

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Krizopnas ve Rodonit'in Termolüminesans Özellikleri

Nurcivan Şentürk BAYRAKTAR

Erzincan Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Orhan İÇELLİ

Ortak Danışman: Yrd .Doç.Dr.Rana KİBAR

Bu çalışmada, Rodonit($MnSiO_3$) ve Krizopnas(SiO_2) minerallerinin TL özelliklerinin olup olmadığı incelenmiştir. Bu çalışmalar yapılırken lüminesansın bir dalı olan termolüminesans tekniğini kullanılmıştır. Rodonit($MnSiO_3$) ve Krizopnas(SiO_2) minerallerinin ısıtma hızı ile ışınlama süresinin değişimi incelenmiş olup ışıma eğrilerinden faydalananarak ve farklı metotlar kullanılarak elde edilen kinetik parametreler hesaplanıp karşılaştırılmıştır.

2010, 58 sayfa

Anahtar kelimeler: Rodonit($MnSiO_3$), Krizopnas(SiO_2), termolüminesans, lüminesans, kinetik parametreler.

ABSTRACT

Master Thesis

Chryzopraz and Rhodonite thermoluminescence properties

Nurcivan Şentürk BAYRAKTAR

Erzincan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Doç. Dr. Orhan İÇELLİ

Co-supervisor: Asist. Yrd.Doç.Dr.Rana KİBAR

This study, TL properties of Chryzopraz (SiO_2) and Rhodonite (MnSiO_3) minerals have been investigated. During this study, TL technique was used. According to “Heating rate” versus radiation duration the spectrum was recorded and also kinetic parameters were investigated by means of different techniques.

2010, 58 pages

Keywords: Rhodonite (MnSiO_3), Chryzopraz (SiO_2), thermoluminescence, luminescence, kinetic parameters

TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışmalar sırasında bana bilgi ve tecrübeleriyle yardımcı olan ve yol gösteren danışman hocam Sayın Doç .Dr.Orhan İÇELLİ'ye saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

TL ölçümlerinin alınması sırasında cihazın çalıştırılması, kullanılması ve alınan ölçümlerin değerlendirilmesinde benden yardımlarını ve her türlü desteğini esirgemeyen varlığını her zaman yanımda hissettiğim ikinci danışmanım, çok değerli hocam Sayın Yrd.Doç.Dr Rana KİBAR' a teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca değerli bilgilerinden faydalandığım hocalarım sayın Prof. Dr. Nurdoğan CAN ve Sayın Yrd.Doç.Dr Ahmet ÇETİN 'e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı yaparken hiçbir zaman yardımını esirgemeyen yüksek lisans arkadaşım Deniz GÜNGÖR' e de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım anneme ve babama, biricik eşime ve oğluma sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Nurcivan Şentürk BAYRAKTAR

(Ağustos,2010)

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
SİMGE VE KISALTMALAR.....	
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Neden Termolüminesans?.....	1
1.3. Neden Rodonit ve Krizopnas.....	2
2.GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Lüminesans Nedir?	3
2.2. Lüminesansın Kullanım Alanları.....	6
2.3. Lüminesans türleri.....	7
2.4. Termolüminesans (TL).....	9

2.5. TLÖzelliği Gösteren Malzemeler.....	12
2.6. Termolüminesans Kinetikleri.....	13
2.6.1.Birinci Derece Kinetikler (Randall-Wilkins Teorisi).....	13
2.6.2.İkinci Derece Kinetikler(Garlick – Gibson Teorisi).....	15
2.7.Termolümnesans Metodları Ve Analizleri.....	16
2.7.1.Isıtma Hızları Farkını Kullanma Metodu.....	17
2.7.2.Pik Şekli Yöntemi (CHEN metod- yarı genişlik metodu)	18
2.7.3.Lokelize Olmuş Enerji Seviyelerinin Optiksel	
Soğurma ve Lüminesansı.....	22
2.7.4. Soğurma Katsayısının Ölçülmesi.....	23
2.8.Mineraller.....	24
2.9.Minerallerin Özellikleri ve Tanınması.....	25
2.9.1.Yoğunluk.....	25
2.9.2.Elastikiyet.....	25
2.9.3.Sertlik.....	26
2.9.4.Dilinim.....	27
2.9.5.Kırınım.....	27
2.9.6.Renk.....	27
2.9.7.Parlaklık.....	28

2.9.8.Elektrik	29
2.10.Rodonit (Rhodonite)	9
2.11.Krizopras (Chrysoprase)	31
3.MATERYAL VE METOD.....	32
3.1.Termolüminesans Dozimetre (TLD) Okuyucu Sistemi.....	32
3.2. TLD Reader-Analyser Sistem Bilgisi.....	33
3.3. Optiksel Soğurma Sistemi.....	38
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Katı bir madde içindeki elektron geçişleri ve lümİnesans işlemleri.....	4
Şekil 2.2 Fluoresans ve Fosforesans.....	5
Şekil 2.3 Sıcaklık ve termolümİnesans şİddeti arasındaki bağıntı.....	11
Şekil 2.4 Birinci ve ikinci derece kinetikler için TL ışıma piklerinin karşılaştırılması.....	16
Şekil 2.5 Geometrik şekil nicelikleri τ , δ ve ω	19
Şekil 2.6. Dolaylı geçişler için soğurma katsayısı ile foton enerjisi arasındaki ilişki.....	23
Şekil 3.1 Termolümİnesans ölçümleri için kullanılan, Celal Bayar Üniversitesi Fizik Bölümünde bulunan ölçüm sisteminin şematik gösterimi.....	33
Şekil 3.2 Termolümİnesans olayını gerçekleyen makine.....	36
Şekil 3.3 X-Işınına maruz bırakılan örneğin yerleştirildiği alüminyum bloktan yapılmış oda.....	37
Şekil 3.4 Perkin Elmer marka Lambda 950 UV-VIS-NIR Spektrofotometres.....	38
Şekil 4.1 Rodonit mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan	

sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları.....	40
Şekil 4.2 Rodonit mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan	
sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları.....	41
Şekil 4.3 Rodonit mineralinin 30 dk X ışınına maruz kaldıktan	
sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları.....	42
Şekil 4.4 Krizopras mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan	
sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları.....	44
Şekil 4.5 Krizopras mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan	
sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları.....	45
Şekil 4.6 Krizopras mineralinin 30 dk X ışınına maruz kaldıktan	
sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları.....	46
Şekil 4.7 Rodonit mineralinin 2°C/s ısıtma hızında zamana bağlı	
değişim grafiği.....	48
Şekil 4.8 Rodonit mineralinin 5°C/s ısıtma hızında zamana bağlı	
değişim grafiği.....	48
Şekil 4.9 Rodonit mineralinin 7°C/s ısıtma hızında zamana bağlı	
değişim grafiği.....	49
Şekil 4.10 Rodonit mineralinin 10°C/s ısıtma hızında zamana	
bağlı değişim grafiği.....	49

Şekil 4.11 Krizopras mineralinin 2°C/s ısıtma hızında zamana

bağlı değişim grafiği..... 50

Şekil 4.12 Krizopras mineralinin 5°C/s ısıtma hızında zamana

bağlı değişim grafiği.....50

Şekil 4.13 Krizopras mineralinin 7°C/s ısıtma hızında zamana

bağlı değişim grafiği..... 51

Şekil 4.14 Krizopras mineralinin 10°C/s ısıtma hızında zamana

bağlı değişim grafiği..... 51

Şekil 4.15 $\ln(T_M/2/\beta)$ nın $1/T_M$ ye oranından elde edilen enerji

değeri grafikleri.....52

Şekil 4.16 Krizopnas mineralinin optiksel soğurma grafiği..... 55

Şekil 4.17 Rodonit mineralinin optiksel soğurma grafiği..... 55

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1 Rodonit mineralinin kimyasal,fiziksel,optiksel özelikleri ve kristal yapısı.....	30
Tablo 2.2 Krizopnas mineralinin kimyasal,fiziksel özellikleri ve kristal yapısı.....	31
Tablo 4.1 Rodonit mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumlarının veri tablosu.....	40
Tablo 4.2 Rodonit mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumlarının veri tablosu.....	41
Tablo 4.3 Rodonit mineralinin 30 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumlarının veri tablosu.....	42
Tablo 4.4 Krizopras mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumlarının veri tablosu.....	44
Tablo 4.5 Krizopras mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumlarının veri tablosu.....	45
Tablo 4.6 Krizopras mineralinin 30 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumlarının veri tablosu.....	46
Tablo 4.7 Rodonit ve Krizopnas minerallerinin 10 dk-20 dk 30 dk ışınlama sürelerine göre farklı metotlarla hesaplanan enerji değerlerinin gösterildiği tablo.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

B	Kinetik derece
CL	Katodoluminesans
β	Lineer ısıtma hızı
E	e ile tuzak derinliği arasındaki enerji farkı(aktivasyon enerjisi)
EL	Elektrolüminesans
I_t	Fosforesans yayılım şiddeti
k	Boltzman sabiti
N	Materyaldeki tuzaklanmış elektron sayısı
n_0	t_0 anında tuzaklanmış elektron sayısı
OSL	Optiksel olarak uyarılmış lüminesans
PL	Fotoluminesans
τ	Termodinamik açıdan T sıcaklığında geçen ortalama zaman
s	Frekans faktörü
p	Tuzaktan kaçma olasılığı
T	Mutlak sıcaklık

T_M	Maksimum sıcaklık
$T_{1,2}$	T_M 'nin her iki tarafındaki sıcaklıklar
S	Işığın toplam integrali
RL	Radyolüminesans
TL	Termolüminesans
$MnSiO_3$	Radonit
SiO_2	Krizopras

1.GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Günümüzde radyoaktivite ile ilgili uygulamalar yaşantımızın birçok alanında yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır. Radyoaktivite uygulamaları ve radyasyon ölçümü, fizik, kimya, biyoloji, tıp, metalurji, tarih, arkeoloji ve jeoloji gibi birçok bilimsel ve teknik alanda kullanılmaktadır. Çevresel radyasyonun ölçümü, bilimsel araştırmaların çoğunda önemli bir yere sahiptir. Yapılan çalışmalarda ölçümü yapılacak olan radyasyon dozu, radyasyona maruz kalan canlı organizmanın veya bir malzemenin aldığı radyasyon miktarının ölçümü ile belirlenmektedir(Yüksel, 2008). Radyasyon dozunun, doğrudan ya da dolaylı olarak ölçülmesine dozimetrik ölçüm, dozu belirlemeye yarayan ölçü aletlerine de dozimetre denir. Lüminesans olayı dozimetrik amaçla birçok kullanım alanı bulmuştur. Araştırmayı hedeflediğimiz çalışmada lüminesansın bir dalı olan termolüminesans tekniğini kullanarak Rodonit ($MnSiO_3$) ve Krizopnas (SiO_2) minerallerinin dozimetrik özelliklerinin olup olmadığını inceleyeceğiz. Ayrıca bu çalışma ısı yoluyla uyartılmış ışıma (TL) materyalinin fiziksel özelliğinin belirlenmesinde büyük öneme sahip aktivasyon enerjilerinin Rodonit ($MnSiO_3$) ve Krizopnas (SiO_2) mineralleri üzerinde araştırılmasını kapsamaktadır. Farklı metotlarla elde edilen kinetik parametreler hesaplanıp karşılaştırılacaktır.

1.2. Neden Termolüminesans?

Radyoaktif ışınlar, özellikle yarı iletken maddelerle etkileşimleri sonucu madde yapısında bulunan kusur veya kirliliklerden dolayı bazı kalıcı fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana getirirler. İşte bu değişiklikleri araştırabilmek amacı ile kullanılan fiziksel tekniklerden biri olan termolüminesans, bir lüminesans türüdür.

Bazı iletken ve yalıtkan maddeler ısıtıldıkları zaman ışıma yaparlar. İşte bu fiziksel olaya “ısıtma ile ışıma” anlamına gelen termolüminesans (TL) denir. Bu yöntem 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(Yüksel,

2008). Madde içinde biriken bu enerji , maddenin 300°C – 500°C ye kadar ısıtılma durumunda ışık olarak çıkar. Çıkan ışık miktarı maddenin biriktirdiği radyasyon enerjisi miktarına bağlıdır. Ne kadar çok enerji birikirse o kadar çok ışık çıkar. Hiç enerji birikmemiş ise veya biriken enerji herhangi bir nedenle, örneğin ısınma ile boşalmış ise, doğal olarak hiç ışık görünmeyecek yani hiç *TL* olmayacaktır. Demek oluyor ki *TL* , maddenin etkileştiği toplam radyasyon miktarı (dozu) sonucunda biriken enerjinin ve bu enerjinin birikmesi için geçen sürenin dolaylı bir ölçüsüdür. Yöntemin temel problemi bu sürenin bulunmasıdır.

İşte biz bu çalışmada daha önce katodoluminesansı (*CL*) ve Radyoluminesansı (*RL*) araştırılmış olan Rodonit ($MnSiO_3$) ve Krizopnas (SiO_2) minerallerinin termoluminesans (*TL*) özelliklerini incelemeyi hedefliyoruz.

1.3.Neden Rodonit ve Krizopnas ?

Doğal yoldan oluşmuş, inorganik, karakteristik bir atomik iç yapısı (kristal yapısı), belirli bir kimyasal bileşimi (formül) olan, sabit veya belirli sınırlar içinde değişebilen fiziksel özellikleri olan maddelere mineral denir.

Tüm minerallerin kendilerine özgü renk, parlaklık, sertlik, kristal yapısı ve optik özellikleri mevcuttur. Bu nedenle çoğu fiziksel araştırmaya konu olmuşlardır. Mineraller X-ışını, ultraviyole ışınları, katot ışınları veya benzeri iyonize radyasyona maruz kaldıklarında ısıma yaparlar. Mineralleri oluşturan kristaller çevrelerinden kaynaklanan bu ısımanın etkisiyle bünyelerinde bir miktar enerji depolarlar. Bu enerji depolanması, serbest elektronların, kristal yapı içersinde bazı nedenlerden dolayı oluşan ve tuzak olarak adlandırılan kusurlarda yakalanmasıyla meydana gelir. Bu enerji kristal yapı içersinde zaman ilerledikçe birikir. İşte Termoluminesans (*TL*), genellikle çalışılan örneğin belli bir sıcaklığa kadar sabit bir hızla ısıtılmasıyla kristal içersinde bulunan elektron tuzaklarının boşaltılması yoluyla maddede biriken enerjinin serbest bırakılması temeline dayanır. Tuzaklanmış bir elektron kristaldeki ısısal titreşimlerle çıkarılabilir. Sıcaklık miktarı arttıkça daha derin tuzaklardaki elektronların çıkarılma olasılığı artmaktadır. Elektron tuzaklarının boşaltılması sırasında yayılan lüminesans sinyali sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Karakteristik *TL* sinyali “ısıma eğrisi” adını alır. Yapılan çalışmalar da kullanılan bu ısıma eğrisi araştırmaların temelini oluşturur.

Türkiye’den çıkarılan bu iki mineralin daha önce katodoluminesansı (*CL*) ve Radyoluminesansı (*RL*) özellikleri araştırılmış olmakla beraber termoluminesans özellikleri ile ilgili fazla bilgiye ulaşamamıştır. Biz bu çalışmada $MnSiO_3$ ve SiO_2 minerallerinin dozimetrik karakterleri hakkında bilgi edinmeyi ve bu özelliklerinin endüstride kullanılabilirliğini araştırmayı amaçlıyoruz.

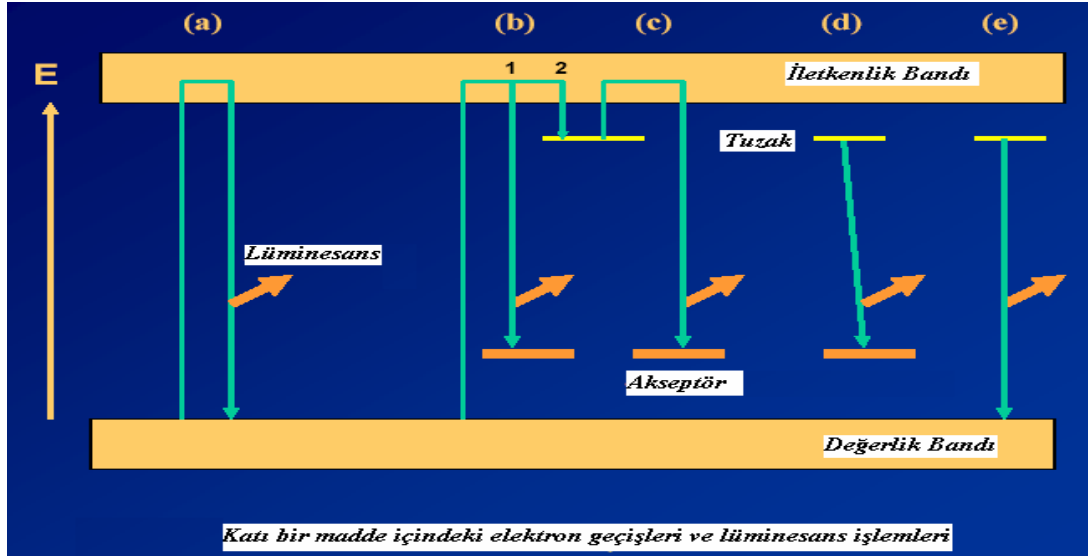
2.GENEL BİLGİLER

2.1.Lüminesans Nedir?

Bir malzeme herhangi bir şekilde radyasyona maruz kaldığında, gelen enerjinin bir kısmı soğurulur ve daha uzun dalga boylu bir ışık olarak geri yansır (Stokes Kanunu). Bu işlem lüminesans olarak isimlendirilir. Bu koşullarda ışık yayınlayan bir malzeme, lüminesent malzeme veya fosfor olarak bilinir. Yayınlanan ışığın dalga boyu gelen radyasyona değil malzemeye özgüdür. Lüminesans olaylarının çoğu, görünür ışığın salınımıyla ilgilenmektedir fakat mor ötesi ve kızıl ötesi gibi diğer dalga boyları da salınabilir.

