

**ERZİNCAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AGAT VE KALSEDON'UN TERMOLÜMİNESANS
ÖZELLİKLERİ**

Deniz GÜNGÖR

FİZİK ANABİLİM DALI

ERZİNCAN

2010

Her Hakkı Saklıdır

Doç. Dr. Orhan İÇELLİ danışmanlığında, Deniz GÜNGÖR tarafından hazırlanan bu çalışma 06/08/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan	:	<i>İmza:</i>
Üye	:	<i>İmza:</i>
Üye	:	<i>İmza:</i>

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

.....

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Agathe ve Calcedony'nin Termolüminesans Özellikleri

Deniz GÜNGÖR

Erzincan Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Orhan İÇELLİ

Ortak Danışman : Ahmet ÇETİN

Bu çalışmada, Agat ve Kalsedon'un minerallerinin dozimetrik özelliklerinin olup olmadığı incelenmiştir. Bu çalışmalar yapılırken lüminesansın bir dalı olan termolüminesans tekniğini kullanılmıştır. Agat ve Kalsedon minerallerinin ısıtma hızı ile ışınlama süresinin değişimi incelenmiş olup ışıma eğrilerinden faydalanarak ve farklı metotlar kullanılarak elde edilen kinetik parametreler hesaplanıp karşılaştırılmıştır.

2010, 56 sayfa

Anahtar kelimeler: Agat, Kalsedon, termolüminesans, lüminesans

ABSTRACT

Master Thesis

Agathe ve Calcedony thermoluminescence properties

Deniz GÜNGÖR

Erzincan University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Doç. Dr. Orhan İÇELLİ

Supervisor: Doç. Dr. Orhan İÇELLİ

In this study, TL properties of Agathe and Calcedony 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, 56 pages

Keywords: Agathe, Calcedony, thermoluminescence, luminescence....

TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışmalar sırasında bana bilgi ve tecrübeleriyle yardımcı olan ve yol gösteren danışman hocam 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 Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETİN'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca değerli bilgilerinden faydalandığım hocalarım sayın Prof.Dr. Nurdoğan CAN, Yrd.Doç.Dr. Rana KİBAR'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yardımlaşmanın, saygı ve sevginin en üst düzeyde yaşandığı yüksek lisans arkadaşlarım Nurcivan ŞENTÜRK BAYRAKTAR, Mehmet TERZİ, Merve Kübra MARHAN'a, hiçbir zaman yarımalarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Aykut BURĞUT, Hüsnü TOPACA, Murat TÜREMİŞ, Bora TAŞTEKİN ve Mehmet İsmail KATI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Deniz GÜNGÖR

Ağustos, 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1.Lüminesans Nedir?	3
2.2.Lüminesansın Kullanım Alanları	6
2.3.Lüminesans Türleri	6
2.4.Termolüminesans (TL)	9
2.5.TL Özelliği Gösteren Malzemeler	12

<i>2.6.Termolüminesans Kinetikleri</i>	12
2.6.1.Birinci Derece Kinetikler (Randall-Wilkins Teorisi)	13
2.6.2.İkinci Derece Kinetikler(Garlick – Gibson Teorisi)	14
2.7.Termolüminesans Metodları Ve Analizleri	16
2.7.1. Isıtma Hızları Farkını Kullanma Metodu	16
2.7.2.Pik Şekli Yöntemi (CHEN metod- yarı genişlik metodu)	18
2.8. Lokalize Olmuş Enerji Seviyelerinin Optiksel Soğurma ve Lüminesansı	21
2.8.1. Soğurma Katsayısının Ölçülmesi	22
2.9.Mineraler	23
2.10.Mineralerin Özellikleri ve Tanınması	24
2.10.1.Yoğunluk	24
2.10.2.Elastikiyet	25
2.10.3.Sertlik	25
2.10.4.Dilinim	26
2.10.5.Kırınım	26
2.10.6.Renk	26
2.10.7.Parlaklık	27
2.10.8.Elektrik	28

