.
- [12] Felicia, D.G. Rocha, Mercia, L., Oliveira, Sonia, G.P. Cecatti, Linda, V.E. Caldas, Properties of sintered amethyst pellets as thermoluminescent dosimeters, *Applied Radiation and Isotopes* 58, 85-88, 2003.

- [13] Yazıcı, A. N. and Öztürk, Z., Thermoluminescence properties of newly generated glow peak 3a in TLD-100 after pre-irradiation heat treatment at 150 °C, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 201, 503-512, 2003.
- [14] Olko, P., Bilski, P., Budzanowski, M. and Molokanov, A., Dosimetry of heavy charged particles with thermoluminescence detectors –models and applications, *Radiation Protection Dosimetry*, 110, 315-318, 2004.
- [15] Bilski, P., Budzanowski, M., Olko, P., Mandowska, E., LiF: Mg, Ti (MTT) TL Detectors optimised for high-LET radiation dosimetry, *Radiation Measurements* 38, 427-430, 2004.
- [16] Kasa, I., Chobola, R., Mell, P., Szakacs, S. and Kerekes, A., Preparation and investigation of thermoluminescence properties of CaSO₄: Tm, Cu, *Radiation Protection Dosimetry*, 123, 32-35, 2007.
- [17] Yazıcı, A. N., Bedir, M., Sökücü, A.S., The analysis of dosimetric thermoluminescent glow peak of CaF₂: Mn after β -irradiation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 259, 955-965, 2007.
- [18] Kitis, G., Pagonis, V., Peak shape methods for general order thermoluminescence glow-peaks: A reappraisal, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 262, 313-322, 2007.
- [19] Rasheedy, M. S., Abd-Elmageed, A.I., The validity of the two heating rates method to obtain the trapping parameters from general-order thermoluminescence glow peaks, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 68, 243-248, 2007.
- [20] Weinstein, I.A., Vokhmintsev, A.S., Kortov, V.S., Compensation effect in thermoluminescence of TLD-500, *Radiation Measurements* 43, 259-262, 2008.
- [21] Gökçe, M., Oğuz, K.F., Karalı, T. and Prokic, M., Influence of heating rate on thermoluminescence of Mg₂SiO₄: Tb dosimeter, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 42, 105412 (5pp), 2009.
- [22] Mandowski, A., Bos, A. J. J., Mandowska, E., Orzechowski, J., Monte-Carlo method for determining the quenching function from variable heating rate measurements, *Radiation Measurements*, 1-4, 2010.
- [23] J.T. Randall and M.H.F. Wilkins, *Proc. Roy. Soc. A* 184, 366, 1945.
- [24] G.F.J. Garlick and A.F. Gibson, *Proc. Roy. Soc.* 60, 574, 1948.
- [25] C.E. May and J.A. Partridge, *J. Chem. Soc.* 40, 1401, 1964.
- [26] B.M. Ilich, *Sov. Phys. Solid State*, 21, 1880, 1979.
- [27] F. Aramu, P. Brovetto, and A. Rucci, *Phys Left.* 23, 308, 1966.

- [28] K.H. Nicholas and J. Woods, Br. J. Appl. Phys. 15, 783, 1964.
- [29] S.W.S. McKeever, Phys. Status Solidi a, 62, 331, 1980.
- [30] H. Gobrecht and D. Hofmann, J. Phys. Chem. Solids 27, 509, 1966.
- [31] C. Muntoni, A. Rucci, and A. Serpi, Ricerca Scient. 38, 762, 1968.
- [32] F. Urbach, Winer Ber. Ila 139, 363, 1930.
- [33] A. Bohum, Czech. J. Phys. 4, 91, 1954.
- [34] I.A. Porfianovitch, J. Exp. Theor. Phys. USSR 26, 696, 1954.
- [35] A.H. Booth, Canad. J. Chem. 32, 214, 1954.
- [36] W. Hoogenstraaten, Philips Res. Rep. 13, 515, 1958.
- [37] R. Chen and S.A.A Winner, J. Appl. Phys. 41, 5227, 1970.
- [38] R.K. Gartia, S. Ingotombi, T.S.G. Singh, and P.S. Mazmudar, J. Phys. D: Appl. Phys. 24, 65, 1991.
- [39] N. Takeuchi, K. Inabe, and H. Nanto, J. Mater. Sci. 10, 159, 1975.
- [40] L.I. Grossweiner, J. Appl. Phys. 24, 1306, 1953.
- [41] R. Chen, J. Appl. Phys. 40, 570, 1969.
- [42] L.I. Lushihik, Soviet Phys. JEPT 3, 390, 1956.
- [43] A. Halperin and A.A. Braner, Phys. Rev. 117, 408, 1960.
- [44] R. Chen, J. Electrochem. Soc. 116, 1254, 1969.
- [45] M. Balarin, Phys. Status Solidi a, 54, K137, 1979.
- [46] Physical, Chemical and Structural Properties of Amethyst, <http://en.wikipedia.org/wiki/Amethyst>.
- [47] McKeever, S.W.S., 1985, Thermoluminescence of Solids, Cambridge University Press, London.
- [48] Vij, D.R., 1998, Luminescence of Solids, Plenum Pres, New York.
- [49] McKeever, S.W.S., Moscovitch, M., Townsend, P.D., 1995, Thermoluminescence Dosimetry Materials: Properties and Uses, Nuclear Technology Publishing, Kent.
- [50] Pagonis, V., Kitis, G., Furetta, C., 2006, Numerical and Practical Exercises in Thermoluminescence, Springer Pres, New York.
- [51] Furetta, C. and Weng, P.S., 1998, Operational thermoluminescence dosimetry, World Scientific, Singapore, River Edge, N.J.
- [52] Chen, R. and McKeever, S.W.S., 1997, Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena: Singapore: World Scientific.