Radyasyon ile ışınlama boyunca kristal örgüye aktarılan enerji kristaldeki elektronları uyaracak ve lüminesans merkezlerinde tuzaklanmasına sebep olacaktır.

Lüminesans merkezinin türüne ve bulunduğu konuma göre, farklı yollarla lüminesans oluşabilir.



Şekil 2.1 Katı bir madde içindeki elektron geçişleri ve lüminesans işlemleri

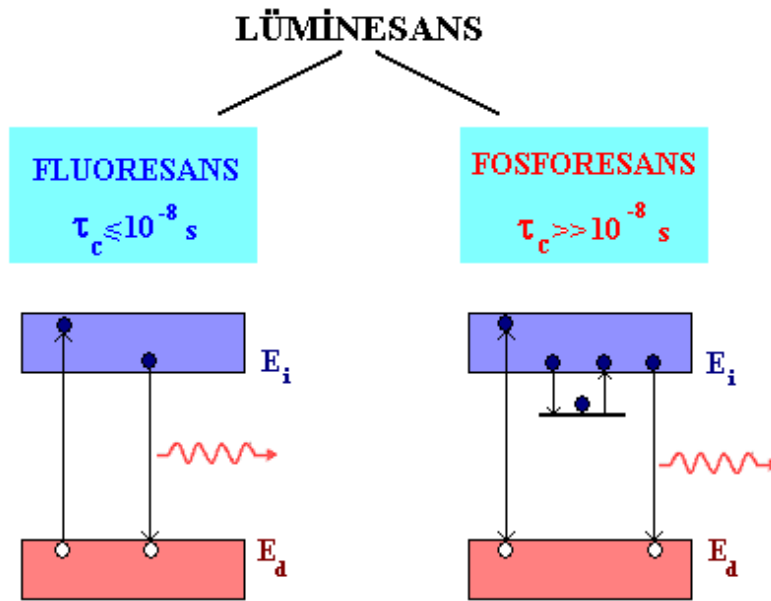
Farklı yollarla oluşan lüminesans;

- a) Uyarma enerjisinin soğurulması sonucunda elektronun önce iletkenlik sonra da değerlik bandına geçerken oluşan lüminesans,
- b) Uyarılma enerjisinin 1 ve 2 durumlarından yeniden birleşme merkezleri (akseptör) seviyelerine geçişinde ışın yayınlanması,
- c) Tuzak seviyelerinden iletkenlik bandına ve yine oradan yeniden birleşme merkezlerine (akseptörlere) geçişte ışın yayınlanması,
- d) Tuzaklardan akseptörlere geçiş sonrasında ışın yayınlanması,
- e) Tuzaklardan doğrudan değerlik bandına geçiş ile oluşan lüminesans,

Lüminesans işlemi özellikle malzeme içerisindeki elementlerin enerji seviyeleri hakkında bilgi vermektir. Bu bilgi sayesinde örneklerin kristal yapısı hakkında da bilgi edinilmektedir. Lüminesans geniş bir terimdir; atomların uyarıldığı metotlara ve uyarılan seviyelerin ömür sürelerine göre gruplandırılabilir (Çetin, 2007).

Mineraller X-ışını, ultraviyole, katod ışınlarına veya benzeri iyonize radyasyona maruz kaldıklarında ışınım yaparlar. Işığın yayılımı radyasyonun soğurulmasından sonra

karakteristik τ_c zamanında gerçekleşir ve bu bizim lüminesans sürecini sınıflandırabilmemize yardımcı olur. Bir başka deyişle; lüminesans süresi elektronların bir seviyeden başka bir seviyeye geçiş süresi ile belirlenir. Yayımlanma ömrü olarak bilinen bu zaman τ_c ile gösterilir ve malzemeye özgüdür. Foton emisyonu uyarılmış bir seviyeden taban duruma olan doğrudan bir geçişten kaynaklandığında meydana gelen ve 10^{-8} s veya daha kısa süren lüminesans fluoresans olarak isimlendirilir. Uyarma durdurulduktan sonra devam eden lüminesans ise fosforesans adını alır. Bu tür özellik gösteren malzemelere verilen genel isim “fosforlar” dır. Fosforların lüminesansı yaklaşık 10^{-7} s den başlayıp dakikalar hatta saatlerce sürebilir. Dolayısıyla yayımlanma ömrüne göre, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, lüminesans ikiye ayrılabilir(Vij, 1998).



Şekil 2.2 Fluoresans ve Fosforesans

$\tau_c < 10^{-8}$ s değeri, aslında fluoresans salınımının kendiliğinden meydana geldiğini gösteren bir tanımdır. Fluoresans salınımı, radyasyonun soğurulması ile aynı anda meydana gelen ve radyasyonun kesilmesiyle derhal duran işlem olarak tanımlanmaktadır. Öte yandan fosforesans, soğurulan radyasyon ile maksimum şiddete ulaşması için geçen süre (t_{max}) arasındaki gecikme ile karakterize edilmektedir. Buna ilaveten fosforesansın, uyarılma

kaldırıldıktan sonra bir süre devam ettiği görülmektedir. Şüphesiz, gecikme zamanı τ_c 1s mertebesinde. Fosforesans olarak sınıflandırmak kolaydır. Bununla birlikte çok daha kısa süreli gecikmeler için, fluoresans ile fosforesans arasındaki ayrımı yapmak daha zordur. Fluoresans ile fosforesans arasındaki farkı ayırt etmenin tek yolu lüminesansın bozunumu üzerine sıcaklığın etkisini incelemektir. Fluoresans, aslında sıcaklıktan bağımsızdır oysa ki fosforesans bozunumu, güçlü bir sıcaklık bağımlılığı sergiler. Fluoresans, fosforesans ve termolüminesans salınımları ile radyasyon soğurulması arasındaki ilişkiler. T_0 ışınlamanın meydana geldiği sıcaklık; β ısıtma hızı; t_r ışınlamanın son bulduğu ve fosforesans bozunumunun başladığı zamanı göstermektedir (Akın, 2009).

2.2.Lüminesansın Kullanım Alanları

- Tarihlemede,
- Arkeolojik ve jeolojik örneklerin tarihlendirme işleminde,
- Göktaşlarının tarihlendirilmesinde,
- Kum tepelerinin tarihlendirilmesinde,
- Radyasyon doz ölçümünde,
- Personel dozimetride,
- Çevresel dozimetride,
- Gıda radyasyonunun belirlenmesinde,
- Numune içinde az rastlanan elementlerin (safsızlıklar) saptanmasında,
- Sağlık ve biyomedikal uygulamalarda,
- İnsan sağlığına etki eden minerallerin analizinde,
- İnsan tırnakları, dişleri ve saçı ile radyasyon doz tayininde,
- Tarımda,
- Adli bilimlerde,
- Endüstride,
- TV görüntüsünde,
- Kirlenmiş sularda,
- Lüminesan materyaller kullanan fabrikalarda,
- Binaya zarar veren yangınlarda,
- Uranyum madenlerinde,

- Endüstri ve sağlık alanlarında kullanılır.

2.3.Lüminesans türleri

Lüminesans yayımlanma ömrüne göre gruplandırılabilirdiği gibi, uyarma yöntemlerine göre de gruplandırılır:

- **Katodölüminesans (CL) :** Uyarılmanın bir elektron demeti kullanılarak gerçekleştiği lüminesans türüdür. CL, elektrolüminesansa benzemekle birlikte burada farklı olan nokta katodoüminesans olayında elektron, yalıtılmış şekilde hareket ederken, elektrolüminesansda elektriksel deşarj ile uyarılma sağlanır.
- **Radyölüminesans (RL) :** Nükleer uyarılmanın γ ve X ışını gibi radyasyonlar yardımıyla gerçekleştiği lüminesans türüdür. Radyölüminesans olayında, diğer tekniklerden farklı olarak malzeme, X-ışınlarına maruz bırakılır ve deney boyunca malzemeye gelen radyasyon kesintiye uğramaz. X-ışınları malzemenin tüm yüzeyine nüfus ettiği için bu yöntem bize malzemenin hacimsel kısımları hakkında bilgi verir. CL oluşturmak için kullanılan alfa ve beta parçacıklarına göre daha büyük nüfuz etme derinliğine sahiptir.
- **Termölüminesans (TL) :** Uyarılmanın ısıtarak gerçekleştiği lüminesans türüdür.
- **Fotölüminesans (PL) :** Görünür veya mor ötesi ışıkların uyarılmasıyla gerçekleşen lüminesans türüdür. Malzemenin ışık ile etkileşmesi sonucu meydana gelen fotölüminesans, gelen ışık demeti sayesinde oluşan elektron-boşluk çiftlerinin yeniden birleşmesi ile meydana gelir. Yüksek uyarma enerjilerine sahip CL ile karşılaştırıldığında fotölüminesans daha küçük enerjilere ve lüminesans şiddetine sahiptir. CL sistemindeki elektron enerjisi 20 keV e kadar çıkabilirken, bir UV lambasından elde edilen foton enerjileri 2-5 eV civarındadır. Floresans ve fosforesans olayları fotölüminesansın özel durumlarıdır.
- **Tribölüminesans :** Mekanik enerji kullanılarak veya sürtünme yoluyla uyarılmanın gerçekleştiği lüminesans türüdür. Kırılarak, esnetilerek veya kopararak ayrılan

yüzeylerde, ayrılan yüzeyler arasında ince hava tabakası içinde iki yüzey üzerinde zıt yüklerin üretilmesi nedeniyle bir elektrik boşalması oluşur. Malzemenin parçalanması yöntemi içinde, harcanan mekanik enerji uyarılma enerjisini sağlar ve karanlık içinde gözlenebilen bir kızarıklığa neden olabilir. Bu işlem “tribolüminesans” olarak bilinir. Bazı yapışkan bantların, karanlık içinde atmosfer azotunun içinde elektrik boşalması nedeniyle mavi bir ışık yayması buna bir örnektir.

- **Elektrolüminesans (EL)** : Elektrik alan kullanılarak uyarılma gerçekleştiği lüminesans türüdür. Hava moleküllerinin uyarılması, elektrik boşalması içinde enerjili elektronların oluşmasına neden olur. Bu sırada aydınlanma yoktur. Hava içinde sadece parıldamalar yani “elektrolüminesans” meydana gelir. Elektrik alanının neden olduğu elektrolüminesans olayına dayanılarak, modern floresans tüplerinin çalışma prensibi, elektrik boşalması nedeniyle fosforların içinde ışığın yayılması olayının geliştirilmesine dayanır .

- **Sonulüminesans** : Yüksek frekanslı ses dalgaları veya fononlarla uyarımının gerçekleştiği lüminesans türüdür.

- **Optiksel olarak uyarılmış lüminesans (OSL)** : Radyasyona maruz kalmış malzemenin UV veya IR ile uyarılmasıyla elde edilen ışık yayınlanmasıdır. Malzeme, görünür veya kızıl ötesi (IR) ışığa maruz kaldığında, ışınlama sonucu oluşan tuzaklanmış elektronlar serbest kalırlar.

- **İyonlüminesans veya iyon demeti lüminesansı**: Malzemenin belli enerjiye sahip iyon demeti ile bombardımanı sonucu oluşan lüminesans türüdür. Bu olayda genellikle 3 MeV’a kadar olan protonlar kullanılır. Derinlik olarak yaklaşık 40 µ kadar gidilebilir. Malzemedeki safsızlıkların belirlenmesi için oldukça yararlıdır.

- **Biyolüminesans** : Yaşayan veya ölü doğal organik maddelerin lüminesansı kimyasal lüminesans kategorisine girmektedir. Bu süreçte, maddenin havadaki oksijen veya su ile kimyasal reaksiyonu uyarılma için gerekli olan enerjiyi sağlayacaktır.

2.4.Termolüminesans (*TL*)

Termolüminesans olayı ilk kez 17. yy' da Robert Boyle (1663) tarafından gözlenmiştir. Boyle karanlık bir odada avucunun içersinde ısıttığı elmasın parlaklığının görülebilen bir ışık biçiminde dağıldığını gözlemiştir. Daha sonra Kuvars mineralinin termolüminesans incelemeleri Du Fay (1738) tarafından gerçekleştirilmiştir. Radyoaktivitenin keşfinden sonra flüorit kristalindeki *TL* olayı Becquerel (1885) tarafından tespit edilmiştir. Literatürde ilk defa "Termolüminesans" ismini kullananlar Wiedemann ve Schmidt'tir (Wiedeman ve ark., 1985). Wiedeman ve Schmidt'in deneyleri ile daha önce yapılan *TL* gözlemlerinin farkı; termolüminesansı laboratuvar ortamında elektron demetiyle sağlamış olmalarıdır. Devam eden süreçte birçok bilim adamı NaCl , kuvars , kalsiyum gibi minerallerin termolüminesans özelliklerini incelemişlerdi.İlk bilimsel nitelikli çalışma Morse (1905) tarafından yapılmıştır (Aitken,1985).

1923 de Lind ve Bardwell *TL* çalışmalarında radyum kullanarak bazı kıymetli taş ve saydam mineralleri incelemiştir. Daha sonra Wick ve arkadaşları seçtikleri doğal mineralleri ve sentetik fosforları X- ışını ve elektron demetiyle uyararak *TL* özelliklerini incelemiştir(Wick,1924). Steinmentz ve Gisser doğal fluorittin *TL* incelemelerini jeolojik açıdan incelemiştir ve fluorit mineralini sınıflandırmaya çalışmıştır (Steinmentz ve Gisser , 1936).

TL için temel koşul daha önceden radyasyona maruz kalmış materyalin bir yalıtkan ya da bir yarıiletken olmasıdır. Mineral içerikli kayalar, inorganik yarı iletkenler (amorf tek kristal ve poli kristal) ve yalıtkanlar, seramikler, organik bileşikler, biyolojik materyaller ve biyokimyasallar olmak üzere dielektrik materyallerin çoğunda *TL* ışıması gözlenir. LiF, CaSO₄, CaF₂, BeO, Al₂O₃, Li₂B₄O₇ gibi materyaller dozimetrideki uygulamalar nedeniyle yaygın olarak incelenen *TL* materyalleridir (Vij, 1998).

Yalıtkanların ışık yayınlaması karakteri doğal olarak oluşan minerallerin birden çok özelliği olduğunu göstermektedir. Lüminesans kristal örgü içindeki ikili oluşumların bir sonucudur. Minerallerin lüminesans incelemesinde büyük başarılar elde edilmesine rağmen minerallerde gözlenen lüminesans karakterleri yeterince anlaşılamamıştır. Bunun temel nedeni minerallerdeki ışıldayan sistemlerinin katı halde incelenen sentetik kristallerden

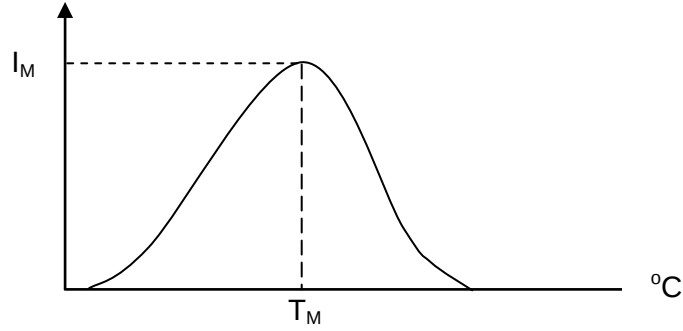
daha karmaşık olmasıdır. Lüminesans davranışları sadece lüminesans merkezlerinin türüne ve konsantrasyonlarına değil aynı zamanda soğurma, sesitizasyon ve kristal içindeki enerji transferlerine de bağlıdır. Bu nedenle minerallerde gözlenen yayınlama spektrumlarının çoğu birkaç lüminesans merkezinin üst üste binmiş karakterini içerir (Krebetschek ve ark., 1997).

Maddenin yapısındaki bozukluklardan dolayı değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki yasak enerji aralığında enerji seviyeleri bulunur. Bu enerji seviyeleri elektronlar için tuzak merkezlerini oluşturur.

Madde üzerine iyonize edici bir radyasyon geldiğinde değerlik bandındaki elektronlar aldıkları uyarılma enerjisi nedeniyle iletkenlik bandına uyarılırlar. İletkenlik bandındaki elektronlar çarpışmalar nedeniyle enerjilerinin bir kısmını kaybederek değerlik bandına geri dönerken, iletkenlik bandının hemen altında çeşitli derinliklerdeki tuzaklara yakalanırlar. Bu tür geçişler değerlik bandının hemen üzerinde yer alan hol tuzaklar içinde mümkündür. Tuzakların elektron sayısı soğurulan radyasyonun dozuyla orantılıdır. Oda sıcaklığında sığ tuzaklardaki elektronların bazıları iletkenlik bandına geri geçebilirler. Fakat derin tuzaklardaki elektronlar uzun süre burada kalabilirler. Madde ısıtıldığı zaman tuzaklardan kaçan elektronlar daha düşük enerji seviyelerine geçerlerken sahip oldukları fazla enerjiyi görünür bölgede ışık olarak yayımlayarak geri verirler. Buna termolüminesans denir. Termolüminesans olayının gerçekleştiği maddelere fosfor denir. Fosforlar gündüz aldıkları ışıkları gece dışarıya yayarlar. Bunun nedeni, güneş ışığında uyarıldıklarında ışığın valans bandından iletkenlik bandına geçip tuzaklarda depo edilmesi ve ışısız ortamda yayınlanmalarıdır.

TL deneylerinde, fosferesansın düşük olduğu sıcaklıklarda ışınlama yapılır ve bunun ardından fosferesansın parlak olduğu sıcaklık değerine kadar ısıtılır. Isı ile uyarılmış bütün yükler örneği yarı-kararlı düzeylerinin dışına uyarır ve belirli bir süre sonra lüminesans tamamen kaybolur. 300 °C sonra gözlenen ışık şiddeti, örnek ve/veya ısıtıcıdan gelen (kırmızı ötesi) siyah cisim ışımasından kaynaklanmaktadır.