2.11.Agat (Agathe)	29
2.12.Kalsedon (Calcedony)	30
3.MATERYAL VE METOD	31
3.1. Tld Reader-Analyser Sistem Bilgisi	31
3.2. Optiksel Sogurma Sistemi	35
3.3. X- Isını Ünitesi	37
4.SONUÇLAR VE YORUM	38
4.1 Thermoluminesans Ölçümleri	38
4.2. Soğurma Ölçümleri	51
KAYNAKLAR	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Katı bir madde içindeki elektron geçişleri ve lümİnesans işlemleri	3
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 <i>TL</i> ışıma pİklerinin karşılaştırılması	15
Şekil 2.5	Geometrik şekil nicelikleri τ , δ ve ω	18
Şekil 2.6	Dolaylı geçİşler için soğurma katsayısı ile foton enerjisi arasındaki ilişki	22
Şekil 2.7	Agat	29
Şekil 2.8	Kalsedon	30
Şekil 3.1	Termolümİnesans olayını oluşturan sistem	33
Şekil 3.2	X-Işınına maruz bırakılan örneğİn yerleştirildiğİ alüminyum bloktan yapılmış oda.	34
Şekil 3.3	Celal Bayar Üniversitesi Lümİnesans Araştırma Laboratuarında bulunan spektrofotometre.	35

Şekil 3.4	İki farklı örnek odasını da içeren Lambda 950 Spektrofotometresi.	36
Şekil 3.5	Işınlama için kullanılan X-Isını Tüpü	37
Şekil 3.6	Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Arastırma Laboratuarında bulunan X Isını Tüpü kontrol ünitesi.	38
Şekil 4.1	Agat mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları	39
Şekil 4.2	Agat mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları	40
Şekil 4.3	Kalsedon mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları	42
Şekil 4.4	Kalsedon mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan TL spektrumları	43
Şekil 4.5	Agat mineralinin 2°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği	45
Şekil 4.6	Agat mineralinin 5°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği	46
Şekil 4.7	Agat mineralinin 7°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği	46

Şekil 4.8	Kalsedon mineralinin 1°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği	47
Şekil 4.9	Kalsedon mineralinin 3°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği	47
Şekil 4.10	Kalsedon mineralinin 5°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği	48
Şekil 4.11	Kalsedon mineralinin 7°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği	48
Şekil 4.12	$\ln(T_M^2 / \beta)$ nın $1/T_M$ ye oranından elde edilen enerji değeri grafikleri	49
Şekil 4.13	Agat mineralinin optiksel soğurma grafiği	51
Şekil 4.14	Kalsedon mineralinin optiksel soğurma grafiği	52

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 Agat mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan <i>TL</i> spektrumlarının veri tablosu	40
Tablo 4.2 Agat mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan <i>TL</i> spektrumlarının veri tablosu	41
Tablo 4.3 Kalsedon mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan <i>TL</i> spektrumlarının veri tablosu	42
Tablo 4.4 Kalsedon mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan <i>TL</i> spektrumlarının veri tablosu	43
Tablo 4.5 Agat ve Kalsedon minerallerinin 10 dk-20 dk ışınlama sürelerine göre farklı metotlarla hesaplanan enerji değerlerinin gösterildiği tablo	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
τ	Termodinamik açıdan T sıcaklığında geçen ortalama zaman
E	e ile tuzak derinliği arasındaki enerji farkı(aktivasyon enerjisi)
s	Frekans faktörü
k	Boltzman sabiti
p	Tuzaktan kaçma olasılığı
T	Mutlak sıcaklık
I_t	Fosforesans yayılım şiddeti
N	Materyaldeki tuzaklanmış elektron sayısı
n_0	t_0 anında tuzaklanmış elektron sayısı
β	Lineer ısıtma hızı
T_M	Maksimum sıcaklık
$T_{1,2}$	T_M 'nin her iki tarafındaki sıcaklıklar
S	Işığın toplam integrali
B	Kinetik derece
CL	Katodoluminesans

<i>RL</i>	Radyolüminesans
<i>TL</i>	Termolüminesans
<i>PL</i>	Fotolüminesans
<i>EL</i>	Elektrolüminesans
<i>OSL</i>	Optiksel olarak uyarılmış lüminesans

1.GİRİŞ

Günümüzde radyoaktivite ile ilgili çalışmaların temelini, fosforesans ile radyasyon arasındaki bağlar oluşturmaktadır. Radyoaktivite uygulamaları 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. Özellikle ısı yoluyla uyartılmış ışıma yani termolüminesans çalışmaları çoğu konuda bilimi aydınlatmaktadır. Bilimsel olarak kayıtlara geçmiş ilk Termolüminesans (*TL*) teoremi: 17. yy'da ilk kez Robert Boyle (1664) tarafından gözlenmiştir. Boyle, elması avucunun içerisinde ısıttığı zaman, parlaklığının karanlık bir odada kolaylıkla görülen ışık olarak dağıldığını gözlemlenmiştir. Bu konudaki ilk bilimsel çalışmayı 19.yy sonlarında Marie Curie yapmıştır. Marie Curie doktora tezinde ışıma ile ilgili "Florit gibi belirli nesneler ısıtıldığında parlak hale gelmektedir. Onlar ısıyla-ışıldayanlardır (parlayanlar). Onların parlaklığı belirli bir süre sonra kaybolur fakat ısıtma yoluyla ışıldayan durumuna gelme kapasitesi, ateşleme ve aynı zamanda radyasyon etkisiyle eski haline getirilmektedir. Radyum bu nesneleri ısıyla-parlayan özelliğine sahip eski haline getirebilir (Curie, 1904)" noktalara dikkat çekmiştir.

Bu çalışmadan sonra termolüminesans çalışmaları hız kazanmıştır. Literatürde ilk defa "Termolüminesans" ismini kullananlar Wiedemann ve Schmidt'tir (Wiedemann ve Schmidt, 1895). Wiedeman ve Schmidt'in deneyleri ile daha önce yapılan *TL* gözlemlerinin farkı; termolüminesansı laboratuvar ortamında elektron demetiyle sağlamış olmalarıdır. Bu tür lüminesans yapay lüminesans olarak da bilinir. Wiedeman ve Schmidt, geniş bir fosfor grubu üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Doğal örneklerin termolüminesansını laboratuvar ortamında çalışarak ilk kez yayınlayan bilim insanları ise Trowbridge ve Burbank'tır (Trowbridge ve Burbank, 1898). Devam eden süreçte birçok bilim adamı NaCl , kuvars , kalsiyum gibi minerallerin termolüminesans özelliklerini incelemişlerdi. İlk 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)

Bir malzeme radyasyonla etkileştiğinde, enerjinin bir kısmı malzeme tarafından soğurulabilir ve daha uzun bir dalga boyu ile yeniden yayınlanabilir (Stokes Kanunu). Bu lüminesans sürecidir. Yayınlanan ışığın dalga boyu, gelen radyasyonun değil maddenin karakteristiğidir. Lüminesans olaylarının çoğu, görünür ışığın salınımıyla ilgilenmektedir fakat mor ötesi ve kızıl ötesi gibi diğer dalga boyları da salınabilir. Termolüminesans da uyarılmanın ısı yoluyla gerçekleştiği bir lüminesans çeşitidir.

Termolüminesans ışıma eğrisinden faydalanarak tuzak parametrelerinin belirlenmesi termolüminesans dozimetri araştırmalarında önemli bir alandır. Isı yoluyla uyarılmış ışıma (termolüminesans) metotlarını kullanarak hesaplanabilen kinetik derecesi, aktivasyon enerjisi ve frekans faktöründen oluşan tuzaklanma parametreleri dozimetri (TLD) materyallerinin üretim çalışmaları açısından çok önemlidir.

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 ışıma yaparlar.

Biz çalışmamızda bu ışımalardan faydalanarak incelediğimiz minerallere ait *TL* özelliklerini araştırmayı hedefliyoruz. Bu çalışma ısı yoluyla uyarılmış ışıma (*TL*) materyalinin fiziksel özelliğinin belirlenmesinde önemli olan aktivasyon enerjisi ve frekans faktörünün Agat ve Kalsedon mineralleri üzerinde araştırılmasını

kapsamaktadır. Farklı metotlarla elde edilen kinetik parametrelerinin değerlerini karşılaştırarak bu minerallerin özellikleri hakkında çeşitli bilgiler edineceğiz.