Kısacası termolüminesans, herhangi bir radyasyona maruz kalmış malzemenin kusur bölgelerinde tuzaklanan taşıyıcıların termal olarak bırakılması ile meydana gelir. Belli sıcaklıklarda, bu tuzaklardaki taşıyıcıların yaşam ömrü çok uzun olabilir.



Şekil 2.3 Sıcaklık ve termolüminesans şiddeti arasındaki bağıntı

Tuzaklardan salınan yüklerin sıcaklığa bağıllığı,

$$-\frac{dn}{dt} = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.1)$$

ile ifade edilebilir. Burada n_0 , $t = 0$ da tuzaklanan yük konsantrasyonu, s tuzaktaki yüklerin titreşim frekansı, E tuzak derinliği ve k Boltzman sabitidir.

Genellikle yalıtkan bir malzeme, “düşük” bir sıcaklıkta iyonize radyasyonla karakteristik olarak uyarılmaktadır. Bu aşamanın sonunda malzeme lineer bir ısıtma hızıyla ısıtılır. Bu süreç, “readout” aşaması olarak bilinmektedir. Bu aşamada, sıcaklık derece derece artırılmaktadır ve sıcaklığın (veya zamanın) bir fonksiyonu olarak ışık salınımı, ışığa duyarlı bir fotoçoğaltıcı dedektör kullanılarak kaydedilmektedir. Sıcaklığın fonksiyonu olarak salınan bu ışık, termolüminesans “ışım eğrisi” olarak bilinen eğriyi ortaya çıkarır. Normal olarak ışım eğrisinin şekli, bazıları üst üste binebilen bir veya daha fazla pikten oluşur. Işım eğrisinin şekli ışığa duyarlı alete ve özellikle de onun spektral yanıtına bağlıdır. Ayrıca malzeme dedektör arasına farklı filtreler konulması halinde bile ışım eğrisi farklı görünebilir. Aynı zamanda TL ışım eğrisinin şekli kullanılan ısıtma hızına da bağlıdır. Isıtma işleminin sonunda örnek hızlı bir şekilde soğutulur (Chen ve McKeever, 1995). Elde edilen bu parıldama eğrilerinin analizi tuzak derinliği, frekans faktörü ve yeniden birleşme spektrumları gibi bazı yararlı bilgileri verir.

2.5.TL Özelliği Gösteren Malzemeler

- Mineral içerikli kayalar
- İnorganik yarı iletkenler ve yalıtkanlar
- Camlar ve seramikler
- Organik bileşikler
- Biyolojik materyaller
- Biyokimyasallar

LiF, CaSO₄, CaF₂, BeO, Al₂O₃, Li₂B₄O₇ gibi materyaller dozimetride yaygın olarak kullanılan TL materyalleridir.

2.6.Termolüminesans Kinetikleri

Bir *TL* malzemenin sıcaklığa veya zamana karşı verdiği emisyon ışıma eğrisi, olarak adlandırılır ve bir veya daha fazla ışıma piklerinden oluşur. Işıma pikleri çeşitli yollarla analiz edilir. Temel termolüminesans teorisi, deneysel *TL* piklerin tanımlanabilmesi için iki ifade öngörür. Bu ifadeler;

- Randall ve Wilkins'ın birinci derece kinetik teorisi
- Garlick ve Gibson'ın ikinci derece kinetik teorisidir.

Bununla birlikte birinci ve ikinci derece kinetiklere uymayan fakat bu ikisi arasındaki kinetik derecelere karşılık gelen bir şekle sahip pek çok yayınlanmış deneysel ışıma pikleri vardır. Bu aradaki kinetik dereceleri tanımlamak için tamamen deneysel verilere dayanan bir teori May ve Partridge tarafından önerilmiştir. *TL* ışıma piklerinin şekli, konumu ve şiddeti *TL* salınımından sorumlu olan tuzaklama parametreleri ile ilgilidir. Bu parametreler, frekans faktörü s (s^{-1}), aktivasyon enerjisi E (eV) ve kinetiklerin derecesi b 'yi kapsar.

2.6.1.Birinci Derece Kinetikler (Randall-Wilkins Teorisi)

1945'te Randall ve Wilkins tarafından ışıma eğrisindeki her bir pik için matematiksel sunumlar kullanıldı. Bunun için aşağıdaki varsayımlarda bulunuldu.

- ✓ Fosforun yeterince düşük sıcaklıktaki ışıması sonucu hiç elektron çıkmaz.
- ✓ Sabit hızda ısıtma sonucu sıcaklık artar (Wu ve ark.,2002).

Randall-Wilkins'ın teorisi birinci derece kinetiğini ve tek tuzak derinliğini kabul eder. Yani; tamamen ayrılmış (yalıtılmış) bir TL piki için yeniden tuzaklanmanın olmadığı durumu göz önüne alır ve tuzaklanmış elektronların konsantrasyonu ile orantılı olan bir TL şiddetinin olduğunu varsaymaktadır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki TL yoğunluğu (I) tuzaktan çıkış hızıyla doğru orantılıdır.

Bu durum genellikle birinci derece kinetikler olarak bilinmektedir. $T(^{\circ}K)$ sıcaklığında birim zaman (s) başına elektronların serbest kalma hızı;

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

ile verilmektedir. Burada;

I : (keyfi değer) TL şiddeti

n : $t(s)$ anında tuzaklanmış elektron konsantrasyonu

k : (eVK^{-1}) Boltzmann sabitidir.

Birinci derece kinetikler için TL şiddetini tanımlayan denklem:

$$I(T) = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[-\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right] \quad (2.3)$$

ile verilir (Şekil 2.7). Burada;

β : (Ks^{-1}), dT/dt lineer ısıtma hızı

n_0 : (cm^{-3}), T_0 ($^{\circ}K$) sıcaklığında tuzakların konsantrasyonudur.

Birinci derece kinetiklerin maksimum koşulunu veren ifade:

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(\frac{E}{kT_M}\right) \quad (2.4)$$

olur ve aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir;

- ✓ Sabit ısıtma hızında T_M daha yüksek sıcaklıklara kayar E artar ya da s azalır.
- ✓ Belirli bir tuzak için (E ve s sabit) ısıtma hızı arttıkça T_M daha yüksek sıcaklıklara kayar.

2.6.2.İkinci Derece Kinetikler(Garlick – Gibson Teorisi)

1948de Garlick ve Gibson serbest yük taşıyıcıların tuzaklanma yada TL merkezlerine birleşme durumunu göz önüne aldı. İkinci derece kinetik terimi tekrar tuzaklanmanın baskın olduğu durumu göstermek üzere kullanıldı. Yeniden tuzaklanma sürecini göz önüne alan Garlick ve Gibson, TL şiddetinin, tuzaklanmış elektronların konsantrasyonunun karesi ile orantılı olduğunu varsaymışlardır. Bu durum ikinci derece kinetikler olarak ifade edilmektedir. $T(^{\circ}K)$ sıcaklığında birim zaman başına elektronların serbest kalma hızı:

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^2}{N} s e^{-\frac{E}{kT}} \quad (2.5)$$

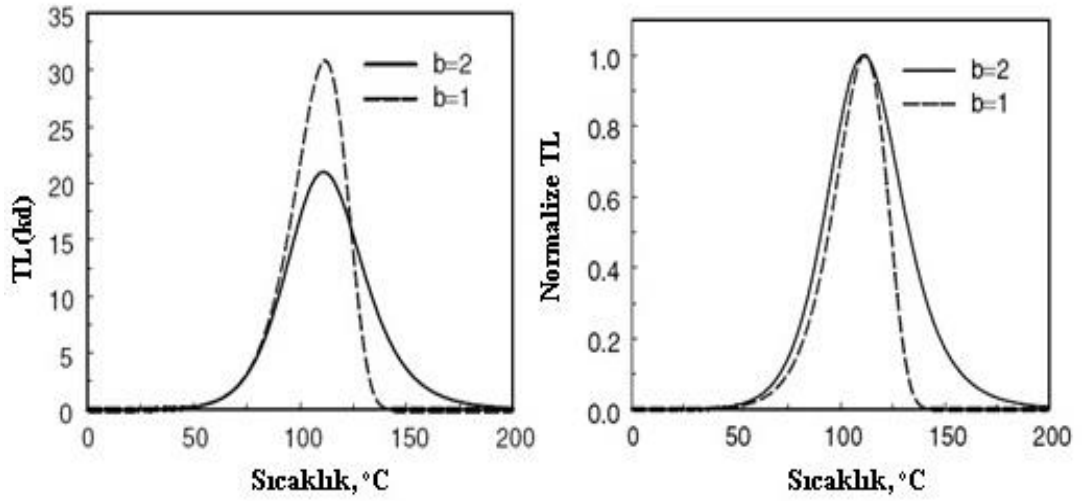
ile verilir. Burada $N(m^{-3})$, tuzakların konsantrasyonudur. Bu denkleme göre ikinci derece kinetikler için TL tanımlayan denklem:

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

ile verilmektedir (Şekil 2.4). Maksimum koşulu veren ifade:

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(\frac{E}{kT_M}\right) \left[1 + \left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad (2.7)$$

olur. İkinci dereceden kinetikte T_M %1 artmaktadır. Birinci derece kinetikten farkı ışığın den daha yüksek sıcaklıklarda üretilmesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Çünkü tuzaklanma elektron çıkışı geciktirmektedir. Dahası sabit bir E değerinde β artarken ya da s' azalırken T_M artar. Sabit β da ise T_M sonuçları E ile doğru orantılıdır (Furetta ,1998).



Şekil 2.4 Birinci ve ikinci derece kinetikler için TL ışıma piklerinin karşılaştırılması. $E = 1 \text{ eV}$, $s = 10^{-12} \text{ s}^{-1}$, $n_0 = N = 10^3 \text{ m}^{-3}$ parametreleri kullanılmıştır (ikinci grafik normalize durumu göstermektedir).

2.7. Termoluminesans Metodları Ve Analizleri

E tuzak derinliği enerjisi, r kinetiklerin mertebesi ve s frekans faktörü gibi tuzaklanma parametrelerinin bir fosforun TL özellikleri üzerine etkilerini anlamak mümkündür. Bu parametrelerin bilinmesi fosfordaki TL doğasının anlaşılması için oldukça önemlidir. Bu parametreleri deneysel olarak belirlemek için birçok teknik vardır. Bu parametrelerin değişik teknikler kullanarak deneysel olarak belirlenebilmesine rağmen, başlangıç yükselmesi (initial – rise) metodu haricinde diğer metodlarda aşamaların tamamıyla

yorumlanması oldukça zordur. Ama yine de TL kinetikler denklemleri tam doğrulukla yazılabilir ve çözümleri ortaya çıkarılabilir. TL analizleri sadece katının yapı hatalarını değil mobilite, lüminesans verimi ve bant yapısı gibi sıcaklığa bağlı parametrelerinin oldukça iyi belirlenebilmesiyle anlamlı olur. Genel olarak materyal bir tek lüminesans tepesi yerine çok tepeli bir eğri gösterir. Analizlerden herhangi birine başlamadan önce çalışmamızda gözlemek istediğimiz tepelyi bu tepeyle üst üste gelmiş komsu tepelerden izole ederiz. Bu izolasyon metodu değişik araştırmacılar tarafından temizleme tekniği (cleaning- technique) olarak adlandırılır. Bu teknikle çalışmada göz önüne alınan tepeden daha düşük tepeleri ortadan kaldırmak için uygun bir termal durum tercih edilir. TL tepesi yüksek sıcaklıkta ısıtma, oda sıcaklığında optik beyazlatma ya da yaklaşık frekanslı foto uyarım ile de izole edilebilir. TL parametrelerini ortaya çıkarmak için geliştirilen analizlerin değişik metotları hep ısıtma oranı, eğri altındaki bölge ölçümleri, parlaklık eğrisi şekli, eğri fit etme tekniği ve parlaklık eğrisinin başlangıç pozisyonu gibi parametreleri baz alır.

2.7.1. Isıtma Hızları Farkını Kullanma Metodu

Isıtma oranı b , TL eğri maksimumu T_M 'nin konumu üzerinde kesin bir etkiye sahiptir.

Farklı β_1 ve β_2 lineer oranlarını alıp bunlara karşılık gelen T_{M1} ve T_{M2} pik sıcaklıklarını bularak ve

$$E = kT_M \log_e \left(\frac{S_0 k T_M^2}{\beta E} \right) \quad (2.8)$$

eşitliğini kullanarak,

$$\frac{\beta E}{k T_M^2} = S_0 \exp \left(- \frac{E}{k T_M} \right) \quad (2.9)$$

bulunur. Buradan da tuzak derinliğini hesaplayabiliriz.

Ayrıca enerji değerlerini bulabilmek için aşağıdaki denklemleri kullanabiliriz;

$$E = k \frac{T_{M1} T_{M2}}{T_{M1} - T_{M2}} \ln \left[\frac{\beta_1 \left(\frac{T_{M2}}{T_{M1}} \right)^2}{\beta_2} \right] \quad (2.10)$$

$$E = k \frac{T_{M1}T_{M2}}{T_{M1} - T_{M2}} \ln \frac{I_{M1}}{I_{M2}} \quad (2.11)$$

Birkaç ısıtma hızı kullanarak ve $\ln(T_M^2 / \beta)$ nin $1/T_M$ e karşılık grafiğini çizerek düz bir çizgi halinde E/k eğimi elde edilir ve $\ln(E/sk)$ da kesişir. Bunlardan da E ve s hesaplanabilir.

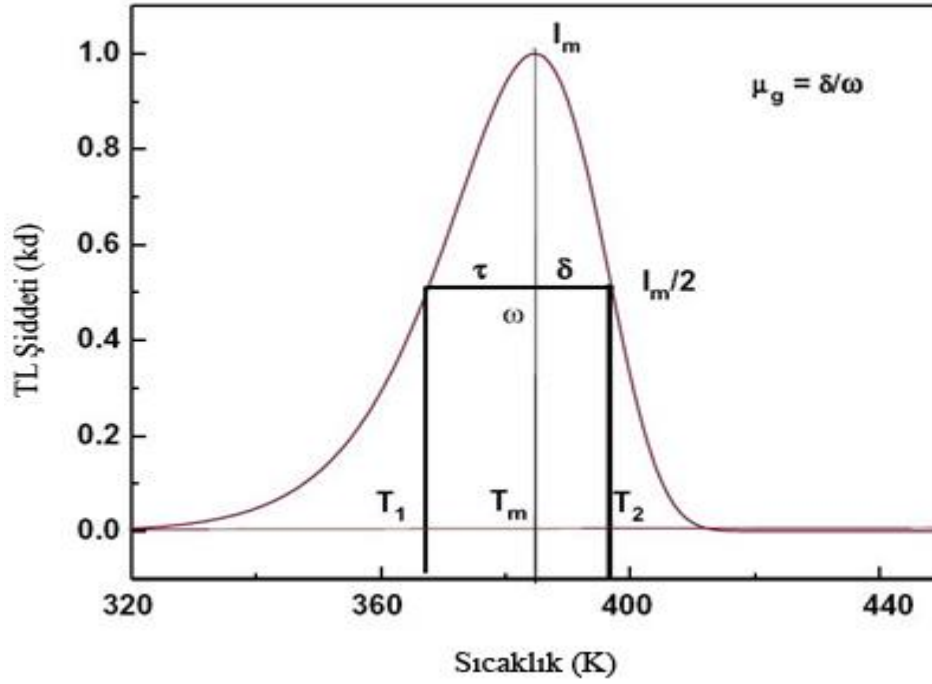
Basit bir başlangıçtan öte, E değeri bulmanın bu metodu yeniden tuzaklanma etkilerine duyarlı değildir ve hesaplanması başlangıç yükseltme metodunda olduğu gibi termal sönümleme problemlerinden etkilenmez. T_M nin değeri için β da ki değişim çok önemli değildir. Bu metot sadece % 20-30 hata olasılığıyla elde edilen bir yaklaşıktır. E , eğer sıcaklığın ölçümü 1°K lik bir hassasiyetle yapılabilirse %5 yaklaşıklıkla bulunmuş olur. Bununla birlikte üst üste gelen pikler için güvenilir sonuçlar ortaya konulamaz. T_M , pikler temizleme yöntemi ile izole edildiği zaman hissedilir derecede etkilenir (Chen ve Winer, 1970).

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = S_0 \left[1 + (r-1) \frac{2kT_M}{E} \right] \exp \left(- \frac{E}{kT_M} \right) \quad (2.12)$$

şeklinde bir eşitliği ortaya çıkarmak için genel mertebe kinetiklerini hesaba kattılar. Burada r kinetiklerin mertebesidir. $\ln(T_M^2 / \beta)$ ile $1/T_M$ arasında çizilecek olan bir grafik E' nin değerini iyi bir şekilde belirler. Bu olayın dezavantajı sadece r değerinin önceden bilinmesinin gerekmesidir. Kitis ve arkadaşları, ısıtma oranı b nin artması için farklı metotlarla hesaplanan tuzaklama parametrelerinin değerlerini gözlemişlerdir.

2.7.2. Pik Şekli Yöntemi (CHEN metod- yarı genişlik metodu)

E , s ve b kinetik parametrelerini bulmak için TL ışıma eğrisini analiz etmede kullanılan popüler bir yöntem, pikin şeklini ve geometrik özelliklerini göz önüne alır. İkinci derece kinetiklere karşılık gelen TL ışıma pikleri, hemen hemen simetrik bir şekille (biçim) karakterize edilmektedir. Oysa birinci derece pikler simetrik değildir. Şekil 2.5'de gösterilen parametreler aşağıdaki gibi tanımlanır:



Şekil 2.5 Geometrik şekil nicelikleri τ , δ ve ω .

T_M : pikin maksimumdaki sıcaklığı

T_1 ve T_2 : sırasıyla maksimum şiddetin yarısına karşılık gelen, T_M 'nin her iki tarafındaki sıcaklıklardır

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

$\delta = T_2 - T_M$: ışıma pikinin yüksek sıcaklık tarafındaki yarı genişlik

$\omega = T_2 - T_1$: toplam yarı genişlik

$\mu = \delta / \omega$: geometrik şekil veya simetri faktörü olarak bilinmektedir.