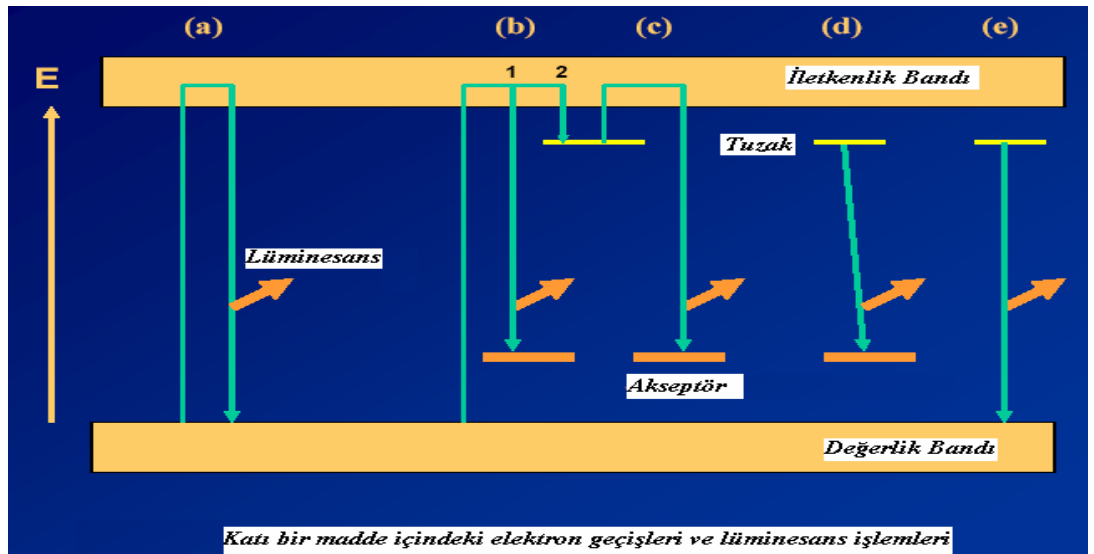
2.GENEL BİLGİLER

2.1.Lüminesans Nedir?

Bir malzeme herhangi bir şekilde radyasyona maruz kaldığında, gelen enerjinin bir kısmı soğurulur ve daha uzun dalgaboylu bir ışık olarak yayınlanır (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.

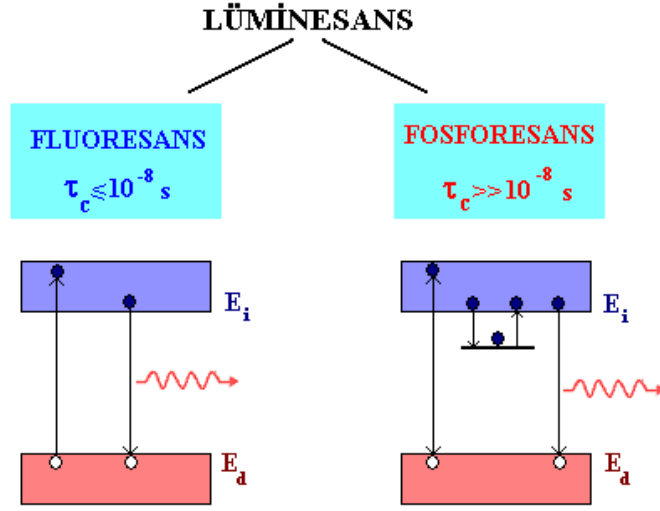


Şekil 2.1 Farklı yollarla oluşan lüminesans;

- 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 direkt 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. Yayınlanma ömrü olarak bilinen bu zaman τ_c ile gösterilir ve malzemeye özgüdür. Foton emisyonu uyarılmış bir seviyeden taban duruma olan direkt 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 yayınlanma ömrüne göre, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, lüminesans ikiye ayrılabilir (Vij, 1998).



Şekil 2.2 Fluoresans ve Fosforesans

$\tau_c < 10^{-8} \text{ s}$ 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 , 1 s mertebesindedir. 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 ancak 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 bulunduğu ve fosforesans bozunumunun başladığı zamanı göstermektedir (Akın, 2009).

2.2.Lüminesansın Kullanım Alanları

- Tarihleme
- Arkeolojik ve jeolojik örneklerin tarihlendirme işleminde
- Göktaşlarının tarihlendirilmesinde
- Kum tepelerinin tarihlendirilmesinde
- Radyasyon doz ölçümü
- Personel dozimetri
- Çevresel dozimetri
- Gıda radyasyonunun belirlenmesinde,
- Numune içinde az rastlanan elementlerin (safsızlıklar) saptanmasında
- Sağlık ve biyomedikal uygulamalarda,
- İnsan sağlığına etki eden minerallerin analizinde
- İnsan tırnakları, dişleri ve saçları ile radyasyon doz tayininde
- Tarımda,
- Adli bilimlerde,
- Endüstri
- TV görüntüsü
- Kirlenmiş sular
- Lüminesan materyaller kullanan fabrikalar
- Binaya zarar veren yangın
- Uranyum madenleri
- Endüstri ve sağlık

2.3.Lüminesans Türleri

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

- **Katodolüminesan(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.

- **Radyolüminesans(RL):** Nükleer uyarılmanın γ ve X ışını gibi radyasyonlar yardımıyla gerçekleştiği lüminesans türüdür. Radyolüminesans 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.

- **Termolüminesans(TL):** Uyarılmanın ısıtarak gerçekleştiği lüminesans türüdür.

- **Fotolüminesans(PL):** Görünür veya mor ötesi ışıkların uyarılmasıyla gerçekleşen lüminesans türüdür. Malzemenin ışık ile etkileşmesi sonucu meydana gelen fotolüminesans, gelen ışık demeti sayesinde oluşan elektron-boşluk çiftlerinin yeniden birleşmesi ile meydana gelir.Yüksek uyarma enerjilerine sahip CL ile karşılaştırıldığında fotolüminesans 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 fotolüminesansın özel durumlarıdır.

- **Tribolüminesans:** Mekanik enerji kullanılarak veya sürtünme yoluyla uyarılmanın gerçekleştiği lüminesans türüdür. Kırılarak, esnetilerek veya koparılarak 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 uyarmanın gerçekleştiği lüminesans türüdür.
- **Optiksel olarak uyartılmış lüminesans (OSL):** Radyasyona maruz kalmış malzemenin UV veya IR ile uyartılmasıyla 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 mikrona 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 [11]. 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 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 yarıiletkenler (amorf tek kristal ve polikristal) 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).

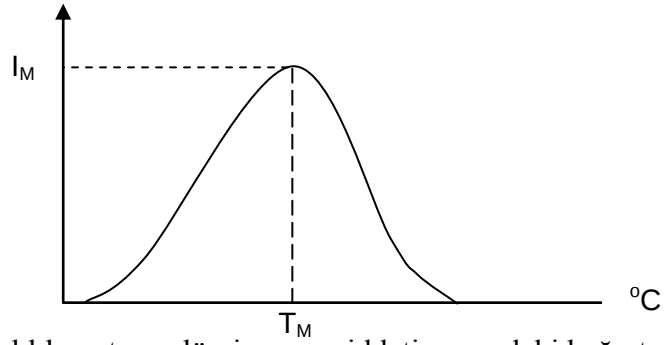
Maddenin yapısındaki bozukluklardan dolayı değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki yasak enerji aralığında enerji seviyeleri bulunur. Bu enerji seviyeleri elektronlar için tuzak merkezlerini oluşturur.

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 sık 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 yayınlamaları. Bunun nedeni, güneş ışığında uyarıldıklarında ışığın valans bandından iletkenlik bandına geçip tuzaklarda depo edilmesi ve ışısız ortamda yayınlanmalarıdır.