Grossweiner, tuzak derinliğini (E) hesaplamak için ışıma pikinin şeklini kullanan ilk kişiydi (Grossweiner ,1953). Onun yöntemi, maksimum şiddetteki sıcaklık T_M ve yarı şiddetteki düşük sıcaklık T_1 'e dayanmaktadır. Birinci derece kinetikleri göz önüne alarak:

$$E = 1,51k \frac{T_M T_1}{T_M - T_1} \quad (2.13)$$

elde etti. Bu ifade, E 'nin hesaplanmasında daha iyi bir doğruluk elde etmek için 1.51'lik Grossweiner katsayısı yerine 1.41 alınarak Chen tarafından deneysel olarak değiştirildi (Chen ,1969).

Luschchik de hem birinci hem de ikinci derece kinetikler için TL ışıma pikinin şekline dayanan bir yöntem önerdi (Lushihik ,1956). Yukarıda tanımlanan δ parametresini de hesaba katarak bir ışıma piki bir üçlü tarafından tahmin edilebilir. Birinci derece kinetik durum için E ifadesi:

$$E = \frac{kT_M^2}{\delta} \quad (2.14)$$

İkinci derece kinetik için Luschchik formülü:

$$E = \frac{2kT_M^2}{\delta} \quad (2.15)$$

olur. Chen, E değerinde daha iyi bir doğruluk elde etmek için (2.14) denklemini 0.978 ve (2.15) denklemini ise 0.853 ile çarparak önceki iki denklemi değiştirdi.

Halperin ve Braner, ışıma eğrisi üzerinde hem T_1 hem de T_2 'yi kullanarak farklı bir yaklaşımda bulundular (Halperin ve Brener ,1960).

$$E = \frac{1,72}{\tau} kT_M^2 (1 - 2.58\Delta_M) \quad \text{1.derece kinetik} \quad (2.16)$$

$$E = \frac{2}{\tau} kT_M^2 (1 - 3\Delta_M) \quad \text{2.derece kinetik} \quad (2.17)$$

Burada $\Delta_M = \frac{2kT_M}{E}$ 'dir.

Halperin ve Braner denklemleri, E 'ye de bağılı olan Δ_M 'nin varlığından dolayı E 'yi bulmak için tekrarlamalı (iterative) bir işleme ihtiyaç duyar. Bu zorluğun üstesinden gelmek için yeni bir yaklaşık yöntem aşağıdaki ifadeleri kullanan Chen tarafından önerildi.

$$E = 2kT_M \left(1,25 \frac{T_M}{\omega} - 1 \right) \quad \text{1.derece kinetik} \quad (2.18)$$

$$E = 2kT_M \left(1,76 \frac{T_M}{\omega} - 1 \right) \quad \text{2.derece kinetik} \quad (2.19)$$

Chen aynı zamanda E değerini bulmak için genel ifadeler de türetti (Chen, 1969). Onun yöntemi, 0.1 eV ile 2.0 eV arasında değişen geniş bir enerji aralığı için ve 10^5 s^{-1} ile 10^{23} s^{-1} arasındaki pre-exponential faktörlere sahip değerler için kullanışlıdır. Ayrıca Chen yöntemi herhangi bir tekrarlamalı işlemlere gerek duymazken, pik şeklinden bulunan μ_s simetri faktörü kullanılarak bulunan kinetik derecenin bilgisine de ihtiyaç duymaz. Denklemler şöyle özetlenebilir:

$$E_\alpha = C_\alpha \left(\frac{kT_M^2}{\alpha} \right) - b_\alpha (2kT_M) \quad (2.20)$$

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

$$C_\tau = 1,510 + 3,0(\mu - 0,42) \quad b_\tau = 1,58 + 4,2(\mu - 0,42) \quad (2.21)$$

$$C_\tau = 0,976 + 7,3(\mu - 0,42) \quad b_\tau = 0 \quad (2.22)$$

$$C_\tau = 2,52 + 10,520(\mu - 0,42) \quad b_\tau = 1 \quad (2.23)$$

Eğer $\mu_s = 0.42$ ise birinci derece TL ışıma piki olduğu söylenir. İkinci derece pikler için ise $\mu_s = 0.52$ 'dir.

2.7.3.Lokale Olmuş Enerji Seviyelerinin Optiksel Soğurma ve Lüminesansı

Kristal içinde oluşan renk değişimleri sayesinde yalıtıcılarda kusurların gözlenmesi, kullanılan tüm tekniklerin en basit ve ilgi çekici olanıdır. Elektromanyetik spektrumun görünür bölgesi 1,7 eV den 3,1 eV a kadar uzandığı için, görünür renk merkezleri sadece geniş bant aralığına sahip malzemelerde oluşabilir. Bununla birlikte, analiz metotları yarıiletken gibi daha dar bant aralığına sahip malzemelerde kızılötesi soğurma bantları ile de ilgilidir.

Değerlik bandının en üst noktasındaki dolu seviyelerin yoğunluğu yüksek olduğu için, geçiş olasılığı da bant boşluğu civarındaki enerjiler için yüksektir. Fakat dolu seviyelerin yoğunluğundan dolayı termal dalgalanma bu kenarda bir kuyruk oluşturur. Bu kuyruk şekli için yapılan analizler işlemin doğrudan mı, fonon içeren dolaylı bir geçiş mi olduğu ve iki halin yasaklanmış olup olmadığı hakkında bilgi verir(Kibar,2007).

Soğurma katsayısı μ ile $E_{foton} - E_g$ arasında şu şekilde bir ilişki vardır:

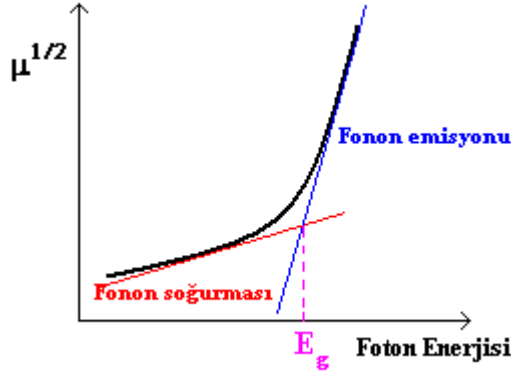
$$\mu \propto |E_{foton} - E_g|^{1/2} \quad \text{doğrudan izinli geçişler}$$

$$\mu \propto |E_{foton} - E_g|^{3/2} \quad \text{doğrudan yasaklı geçişler}$$

$$\mu \propto |E_{foton} - E_g|^2 \quad \text{dolaylı izinli geçişler}$$

$$\mu \propto |E_{foton} - E_g|^3 \quad \text{dolaylı yasaklı geçişler}$$

Dolaylı geçişler için foton enerjisi ile $\mu^{1/2}$ arasında çizilen bir grafikte bir fononun emisyon ve soğurulması ile ilgili olan farklı eğime sahip iki bölge oluşabilir (Şekil 2.15) (Townsend ve Kelly, 1973).



Şekil 2.6. Dolaylı geçişler için soğurma katsayısı ile foton enerjisi arasındaki ilişki

2.7.4. Soğurma Katsayısının Ölçülmesi

Soğurma katsayısı ifadesi kullanılmasına rağmen, pratikte belli bir dalgaboyunda bir kristalden geçen ışık miktarı ölçülmektedir. μ soğurma katsayısı olmak üzere, bir dx kalınlığı için, ışık şiddetindeki değişim

$$\begin{array}{c} \xrightarrow{I_o} \left| \begin{array}{c} I_o' \\ \xrightarrow{I_x} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} dx \\ \xrightarrow{I_t'} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} I_t' \\ \xrightarrow{I_t} \end{array} \right| \end{array}$$

$$-dI = \mu I_x dx \quad (2.24)$$

ile verilir. Şekildeki gibi, örnek sınırları içinde integral alınırsa

$$I_t' = I_o' e^{-\mu t} \quad (2.25)$$

olur. Bu ifade Beer Soğurma kanunu olarak bilinir. Bununla birlikte her bir ara yüzeyde ışığın R kadarlık bir kısmı yansıtılır. Bu yüzden toplam geçen ışık

$$I_t = I_o(1-R)^2 e^{-\mu t} + I_o(1-R)^2 e^{-\mu t} R^2 e^{-2\mu t} + \dots \quad (2.26)$$

olur. Bu geometrik bir ifadedir ve

$$I_t = \left[(1-R)^2 e^{-\mu t} / (1-R^2 e^{-2\mu t}) \right] I_o \quad (2.27)$$

şeklinde yazılabilir. $R \approx 5\%$ olan düşük yansıtıcılığa sahip malzemeler için $I_t = I_o e^{-\mu t}$ almak yeterli olur. Ancak $R \approx 20$ olan yüksek yansıtıcılığa sahip malzemelerde, soğurma ölçümleri için, ifadenin tamamı kullanılmalıdır (Kibar, 2007).

Soğurma katsayısının değeri göz önüne alınarak şu değerlendirmeler yapılmaktadır

$\mu \sim 10^6 \text{ cm}^{-1}$ ise banttan banda geçiş

$\mu \sim 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ise eksiton bantları

$\mu \sim 1-100 \text{ cm}^{-1}$ ise normal soğurma bantları

2.8. Mineraller

Mineral, doğal yollarla oluşmuş, doğada homojen halde bulunan belirli bir kimyasal formülü ve karakteristik bir atomik iç yapısı (kristal yapısı) olan, ender olarak da iki kristallik sistemi bulunan, bazen de herhangi bir kristallik sistemi olmayan, sabit veya belirli sınırlar içinde değişebilen fiziksel özellikleri olan inorganik bileşiklerin ortak adıdır. Mineraller birçok gruba ayrılır.

Doğal Elementler	Sülfidler	Sülfatlar
Halitler	Oksitler ve Hidroksitler	Arsenatlar
Nitratlar	Karbonatlar	Silikatlar
Boratlar	Fosfatlar	Vanadatlar

6 ana kristallik sistemde kristalleşir. Bu 6 ana kristallik sistemde daha küçük gruplara ayrılır. Ana kristallik sistemler şunlardır; kübik, hegzagonal, triklinik, monoklinik, tetragonal, ortorombik. Belli bir kristallik sistemi olmayan minerallere amorf denir .

TL ve *CL* gibi lüminesans teknikleri, minerallerin karakterizasyonu ve özellikle bir ev sahibi örgüde az miktardaki safsızlıklardan kaynaklanan kusur türlerini ve konsantrasyonlarını incelemek için kullanılan tekniklerdir (Zhang ve ark., 1994).

2.9.Minerallerin Özellikleri ve Tanınması

Minerallerin ayırt edici özellikleri yoğunluk, elastikiyetlik, sertlik, dilimlenebilirlik, kırınım, renk, parlaklık, elektiriksel özellikleri olarak sınıflandırabiliriz.

2.9.1.Yoğunluk

Yoğunluk, minerallerin oluşumu sırasında ısı ve basınca bağlı olarak her homojen cisim için sabit bir sayıdır. Kimyasal formülü aynı olmasına rağmen farklı kristal sisteminde kristalleşen minerallerin yoğunlukları da farklıdır. Mesela; küp sistemde kristalleşen elmasın yoğunluğu 3,5 iken aynı kimyasal formüle sahip olan ve hegzagonal sistemde kristalleşen grafitin yoğunluğu 2,1 dir. Minerallerin yoğunlukları 1 - 23 arasında değişir (Kibar, 2007).

2.9.2.Elastikiyet

Bir cisme kuvvet etkidiğinde cisim şeklini değiştirir. Cisme etki eden kuvvet ortadan kaldırıldığında cisim tekrar eski şeklini alıyorsa bu cisme elastik cisim, bu özelliğe ise esneklik denir.

Mikalar büküldüğünde tekrar eski şeklini alır. Klorit ise büküldüğü zaman, büküldüğü şekilde kalır bunlara bükülebilir mineraller denir. Aniden esneklik sınırını geçerek kırılan minerallere ise kolay kırılan mineral denir Örneğin; Kuvars

2.9.3.Sertlik

Sertlik; dıştan gelen kuvvetlerle minerallerin çizilmeye karşı gösterdiği dirençtir. Bu direnç, mineral yapısının strese karşı kırılma olmaksızın gösterdiği reaksiyondur. Sertlik mineral yapısındaki zayıf bağların tayin ettiği bir özelliktir. Örneğin SiO_4 tetrahedronlarının çeşitli düzenlerde bir araya gelmesiyle oluşan silikat grubu minerallerinde sertlik çok değişkendir (talk: 1, kuvars: 7, topaz: 8...). Öyleyse bu çeşitlilik Si ve O arasındaki bağların değil, mineral yapısındaki diğer bağların bir fonksiyonudur. Bir mineralin sertlik derecesi, bir başka mineral ile çizilip çizilmediğine bakılarak, mukayese ile anlaşılır. Sertlik sınırını geçerek kırılan minerallere ise kolay kırılan mineral denir Örneğin; Kuvars

Minerallerin sertliği Mohs sertlik cetveli olarak bilinen bir cetvelle belirlenir.

Mohs'un sertlik cetveli,

- ✓ 1 Talk Tırnak ile çizilir
- ✓ 2 Jips Tırnak ile çizilir
- ✓ 3 Kalsit Çakı ile çizilir
- ✓ 4 Florit Çakı ile çizilir
- ✓ 5 Apatit Çakı ile çizilir
- ✓ 6 Ortoklas Camı çizer-çelik ile çizilir
- ✓ 7 Kuvars Camı-çeliği çizer
- ✓ 8 Topaz Camı keser
- ✓ 9 Korund Camı keser
- ✓ 10 Elmas Herseyi çizer

Bu cetvelde en sert mineral elmas, en yumuşak mineral ise talk'tır. Bunlardan her biri kendinden öncekini çizer, sonraki tarafından ise çizilir. Diğer minerallerin sertliği bu cetvele göre belirlenir.

2.9.4.Dilinim

Minerallerin belli yönlerde, bir düzlem boyunca levhalara ayrılma özelliğidir. Dilinim bazı minerallerde belirgin bazılarında belirsizdir Bazı mineraller birden fazla dilinime sahip olabilir Bu ayrılma ve bölünme kristal yüzeylerine paralel şekilde olmaktadır.Buna göre dilinim; mineralin içyapısının sebep olduğu fiziksel bir

olaydır. Dilinim minerallerin tanınmasında kullanılan belli başlı özelliklerden birisidir.

2.9.5.Kırınım

Minerallerin kohezyon kuvvetleri belirli düzlemsel yönlerde aynı değerler taşıyorsa, dıştan gelen kuvvet etkisi altında mineral düzlemsel olmayan yüzeyli parçacıklara ayrılır. Minerali parçalamak için indirilen darbe kohezyon yönüne tam dik olmazsa mineral yarılrken düzenli olmayan yüzeyler oluşur. Bu olay kırılmadır. Minerallerin kırılması esnasında yüzeylerinde meydana gelen şekiller mineral tanınmasında önemli rol oynar. Mesela çakmaktaşı ve obsidiyen kırıldığı zaman midye kabuğu şekilli (konkoidal) kırıklı karakteristik yüzeyler meydana gelir.

2.9.6.Renk

Işığın bazı dalga boylarını yansıtma ve soğurma etme özelliğinden kaynaklanır. Bazı mineraller karakteristik bir renge sahiptir. Örneğin: Kükürt- sarı, Klorit- yeşil, Labrador mineralinin ise ışığa göre rengi değişir Diğer minerallerin renkleri ise kimyasal farklılığa veya mineral içindeki diğer elementlere bağlı olarak değişir. Ancak bazı mineraller için renk özelliği çok tipiktir.

Mineraller, renk özelliği dikkate alındığında 3 gruba ayrılırlar:

a. Renksiz Mineraller: Gelen ışığın dalga boyu ile emilen ışığın dalga boyu aynı ise; diğer bir deyişle, mineral üzerine gelen ışığın tamamı mineral tarafından emiliyorsa bu mineral renksiz görünür. Renksiz mineraller şeffaf olur. Bu tip minerallere örnek olarak; kaya tuzu, kalsit, barit, elmas verilebilir.

b.Renkli Mineraller: Mineral üzerine gelen ışıkla, emilen ışık eşit miktarda olmazsa yani ışığın bir kısmı mineral yüzeyinden yansıyarak göze gelirse, mineral kendine özgü rengini verir. Mineral renkleri, mineralin kendi maddesine veya kimyasal yapısına bağlı olduğundan önemli bir özelliktir. Mesela; kükürt sarı, zinober kırmızı, malakit yeşil, magnetit ise siyahtır. Renkli mineraller ışığı farklı yönlerde, farklı

olarak emiyorlarsa “pleokroizma” denilen çok renklilik ortaya çıkar. Bu optik özellikleri bakımından anizotrop olan renkli veya renklenen mineraller için geçerlidir.

c.Renklenen Mineraller: Mineral bünyesine, renk veren yabancı maddelerin (pigment) veya izomorf bir cismin karışması nedeniyle, karakteristik renginden farklı renk gösteren minerallere “renklenen mineraller” denir. Örneğin saf sfalerit (ZnS) beyaz renklidir. Ancak izomorf FeS etkisi ile koyu renk alır. Renksiz olan kuvars beyaz görülünce “süt kuvars”, mor renkli görüldüğünde ise “ametist” adını alır (Kibar, 2007).

2.9.7.Parlaklık

Mineral yüzeyinin ışık altındaki genel görünümüdür. Mineral cilası, kristal yüzeyinde görülen parıltıdır. Bir mineralin parlaklığı genellikle rengine bağlı değildir. Yüzeyden ışığın nasıl yansıdığını belirtir. Parlaklık daha çok mineralin yüzeyinden yansıyan ışınların kalite ve miktarına göre değişir. Parlaklığın şiddeti mineralin saydamlık ve yansıtma derecesine ve kristal yapısına bağlıdır. Diğer bir deyişle kristal yüzeylerinin veya dilinim düzlemlerinin düzgünlüğü ve pürüzsüz olması parlaklığı etkilemektedir. Minerallerde en çok görülen parlaklık tipleri şunlardır:

1. Metalik parlaklık: Galen, pirit, kalkopirit,
2. Elmas parlaklığı: Elmas, korund,
3. Camsal parlaklık: Kuvars, topaz, barit, fluorit,
4. Reçine parlaklığı: Sfalerit,
5. Sedef parlaklığı: Talk, barit,
6. İpek parlaklığı: Asbest, lifli jips,
7. Yağ parlaklığı: Kükürt, kasiterit, zirkon, nefelin, kordierit,

2.9.8.Elektrik

Mineraller iletken, yarıiletken veya yalıtkan olabilirler. Altın, gümüş ve bakır gibi element halinde bulunan mineraller elektriği iyi geçirirken, sülfidler iyi iletmezler.