TL deneylerinde, fosferasansın düşük olduğu sıcaklıklarda ışınlatma yapılır ve bunun ardından fosferansın parlak olduğu sıcaklık değerine kadar ısıtılır. Isı ile uyarılmış bütün yükler örneği yarı-kararlı düzeylerinin dışına uyardır ve belirli bir süre sonra

lümİnesans tamamen kaybolur. 300 °C sonra gözlenen ışık şiddeti örnek ısıtıcıdan gelen (kırmızı ötesi) siyah cisim ışımasından kaynaklanmaktadır.

Özetle, termolümİnesans, 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 termolümİnesans şiddeti arasındaki bağıntı

Tuzaklardan salınan yüklerin sıcaklığa bağımlılığı,

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

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, termolümİnesans “ışıma eğrisi” olarak bilinen eğriyi ortaya çıkarır. Normal olarak ışıma eğrisinin şekli, bazıları üst üste binebilen bir veya daha fazla pikten oluşur. Işıma eğrisinin şekli ışığa duyarlı alete ve özellikle de onun spektral yanıtına bağlıdır. Ayrıca malzeme dedektör arasına farklı filtreler konulması halinde bile ışıma eğrisi farklı görünebilir. Aynı zamanda TL ışıma eğrisinin şekli kullanılan ısıtma hızına da

bağılıdır. 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 yarıiletkenler 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 , bir veya daha fazla ışıma piklerinden oluşur. Işıma pikleri çeşitli yollarla analiz edilir. Temel termolüminesans teori, 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 yada 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)

1948’de 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:

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

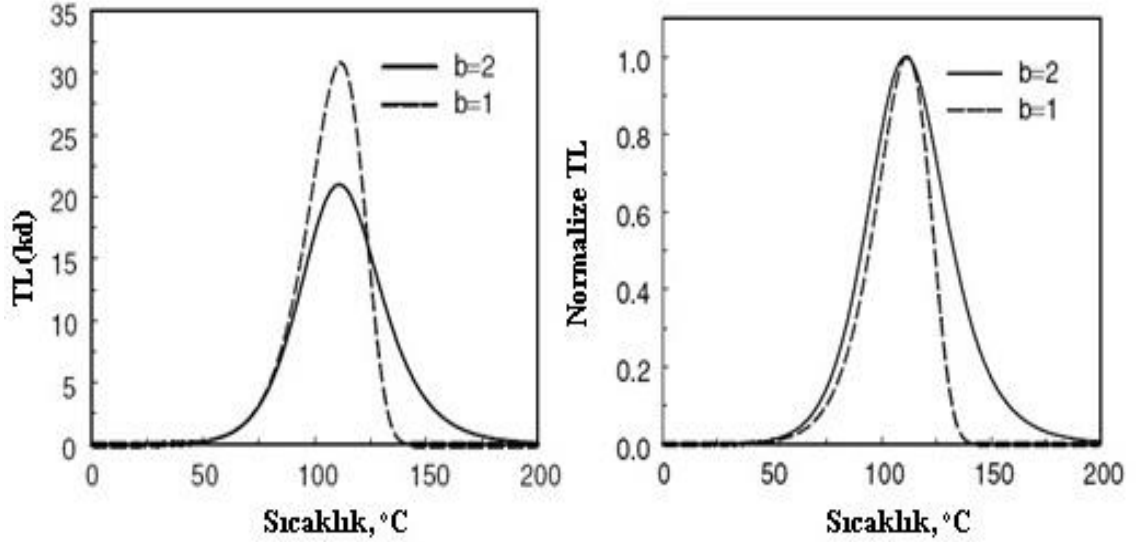
ile verilir. Burada $N(m^{-3})$, tuzakların konsantrasyonudur. Bu denkleme göre ikinci derece kinetikler için TL tanımlayan denklem:

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

ile verilmektedir (Şekil 2.7). 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 farklı ışığın T_M den daha yüksek sıcaklıklarda üretilmesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Çünkü tuzaklanma elektron çıkışını geciktirmektedir. 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. $E = 1$ 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, luminesans verimi ve bant yapısı gibi sıcaklığa bağlı parametrelerinin oldukça iyi belirlenebilmesiyle anlamlı olur. Genel olarak materyal bir tek luminesans tepesi yerine çok tepeli bir eğri gösterir. Analizlerden herhangi birine başlamadan önce çalışmamızda gözlemek istediğimiz tepeyi bu tepeyle üst üste gelmiş komşu 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 (Heating Rate Metodu)

Isınma 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;

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

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

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

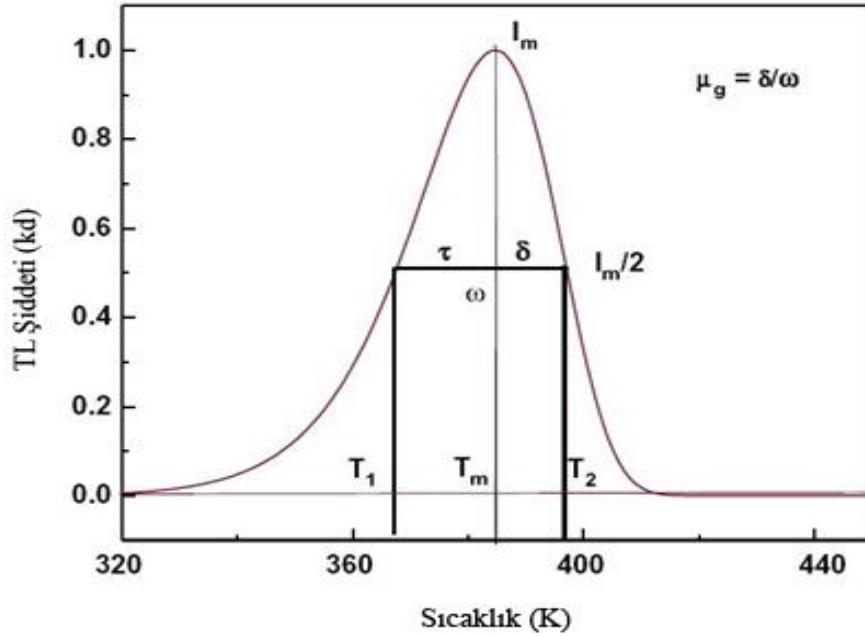
E değeri bulmanın bu metodu yeniden tuzaklanma etkilerine duyarlı değildir ve hesaplanması başlangıç yükseltme metodunda olduğu gibi termal sönümlene problemlerinden etkilenmez. T_M nin değeri için β da ki değişim çok önemli değildir. Bu metot sadece % 20-30 hata olasılığıyla elde edilen bir yaklaşıktır. 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 katılır. Burada r kinetiklerin mertebesidir. $\ln(T_M^2 / \beta)$ ile $1/T_M$ arasında çizilecek olan bir grafik E 'nin değerini iyi bir yaklaşıklıkla 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) (Analysis Based of the Shape of Glow Curve 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 3.4'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 Brenner, 1960).

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

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

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

Halperin ve Braner denklemleri, E 'ye de bağlı 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.

2.8. Lokalize 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. Çok düşük sıcaklıklarda soğurma spektrumunun kenarı hemen hemen bir basamak fonksiyonudur. 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.

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

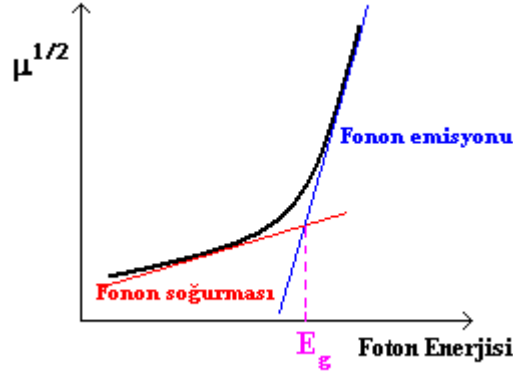
$$\mu_L \propto |E_{foton} - E_g|^{1/2} \quad \text{doğrudan izinli geçişler}$$

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

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

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

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 2.6) (Townsend and Kelly)