Silikat mineralleri yalıtıkandır. Bazı mineraller sürtünme sonucunda elektriklenirler. Mesela kehribar veya kükürt sürtünmeyle negatif yükle elektriklenirken kuvars pozitif yükle yüklenir. Bazı mineraller ısıtma ile elektriklenirler. “Piroelektrik” adı verilen bu özelliğe sahip minerallerden birisi turmalindir. Turmalin ısıtıldığında prizmatik kristalin bir ucu negatif, diğer ucu da pozitif yükle yüklenir. Bazı minerallerden kesilen ince levhacıklar düşük voltajda kendilerine özgü salınım yaparlar. “Piezoelektrik” adı verilen bu özelliğe sahip olan minerallere örnek olarak kuvars verilebilir. Mıknatıs kutupları tarafından çekilen minerallere “paramanyetik” mineraller, itilen minerallere de “diamanyetik” mineraller denir. Bileşiminde az veya çok demir bulunan mineraller paramanyetik özellik gösterirler .

2.10.Rodonit (Rhodonite)



Pembe ve kırmızı tonlarında olan bu mineral siyah manganez oksit damarları içerisinde çıkarılmakta olan bir silikattır. Çok az miktarda manganez, demir ve kalsiyum ihtiva eden radonit Ural Dağları, İsveç, Avustralya, Kaliforniya, New Jersey başta olmak üzere dünyanın birçok yerinde çıkarılır.

Kimyasal Özellikleri

Formül	MnSiO ₃
--------	--------------------

Element	Si, Mn, O
Genel safsızlıklar	Al,Ca,Fe,Zn
<i>Fiziksel Özellikler</i>	
Parlaklık	Camsı
Geçirgenlik	Geçirgen
Renk	Kırmızı, pembe, kahverengimsi kırmızı, gri,turuncu
Sertlik	5½ - 6½
Özgöl ağırlık	3,4-3,7
<i>Kristal Yapısı</i>	
Kristal sistemi	Triklinik
Örgü parametreleri	$a = 9.75\text{\AA}$, $b = 10.49\text{\AA}$, $c = 12.2\text{\AA}$ $\alpha = 108.58^\circ$, $\beta = 102.92^\circ$, $\gamma = 82.52^\circ$
Oran	$a:b:c = 0.929 : 1 : 1.163$
Birim hücre hacmi	$V 1,150.46 \text{\AA}^3$
<i>Optik Özellikler</i>	
Türü	İki eksenli (+)
RI değerleri	$n_\alpha = 1.711 - 1.738$ $n_\beta = 1.714 - 1.741$ $n_\gamma = 1.724 - 1.751$
Çift kırılım	$\delta = 0.013$ 
Yüzey kabarıklığı	Yüksek

(Kibar, 2007)

Tablo 2.1 Rodonit mineralinin kimyasal,fiziksel,optiksel özellikleri ve kristal yapısı**2.10.Krizopras (Chrysoprase)**



Krizopras, kalsedon grubu minerallerinin en değerli taşıdır. İçinde ince kuvars lifleri bulunan radyal bir yapıya sahiptir. Yeşil renkli bu mineral nikel oksit bileşikleri içerir. Avustralya (New South Wales bölgesi), Brezilya, Hindistan, Kazakistan, Madagaskar, Rusya (Urallar bölgesi), Zimbabve, Güney Afrika, Tanzanya, ve California Krizopras mineralince zengin yataklara sahiptir.

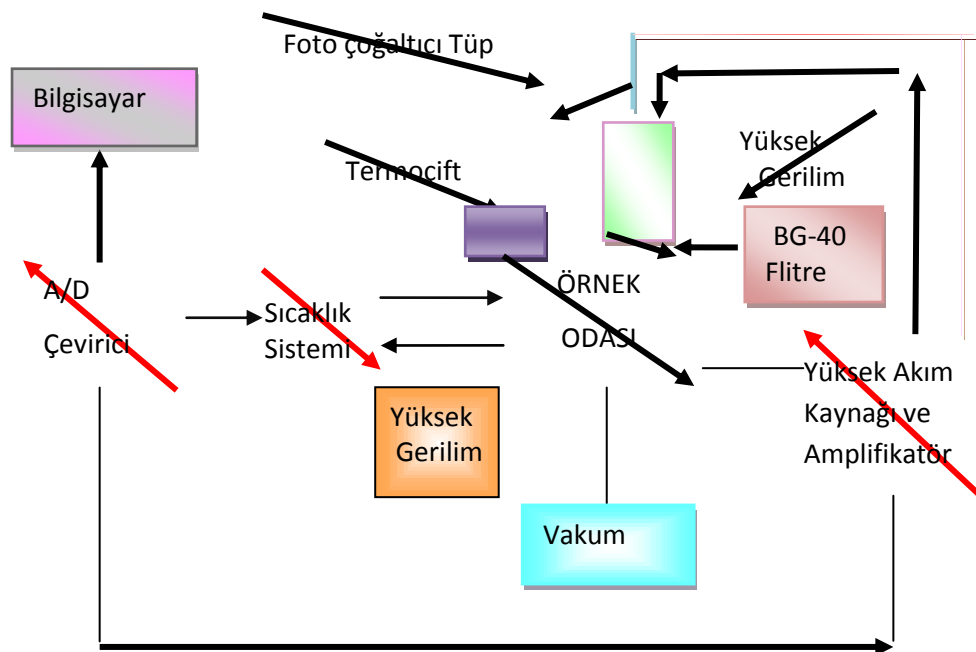
<i>Kimyasal Özellikleri</i>	
Formül	SiO ₂
Element	Si, O
Genel safsızlıklar	Ni
<i>Fiziksel Özellikler</i>	
Parlaklık	Yarı saydam
Renk	Açık yeşil, sarımsı yeşil, elma yeşili, derin yeşil
Sertlik	6 ^{1/2} -7
Özgül ağırlık	2,58-2,64
<i>Kristal Yapısı</i>	
Kristal sistemi	Hegzagonal
Kırılma endeksi	1,544-1,553

Tablo 2.2 Krizopnas mineralinin kimyasal,fiziksel özellikleri ve kristal yapısı

3.MATERYAL VE METOD

3.1.Termolüminesans Dozimetre (Tld) Okuyucu Sistemi

Celal Bayar üniversitesi fizik bölümünde bulunan Lüminesans Araştırma Laboratuvarı lisansüstü düzeyde araştırmalar yapmak amacıyla kurulmuştur. Laboratuvarı çeşitli iyonlarla aşılınmış ve katkılandırılmış yarıiletken ve yalıtkan malzemelerin ve minerallerin optiksel ve lüminesans özellikleri araştırılmaktadır. Lüminesans özelliklerin incelenmesinde laboratuvarı üç farklı lüminesans sistemi kullanılmaktadır; Radyolüminesans, Termolüminesans ve Katodolüminesans sistemleri.



şekilde seçilmiş PM ile ölçülür. PM in çıkış akımı akım-puls dönüştürücüsünde standart pulslara dönüştürülür.

- Sisteme yerleştirilmiş olan kalibrasyon ışık kaynağı sistemin hassasiyetini kolayca ve otomatik olarak sabit bir seviyeye ayarlama imkanı sağlar.
- READER modunda *TL* malzemelerinin özel bir ısıtma sistemi uygulanır ve bu şekilde ısıtma sıcaklığı üç farklı adımda arttırılır. Bu sistemin amacı sadece seçilen bir sıcaklıktaki *TL* sinyalini okumak ve başlangıçta daha sonraki kullanım için *TL* malzemesini hazırlamaktır. Her bir adımdaki sıcaklık ve zaman önce LiF:Mg,Ti için programlanır. *TL* sonucu (puls sayısı) ve sıcaklık sistemin ön kısmında bulunan LCD ekranda görülür ve paralel CENTRONICS çıkışı ile doğrudan bir yazıcıya veya RS232 seri zaman uyumsuz bir ara birim sayesinde bir PC bilgisayara gönderilebilir.
- ANALYSER modunda ısıtma levhasının sıcaklığı önceden programlanmış bir hızla lineer olarak artar veya operatör ile ayarlanır ve sayısal hale getirilen ısıtma eğrisi bilgisayara kaydedilir. Pulsların toplam sayısı ve sıcaklık LCD ekranda da görülür.
- Sistem termoelektrik sistemin hassasiyetinin kararlılığını sağlamak için bir soğutucu, *TL* malzemelerinin düşük şiddetli sinyalleri için inert gaz akış devresi ve karanlık akımı azaltmak için otomatik olarak kontrol edilen PM karanlık akım kompensasyonu içermektedir.
- Isıtma levhaları için kullanılan özel bir platin alaşım çoklu ısıtma devrelerinden sonra kararmaz.
- Yüksek hassasiyetli düşük *TL* şiddetlerinin ölçülmesi için, %0.1 den daha az oksijen içeren sıkıştırılmış inert gaz (nitrojen veya argon) tüpü gerekir.
- RA94 TLD Reader-Analyser in eşsiz özelliği ölçülen *TL* şiddetine karşılık değişebilir akustik bir sinyal üretilmesidir. Bu özellik özel uygulamalar için önemli bir amaç olduğunu kanıtlar.

Sistemin Temel Özellikler

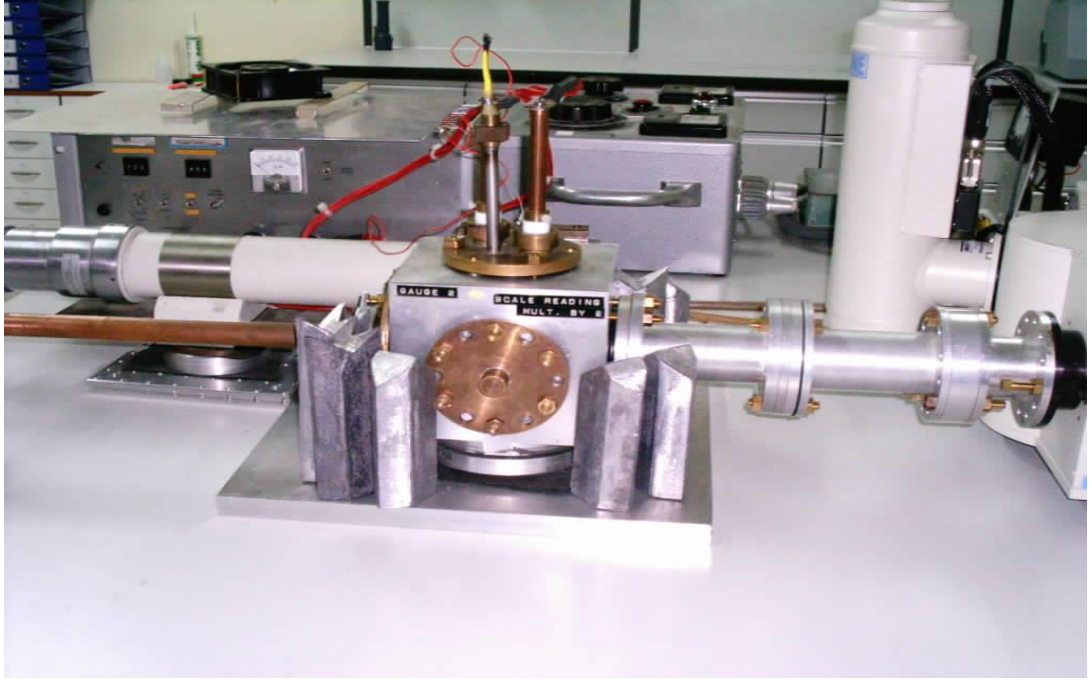
1. Duyarlık: Referans ışık kaynağı ile programlanabilir
2. Hassasiyet: $\pm$ %2 S.D. (bir pelletin multiple sonucu için)
3. Kararlılığı: 8 saat çalışması boyunca $\pm$ %2 den daha iyi
4. Okuma zamanı: READER modunda : 3-180 s
ANALYSER modunda : 25-4000 s
XREADER modunda : max toplam zaman 45 s
5. Üç Adımlı Isıtma: 20-400 °C arasında ayarlanabilir sıcaklıklar
Her bir döngü zamanı 1-60 s arasındadır.
6. Max. Isıtma Sıcaklığı: 400 °C ye kadar ayarlanabilir.
7. Lineer Isıtma Hızı: Saniyede 0.5-10 (6) °C arasında ayarlanabilir.
8. Veri Çıkışı: LCD ekran
Paralel CENTRONICS çıkış (yazıcıya)
Seri RS-232 (bilgisayara)
9. Ölçüm Aralığı: Elle ayarlanabilir modda 7...
10. Yüksek Güç Kaynağı: Otomatik ayarlama
11. Isıtma Levhası: Dayanıklı ve sağlam platin alaşım
12. TL Dedektör Büyüklüğü: 12 mm den küçük
13. Güç Kaynağı Gerilimi: 230 V / 60 Hz
14. Güç Tüketimi: max 0 V A
15. Ortam Sıcaklığı: 10-28 °C (Güneş ışığına maruz bırakmayınız ve herhangi bir ısıtıcının yakınına yerleştirmeyiniz)
16. Boyutları: 365x155x372 mm
17. Ağırlığı: Yaklaşık olarak 14 kg.



Şekil 3.2 Termolüminesans olayını gerçekleyen makine

- 1- LCD 4 haneli ekran
- 2- Çalıştırma düğmeleri
- 3- İnert gaz akışı ayarları için kullanılan rotametre
- 4 -Isıtma levhası, kontrol ışık kaynağı ve ısıtma güç birimi içeren çekmece
- 5- Mod kontrolü ve programlama anahtarları

Örnek odası X-ışını tüpünden gelen radyasyonu kabul edilebilir doz seviyesine düşürmek için yeterince kalın alüminyum malzemedен imal edilmiştir. X-ışınının örnek odasına geldiği pencereye yerleştirilen özel bir sistem sayesinde X-ışını, sistem kapatılmadan istenildiği zaman kesilmektedir.



Şekil 3.3 X-Işınına maruz bırakılan örneğin yerleştirildiği alüminyum bloktan yapılmış oda.

Deney esnasında X-ışını ile ışınlama su soğutmalı Machlett OEG-50A tüp yardımıyla yapılmaktadır. Bir tungsten hedef içerir ve 0,1 mm alüminyum filtreli 1mm kalınlığında berilyum pencereye sahiptir. Sistem 50 kV a kadar çalıştırılabilmekte akımda 20 mA a kadar çıkabilmektedir. Ancak deneyde maksimum seviye 30kV ve 15 mA olarak tutulmuştur. Bu çalışma modunda, tüp bağlantılarında bir elektriksel kontak olma riski minimumdur. X-ışını tüpünün önüne bir kurşun blok yerleştirilmiştir. Bu herhangi bir şekilde tüpün açık unutulduğu bir anda özellikle numune değiştirirken deneyi yapan kişinin radyasyon almasını önlemek amacıyla son derece yararlı olmaktadır. Ayrıca diğer bir güvenlik sistemi, eğer suyun akış hızı dakikada 4 litreden daha az bir seviyeye inerse sistem gücünü otomatik olarak kesmekte ve X-ışını ünitesi çalışmamaktadır.

3.3. Optiksel Soğurma Sistemi

Optiksel soğurma ölçüm işlemleri gösterilen Şekil 3.4 Perkin Elmer marka Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresi ile gerçekleştirildi.



Şekil 3.4 Perkin Elmer marka Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresi

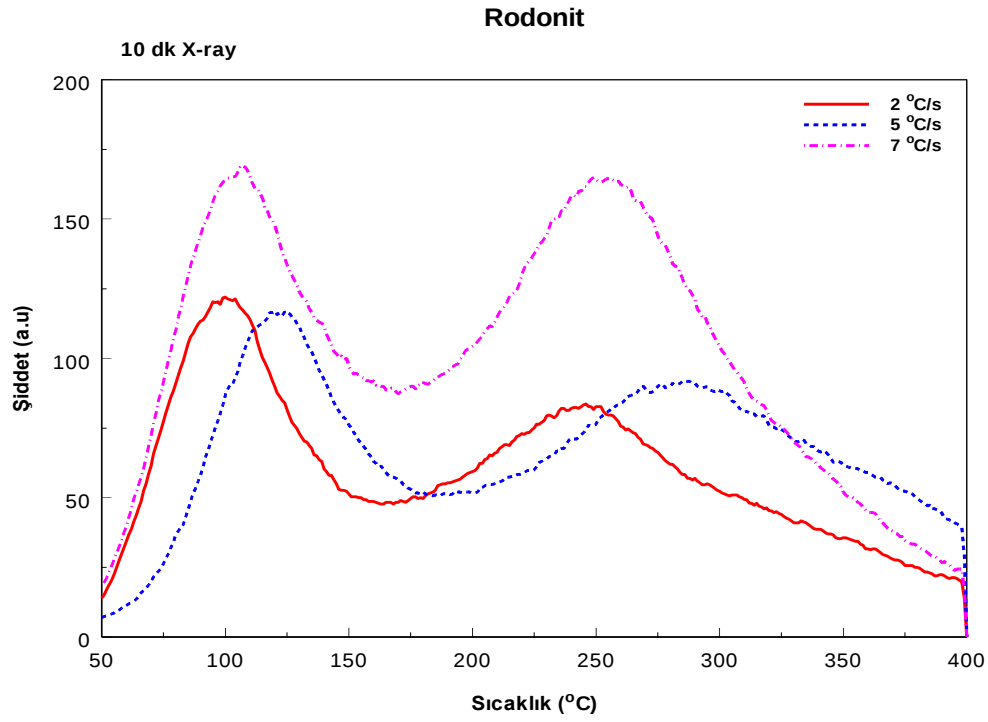
Lambda 950 spektrofotometresi UV (165-380) nm, VIS (380-780) nm, NIR (780-3300) nm dalgaboyu aralığında ölçüm yapmayı sağlayan bir sistemdir. Bu özelliği sayesinde, kullanılan örneğin 175 nm ile 3300 nm arasındaki dalga boyu değişimini gözlemlemeye olanak verir. Ölçüm yapılacak dalga boyu aralığı, sistemin 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.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Rodonit (MnSiO_3) ve Krizopras (SiO_2) minerallerinin *TL* spektrumları incelenmiş olup bu minerallere ait tuzak enerjileri hem ısıtma hızı (Heating Rate) hem de Chen metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

Örnekler Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan X-ışını tüpü kullanılarak 10, 20 ve 30 dk süre ile X-ışınına maruz bırakılmıştır. Tüm ışınlamalar karanlık ortamda gerçekleştirilmiş olup, örnekler *TL* sistemine götürülürken, dışarıdan ışık almaması için, siyah kap içinde taşınmıştır. Hem olası elektriksel boşalımla tüpe zarar vermemek hem de güvenli çalışma doz seviyesini aşmamak amacıyla, bu çalışma sırasında 30 kV ve 15 mA değerleri seçilmiştir. Bu değerler ile elde edilen doz hızı (10 cm uzakta) ~ 30 Gy/dk dır.

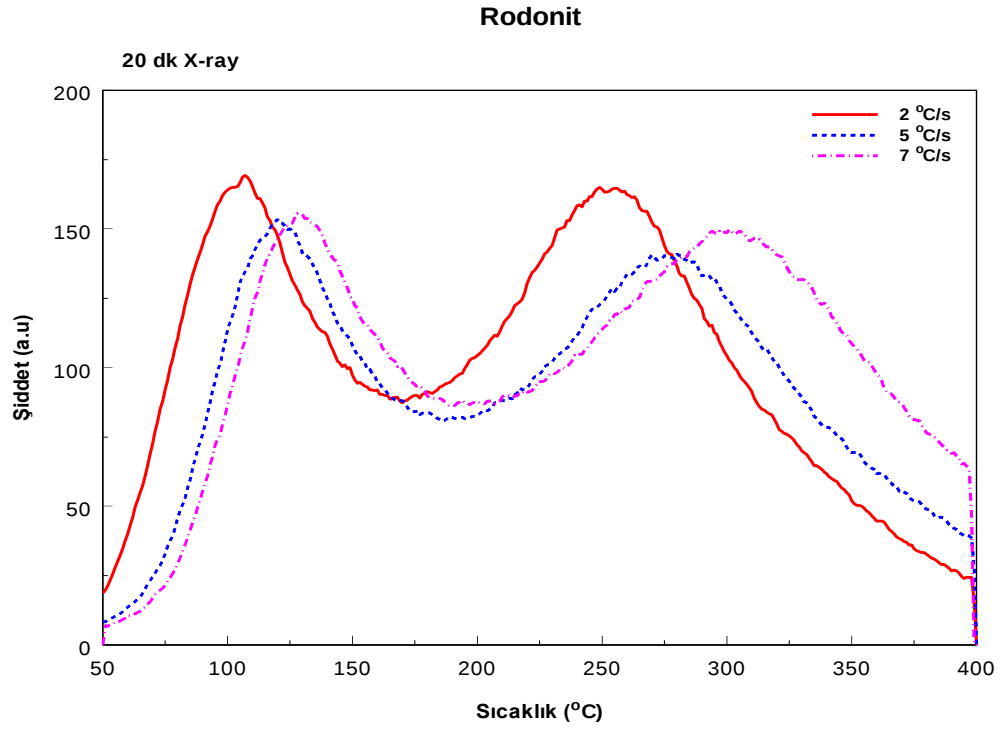
RA'94 Reader-Analyser *TL* sistemi sayesinde tüm örneklerin 50-400 °C sıcaklık aralığında *TL* spektrumları alınmıştır. Işınlanan örneklerin, ısıtma hızının *TL* piklerine olan etkisini incelemek amacıyla, 2 °C/s, 5 °C/s, 7 °C/s ve 10 °C/s ısıtma hızları ile *TL* spektrumları alınmıştır. Ayrıca ışınlama dozunun etkisini görmek amacıyla da örnekler farklı sürelerde X-ışınına maruz bırakılıp incelenmiştir.



Şekil 4.1 Rodonit mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumları

$\beta(^{\circ}C/s)$	$T_M(^{\circ}C)$	$T_M(^{\circ}K)$	$\ln(T_M^2 / \beta)$	$1/kT_M$	$I_{Max}(Count/s)$	$I_{Max}(Count/^{\circ}K)$
2	100	373	11.150	31,112	244,1	122,05
5	120	393	10.338	29,529	585,45	117,09
7	133	406	10.066	28,583	653,94	93,42
10	143	416	9.758	27,896	1058	105,8

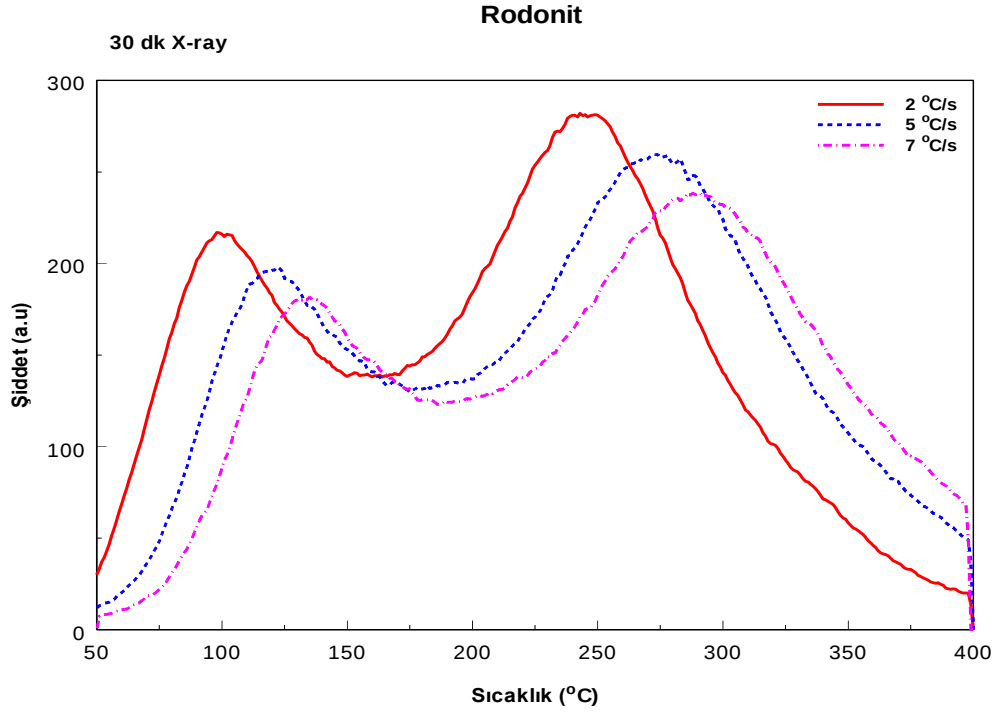
Tablo 4.1 Rodonit mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumlarının veri tablosu



Şekil 4.2 Rodonit mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları

$\beta(^{\circ}C/s)$	$T_M(^{\circ}C)$	$T_M(^{\circ}K)$	$\ln(T_M^2 / \beta)$	$1/kT_M$	$I_{Max}(Count/s)$	$I_{Max}(Count/^{\circ}K)$
2	107	380	11.187	30.539	338.74	169.37
5	120	393	10.338	29.529	767.1	153.42
7	128	401	10.042	28.940	1089.76	155.68
10	150	423	9.792	27.434	1371.7	137.17

Tablo 4.2 Rodonit mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumlarının veri tablosu



Şekil 4.3 Rodonit mineralinin 30 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumları

$\beta(^{\circ}\text{C/s})$	$T_M(^{\circ}\text{C})$	$T_M(^{\circ}\text{K})$	$\ln(T_M^2/\beta)$	I/kT_M	$I_{\text{Max}}(\text{Count/s})$	$I_{\text{Max}}(\text{Count}/^{\circ}\text{K})$
2	98	371	11.139	31.280	434.08	217.04
5	122	395	10.348	29.379	990.45	198.09
7	135	408	10.076	28.443	1271.06	181.58
10	159	432	9.834	26.863	1675.6	167.56

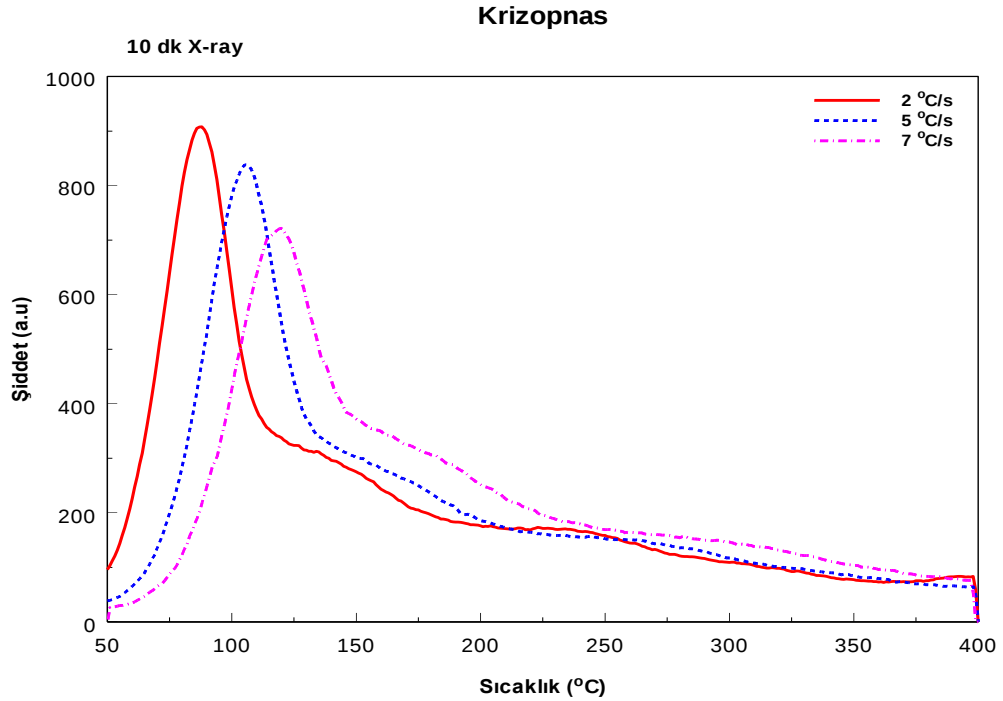
Tablo 4.3 Rodonit mineralinin 30 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumlarının veri tablosu

Şekil 4.1-4.3 te sırasıyla 10 dk, 20 dk ve 30 dk süreyle X-ışınına maruz kalmış rodonit mineraline ait termolüminesans spektrumları görülmektedir. 2 °C/s lik ısıtma hızı ile alınan spektrumda 99 °C ve 244 °C de olmak üzere iki tane belirgin termolüminesans piki elde edilmiştir. Isıtma hızının söz konusu piklerin yeri üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla

ısıtma hızı 5 °C/s, 7 °C/s ve 10 °C/s olarak değiştirilip ölçümler tekrarlanmıştır. Bütün spektrumlar incelendiğinde birinci pikin, bu ısıtma hızları ile, 110, 121 ve 150 °C ye, ikinci pikin ise 273, 287 ve 305 °C ye kaydığı görülmüştür.

Şekil (4.4-4.6) da sırasıyla 10 dk, 20 dk ve 30 dk süreyle X-ışınına maruz kalmış krizopras mineraline ait termoluminesans spektrumları görülmektedir. 2 °C/s lik ısıtma hızı ile alınan spektrumda 87,5 °C , 142 °C ve 237 °C de olmak üzere üç tane belirgin termoluminesans piki elde edilmiştir. Isıtma hızının söz konusu piklerin yeri üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla ısıtma hızı 5 °C/s, 7 °C/s ve 10 °C/s olarak değiştirilip ölçümler tekrarlanmıştır. Bütün spektrumlar incelendiğinde birinci pikin, bu ısıtma hızları ile 105, 119 ve 125 °C ye, ikinci pikin ise 165, 177ve 189 °C üçüncü pikin ise 279, 284 ve 300°C ye kaydığı görülmüştür.

Daha yüksek sıcaklıklara doğru meydana gelen bu kayma örneğin üzerine yerleştirildiği örnek taşıyıcı ile örnek arasında meydana gelen sıcaklık gecikmesi (termal lag) dir.

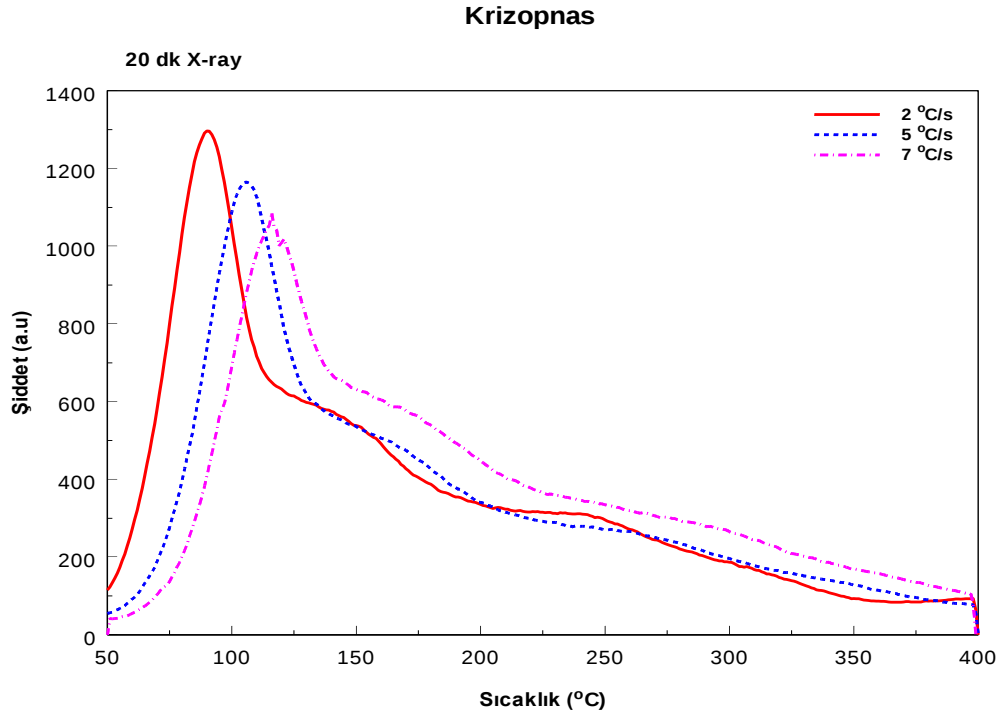


Şekil 4.4 Krizopras mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumları

$\beta(^{\circ}\text{C/s})$	TM($^{\circ}\text{C}$)	TM($^{\circ}\text{K}$)	$\ln(\text{TM}^2/\beta)$	I/kTM	IMax(Count/s)	I Max(Count/ $^{\circ}\text{K}$)
2	88	361	11,084	32,146	1815,54	907,77

5	106	379	10,265	30,619	4190,25	838,05
7	120	393	10,001	29,529	3368,61	481,23
10	126	399	9,675	29,085	9211,9	921,19

Tablo 4.4 Krizopras mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumlarının veri tablosu

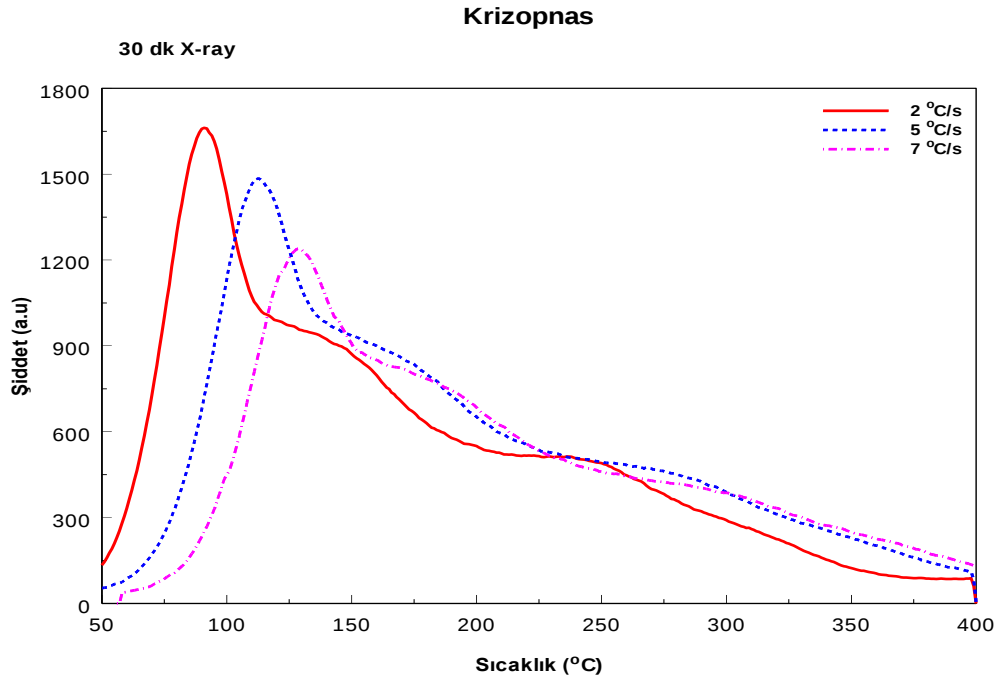


Şekil 4.5 Krizopras mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumları

$\beta(^{\circ}\text{C/s})$	TM($^{\circ}\text{C}$)	TM($^{\circ}\text{K}$)	$\ln(\text{TM}2/\beta)$	I/kTM	IMax(Count/s)	I Max(Count/ $^{\circ}\text{K}$)
-----------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	---------------	-----------------------------------

2	90	363	11,095	31,969	2593,52	1296,76
5	106	379	10,265	30,619	5827,05	1165,41
7	116	389	9,981	29,832	7608,09	1086,87
10	129	402	9,690	28,868	14580,7	1458,07

Tablo 4.5 Krizopras mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumlarının veri tablosu



Şekil 4.6 Krizopras mineralinin 30 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumları

$\beta(^{\circ}\text{C/s})$	$T_M(^{\circ}\text{C})$	$T_M(^{\circ}\text{K})$	$\ln(T_M/2\beta)$	I/kT_M	$I_{\text{Max}}(\text{Count/s})$	$I_{\text{Max}}(\text{Count}/^{\circ}\text{K})$
-----------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------	----------	----------------------------------	---

2	91	364	2593,52	2593,52	3324,72	1662,36
5	113	386	5827,05	5827,05	7422,25	1484,45
7	122	395	7608,09	7608,09	8679,02	1239,86
10	173	446	14580,7	14580,7	9028,4	902,84

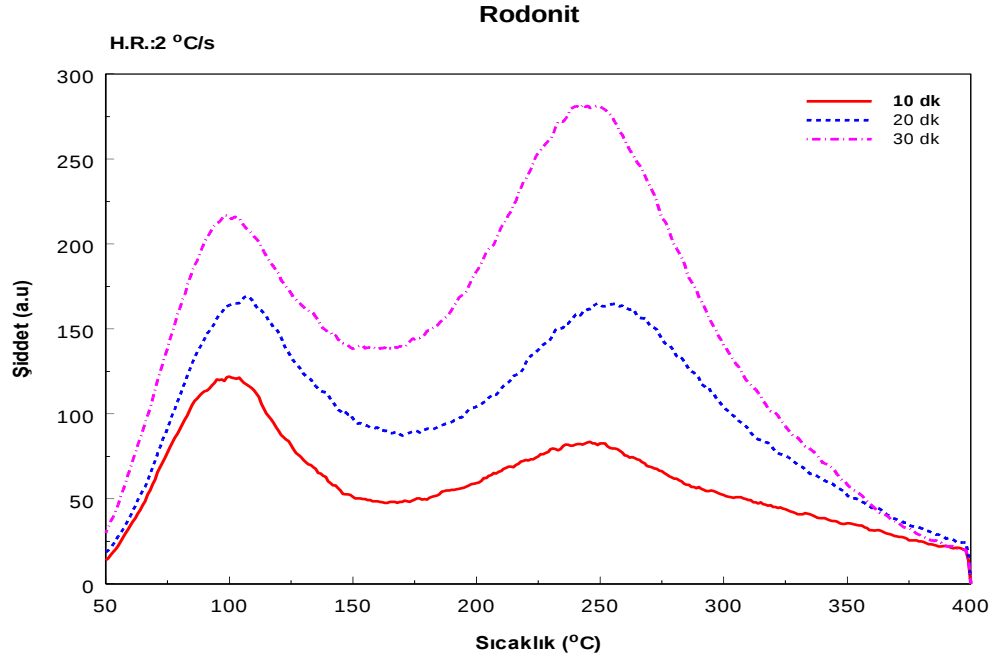
Tablo 4.6 Krizopras mineralinin 30 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumlarının veri tablosu

Farklı ısıtma hızları metodu kullanılarak elde edilen piklerin tuzak derinlikleri hesaplanabilir. Bu amaçla hem rodonit hem de krizopras için elde edilen *TL* spektrumları (Şekil 4.1-4.6) kullanılarak Tablo 4.1-4.6 elde edilmiştir. Bu sayede farklı ısıtma hızları metodu ile

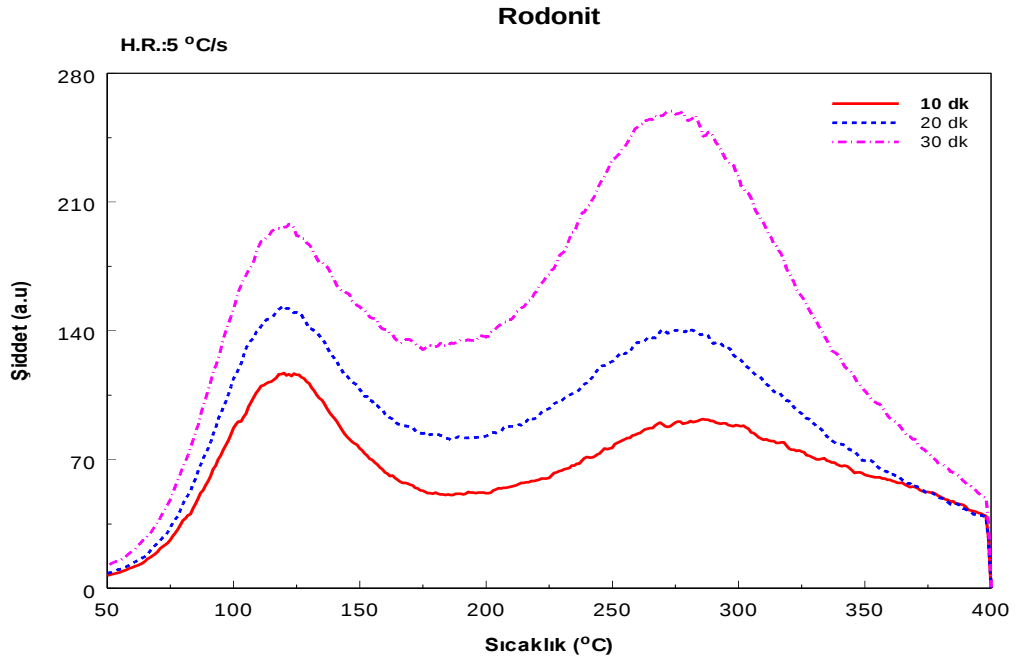
$$E = k \frac{T_{M1}T_{M2}}{T_{M1} - T_{M2}} \ln \left[\frac{\beta_1}{\beta_2} \left(\frac{T_{M2}}{T_{M1}} \right)^2 \right] \quad E = k \frac{T_{M1}T_{M2}}{T_{M1} - T_{M2}} \ln \frac{I_{M1}}{I_{M2}}$$

denklemleri kullanılarak, her iki örnek için de spektrumda yer alan ilk piklerin tuzak derinliği hesaplanmıştır. Ayrıca aynı yöntem kullanılarak, $(\ln(T_M^2/\beta)-1/kT_M)$ grafiklerinin (Şekil 4.15) çizilmesi ile de, grafiğin eğiminden, tuzak derinlikleri hesaplanmıştır (Tablo 4.7).

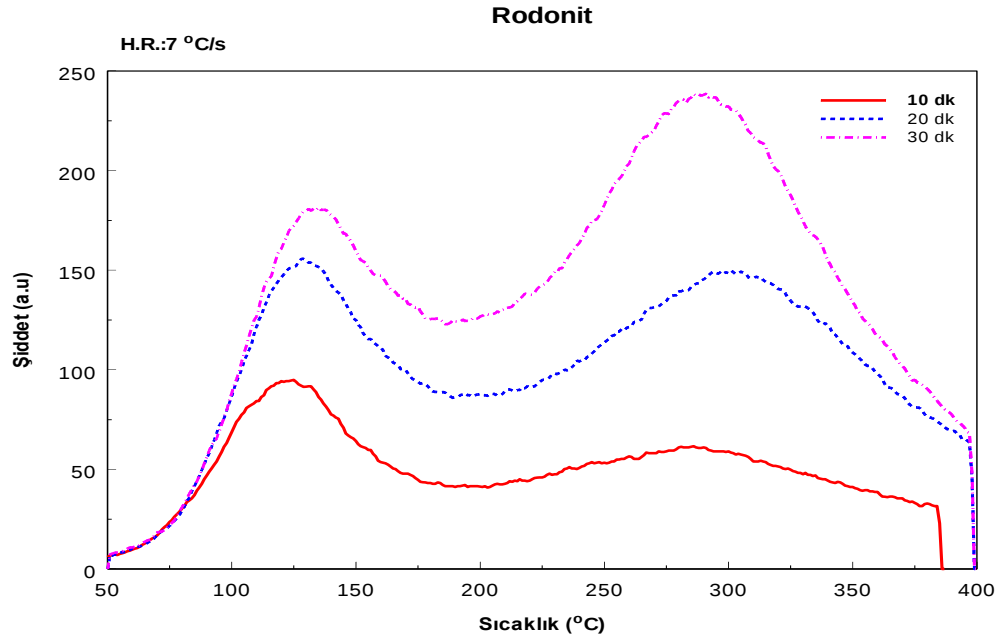
Ayrıca minerallerin *TL* spektrumları ısıtma hızı sabit tutulup ışınlama süresi değiştirilerek de incelenmiştir (Şekil 4.7 - 4.14). Bu amaçla 10 dk, 20 dk, 30 dk X-ışınına maruz bırakılan numuneler sabit ısıtma hızlarıyla (2 °C/s, 5 °C/s, 7 °C/s ve 10 °C/s) TL spektrumları alınmıştır. Spektrumlar incelendiğinde tüm ısıtma hızları için ışınlama süresi arttıkça elde edilen *TL* piklerinin şiddetinin arttığı görülmüştür. Söz konusu süreler için bu artışın hemen hemen doğrusal olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın daha ileri bir adımı olarak bu süreler arttırılıp örneklerin depoladığı radyasyon dozunun doyuma ulaşip ulaşmadığı veya hangi doz değerinden sonra doyuma ulaşacağı belirlenebilir.



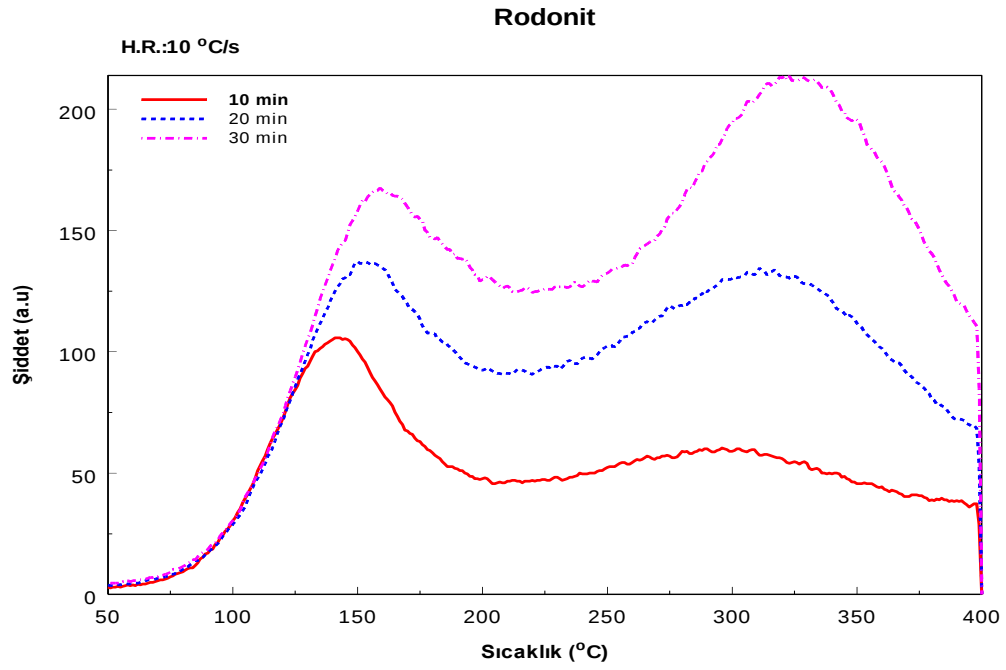
Şekil 4.7 Rodonit mineralinin 2°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişimi



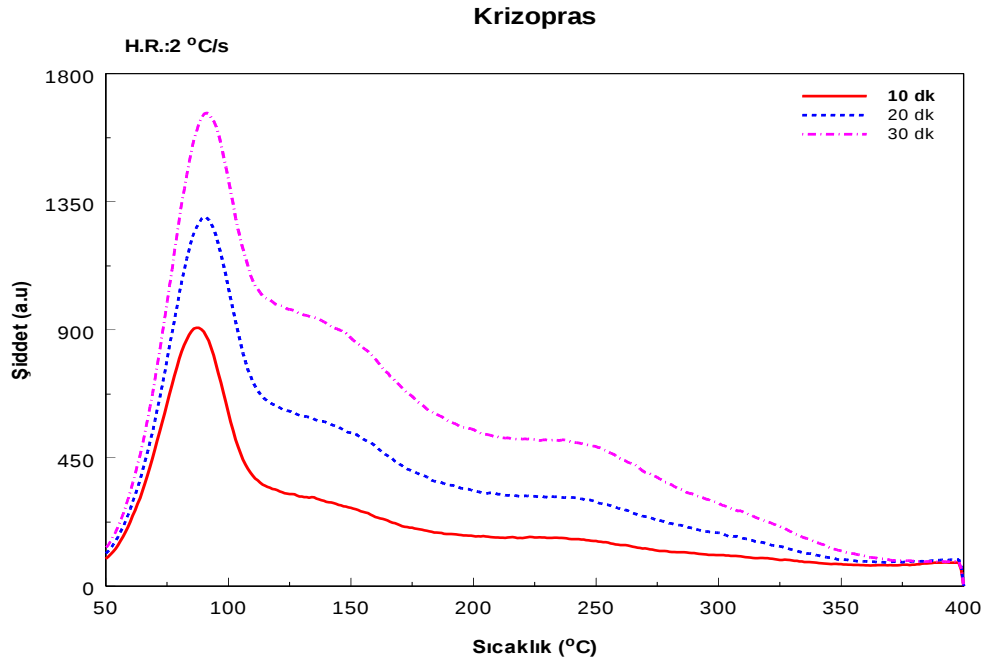
Şekil 4.8 Rodonit mineralinin 5°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişimi



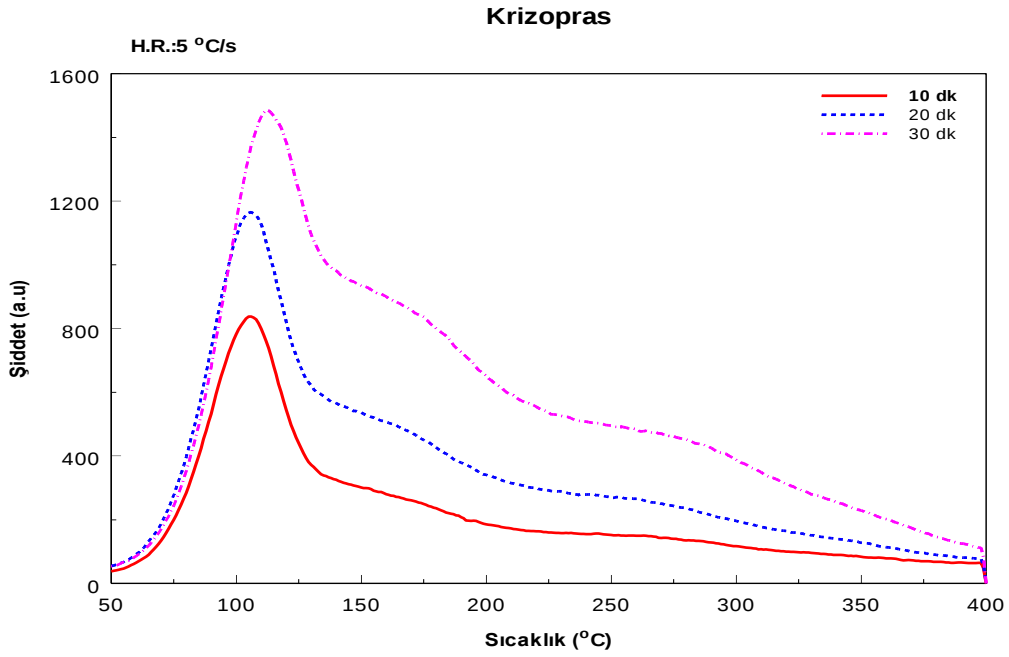
Şekil 4.9 Rodonit mineralinin 7°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişimi



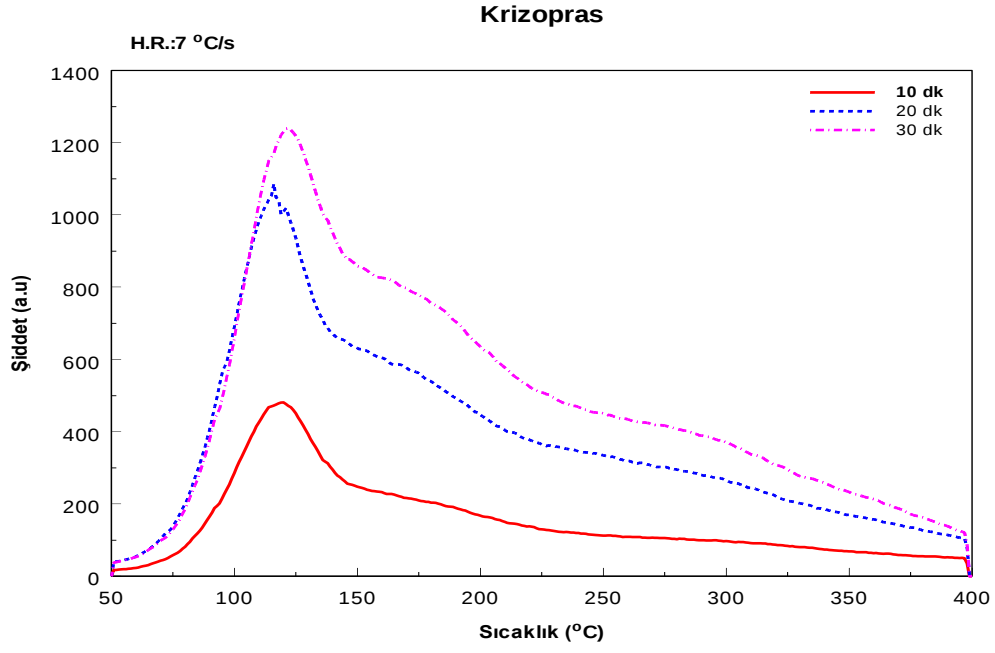
Şekil 4.10 Rodonit mineralinin 10°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişimi



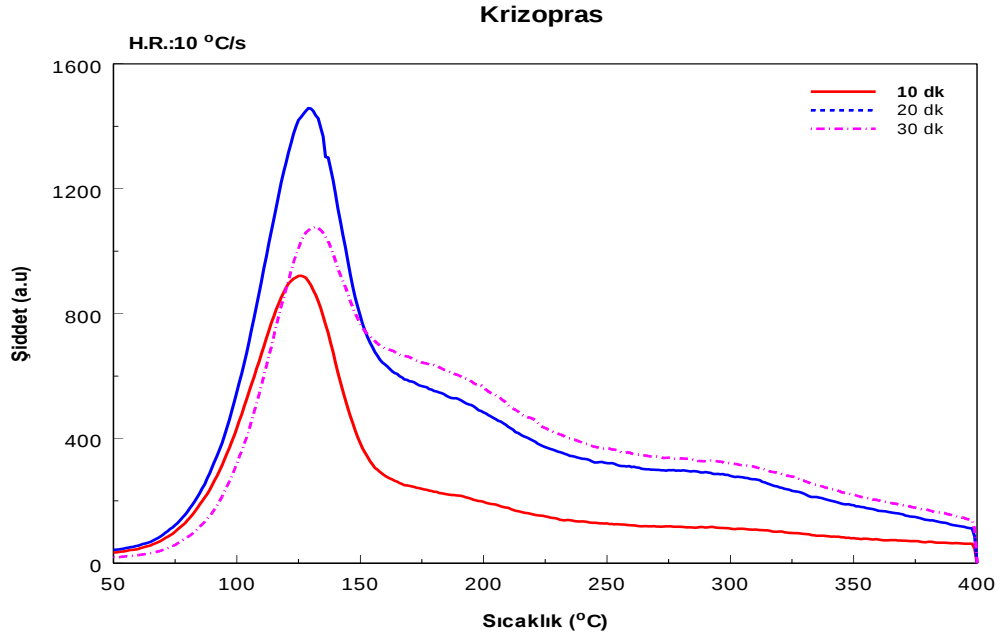
Şekil 4.11 Krizopras mineralinin 2 °C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişimi



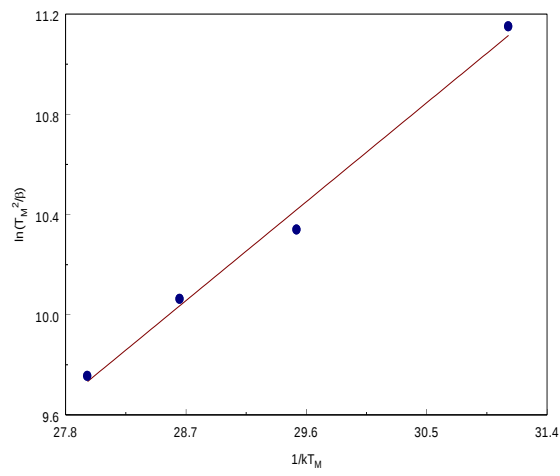
Şekil 4.12 Krizopras mineralinin 5 °C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişimi



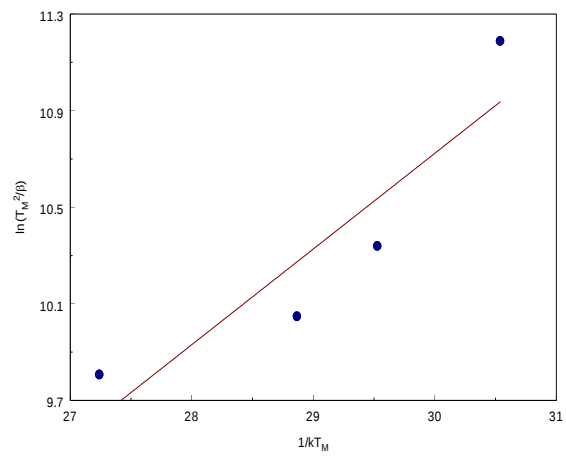
Şekil 4.13 Krizopras mineralinin 7°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişimi



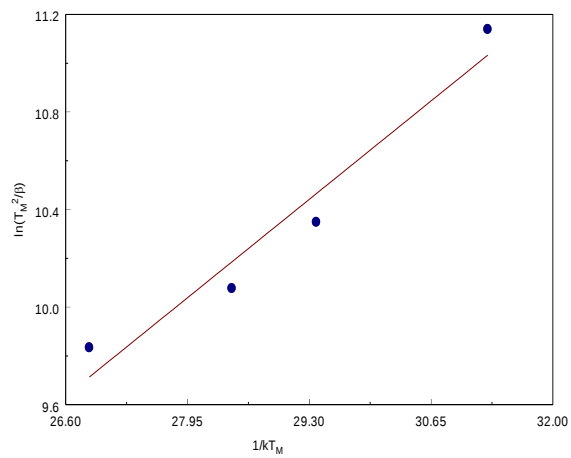
Şekil 4.14 Krizopras mineralinin 10°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişimi



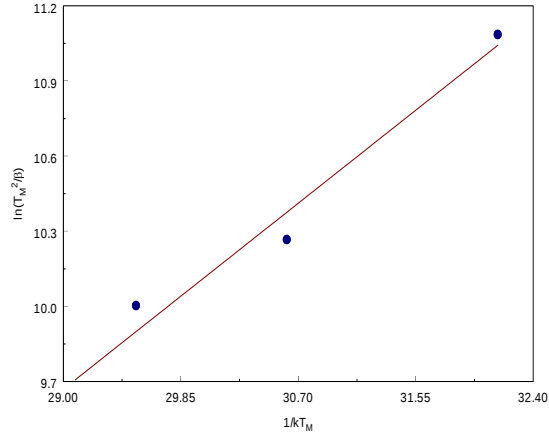
Rodonit 10dk



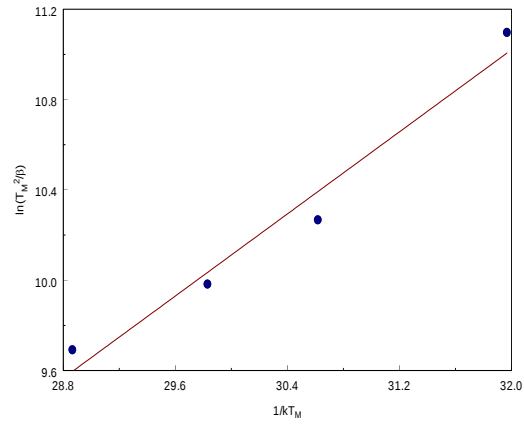
Rodonit 20 dk



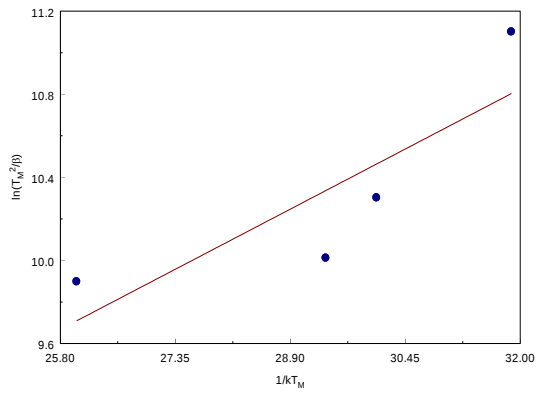
Rodonit 30 dk



Krizopras 10dk



Krizopras 20dk



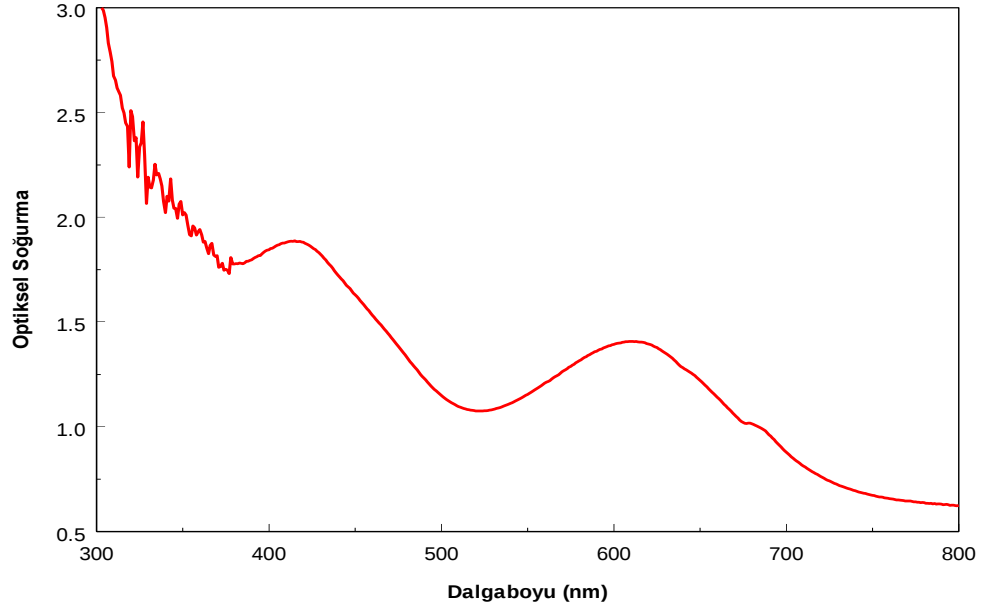
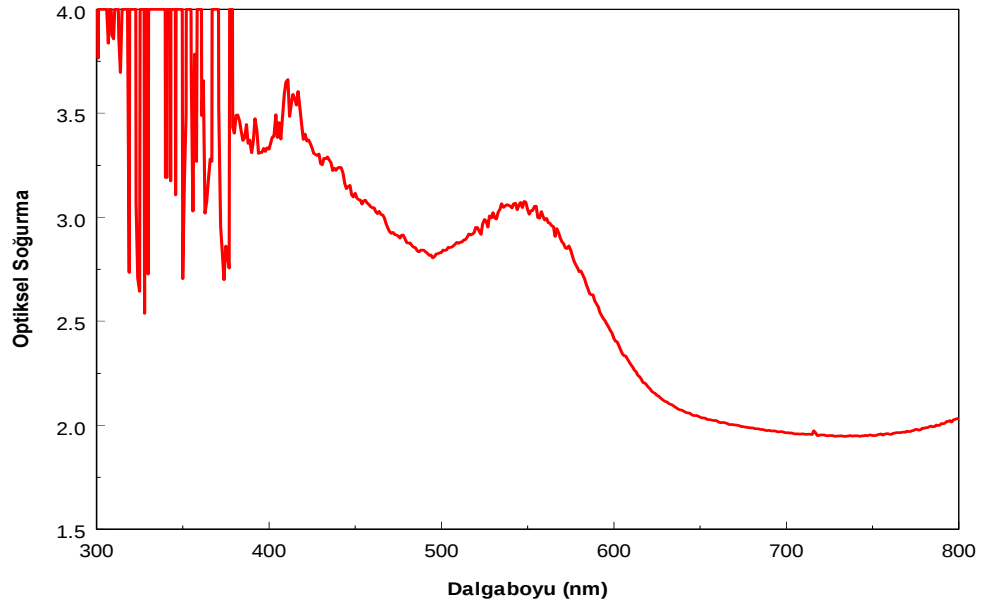
Krizopras 30dk

Şekil 4. $\ln(T_M^2 / \beta)$ nın $1/T_M$ ye oranından elde edilen enerji değeri grafikleri

	Isıtma Hızı metodu		Diğer enerji değerleri			
	Denklem (2.10)	Denklem (2.11)	Şekil 4.7 deki grafiklerden	Chen metodu		
				E_{τ}	E_{δ}	E_{ω}
Rodonit 10 dk X-Işını	0,410	0,430	0,426	0,642	0,623	0,631
Rodonit 20 dk X-Işını	0,489	0,503	0,431	0,637	0,523	0,558
Rodonit 30 dk X-Işını	0,289	0,295	0,299	0,242	0,330	0,273
Krizopnas 10 dk X-Işını	0,462	0,649	0,437	0,643	0,387	0,416
Krizopnas 20 dk X-Işını	0,430	0,533	0,454	0,882	0,905	0,898
Krizopnas 30 dk X-Işını	0,273	0,214	0,187	0,897	0,570	0,647

Tablo 4.7 Rodonit ve Krizopnas minerallerinin 10dk, 20dk, 30dk ışınlama sürelerine göre farklı metotlarla hesaplanan enerji değerleri

Örneklerin tuzak derinliğini belirleme de kullanılan yöntemlerden biri de Chen (Pik şekli) metodu olarak bilinen metottur. Bu metot kullanılarak rodonit ve krizopras için yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen E_{τ} , E_{δ} , E_{ω} enerji değerleri Tablo 4.7 de verilmektedir. Değerlerde meydana gelen farklılıkların deneysel hatalardan meydana geldiği düşünülmektedir.

Krizopras**Şekil 4.16** Krizopras mineralinin optiksel soğurma grafiği**Rodonit****Şekil 4.17** Rodonit mineralinin optiksel soğurma grafiği

Krizopnas mineralinin optiksel soğurma spektrumlarına bakıldığında 415 nm, 611 nm, ve 683 nm de soğurulma piki görülmektedir. Rodonit mineralinin optiksel soğurma spektrumlarına bakıldığında ise 412 nm ve 545 nm de soğurulma piki görülmektedir.

Krizopnas ve Rodonit minerallerinin gelecekte kalitatif, kantitatif analizleri ve farklı lüminesans çeşitleriyle incelemelerinin yapılması ayrıca optiksel soğurma grafiklerinden yararlanarak renk oluşumları hakkında daha detaylı bilgiler edinilmesi hedefleniyor.

KAYNAKLAR

O.İçelli “ 5,9 KeV’ de farklı Elementler İçin Koherent Saçılma Diferansiyel Tesir Kesitinin Ölçülmesi ” Yüksek Lisans Tezi ,**Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,1998.**

O.İçelli “Bazı Bileşikler Ve Kristallerde Lineer Diferansiyel Saçılma Katsayılarının Açısal Dağılımının” Doktora Tezi, **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,2002.**

R.Kibar “Farklı Metal İyonları İle Bombalanan SrTiO_3 Kristalinin Ve Bazı Minerallerin Nükleer Ve Diğer Yöntemlerle İncelenmesi” Doktora Tezi, **Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.**

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

M. Yüksel “ Orta Anadolu Fluoritlerinin (CaF_2) Termolüminesans (TL)Işıma Tepelerine Tavlamanın Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2008

E.Karsu “X Ray Lüminesans Sisteminin Kurulması, Kalibrasyonu Ve Çeşitli Termolüminesans Dozimetrelerin Spektroskopik Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi,Celal Bayar Üniversitesi, 2005.

D.R. Vij “Luminescence of Solids” Plenum Press, New York 1998.

A.Akın “Dy Ve Li Katkılanmış CaSO_4 İle Dy Katkılanmış CaB_4O_7 Termolüminesans Malzemelerin Kinetik Parametrelerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 2009.

N.Can, “Studies Of Ion Implantation Into Insulators Using Nuclear Methods, Luminescence And Waveguide Techniques”, PhD.Thesis, The University of Sussex, UK, 1995.

AITKEN, M.J., 1985. Recent Advances in Thermoluminescence Dating, Radiation Protection Dosimetry 6, pp. 181-183.

Wiedemann, E., Schmidt, G. C., 1895. Ueber Lumineszenz, Ann. Phys. Chem. Neue Folge, 54:604, (1895).

(Krebetschek M.R, Götze J, Dietrich A. Ve Trautmann T. , Spektral Snformation from minerals relevant for Luminescence dating, 696-700, 715-716, 1997.

B.J. Luff, "Cathodoluminescence of Oxides" PhD. Thesis, University of Sussex, 1989.

K. Mahesh, P.S. Weng, C. Furetta "Thermoluminescence in Solids and Its Applications" Nuclear Technology Publishing, 1989.

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

Garlick, G.F.J. and Gibson, A.F., 1948, The electron trap mechanism of luminescence in sulphide and silicate phosphors Proc. Phys. Soc. 60 574-590.

P.D. Townsend and J.C. Kelly "Colour Centres and Imperfections in Insulator and Semiconductors" Sussex University. Press, 1973.

C. Furetta, University of Rome 'La Sapienza', P.S. Weng, National Tsing Hua University, Operational Termoluminescence Dosimetry , World Scientific Publishing Co, Pte-Ltd, 1998.

Grossweiner, L.I., 1953, J. Appl. Phys. 24 1306.

Chen, R., 1969. Glow Curves with General Order Kinetics, Journal of the Electrochememical Society, Vol. 116, Issue 9, pp. 1254-1257, September 1969.

Lushihik, L. I., 1956, Soviet Phys. JEPT 3 390.

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

Q. Zhang, B. Yang, R.A. Wood et.al. "Thermoluminescence Spectra of Amethyst" Rad. Meas. 23 (1994) 423-431.

M. Sahin Dünder, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi 1999.

K. Mahesh, P.S. Weng, C. Furetta “Thermoluminescence in Solids and Its Applications” Nuclear Technology Publishing, 1989.

Pagonis, V., Kitis, G. and Furetta C., 2006, Numerical and Practical Exercises in Thermoluminescence, Springer Science+Business Media Inc., New York, 210p.

Mckeever, S. W. S., Moscovitch, M., Townsend, P. D., 1993.

“Thermoluminescence Dosimetry Materials: Properties And Uses”. Nuclear Technology Publishing, Ashford

İ.Özsu “Dogal Kuvarslarin Yasak Enerji Araliginda Bulunan Yerel Enerji Seviyelerinin Isisal Uyarilmayla Isima Yöntemi Kullanilarak Çalişılması” Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, 2009.

G.Arıcılar “Saf Ve Katkılandırılmış $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ Kristalinin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, 2009.