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

2.8.1. 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

$$\begin{array}{c} \longrightarrow I_0 \\ \left| \begin{array}{c} \longrightarrow I_0' \\ \longrightarrow I_x \\ \longrightarrow I_t' \\ \longrightarrow I_t \end{array} \right| \begin{array}{c} \longrightarrow dx \\ \longrightarrow \end{array} \end{array}$$

$$-dI = \mu I_x dx \quad (2.26)$$

ile verilir. Şekildeki gibi, örnek sınırları içinde integral alınır

$$I_t' = I_o' e^{-\mu t} \quad (2.27)$$

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

$$I_t = I_o(1-R)^2 e^{-\mu t} + I_o(1-R)^2 e^{-\mu t} R^2 e^{-2\mu t} + \dots \quad (2.28)$$

olur. Bu geometrik bir ifadedir ve

$$I_t = \left[(1-R)^2 e^{-\mu t} / (1-R^2 e^{-2\mu t}) \right] I_o \quad (2.29)$$

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.

Soğurma katsayısının değeri göz önüne alınarak şu değerlendirmeler yapılmaktadır (Townsend and Kelly):

$\mu \sim 10^6 \text{ cm}^{-1}$ 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

2.9.Mineraller

Mineral, doğal yollarla oluşmuş, doğada homojen halde bulunan belirli bir kimyasal formülü ve karakteristik bir atomik iç yapısı (kristal yapı) olan, ender olarak ta 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 kristalik sistemler şunlardır; kübik, hegzagonal, triklinik, monoklinik, tetragonal, ortorombik. Belli bir kristalik 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, Yang, Wood).

2.10.Minerallerin Özellikleri ve Tanınması

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

2.10.1.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).

2.10.2.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

2.10.3.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 SiO₄ 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.eklik 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.

2.10.4.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

2.10.5.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.

2.10.6.Renk

Işığın bazı dalga boylarını yansıtma ve soğurma özelliğinden kaynaklanır. Fakat bazı minerallerin karakteristik bir rengi vardır. 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).

2.10.7. Parlaklık

Mineral yüzeyinin ışık altındaki genel görünümüdür. Mineral cilası, kristal yüzeyinde görülen parlaklıktır. 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,

2.10.8.Elektrik

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

2.11.Agat



Şekil 2.7. Agat

Değişik renkli yuvarlak ve ince tabakalardan oluşmuş bir kalsedon türüdür.

Kimyasal Özellikleri	
Formül	SiO ₂
Element	Si, O
Genel safsızlıklar	Fe, Al, Mg, Ca, Ni, Cr vb.
Fiziksel Özellikler	
Parlaklık	Yarı saydam
Renk	Açık yeşil, sarımsı yeşil, elma yeşili, derin yeşil
Sertlik	6,5-7
Özgül ağırlık	2,58-2,64

2.12. Kalsedon



Şekil 2.8. Kalsedon

Kalsedon, kimyasal formülü SiO_2 , kuvars mineralinin kriptokristalin çeşitlerinden biridir. Yağimsı bir parlaklığa sahiptir. Saf kalsedon çok ince tabakalar halinde dizilmiş çok ince kuvars liflerinden oluşur. Saf kalsedonun rengi yarı şeffaf gri veya beyazdır. Grimsi mavi veya kahverengi gölgeli hatta siyahımsı olanları da vardır. Eskişehir bölgesindeki kalsedon yataklarından binlerce yıldır çıkarılmaktadır.

Kimyasal Özellikleri	
Formül	SiO_2
Element	Si, O
Fiziksel Özellikler	
Parlaklık	Camsı
Geçirgenlik	Geçirgen
Renk	Toz Mavi ve farklı renk ve kombinezasyonlardadır
Sertlik	6,5 – 7
Özgül ağırlık	2,6 - 2,7

3.MATERYAL VE METOD

3.1. TLD Reader-Analyser Sistem Bilgisi

RA94 TLD Reader-Analyser *TL* dozimetredeki incelemeler için kullanılan çok yönlü ve modern bir araçtır. Bu araç ya kendi mikroişlemcisi ile kontrol edilerek tek başına ya da bir bilgisayar sayesinde çalıştırılabilir. Tüm verileri gösterebilir ve dijital formda bir çıktı sağlayabilir. Böylece RA94 TLD Reader-Analyser orta ölçekli bir radyasyon koruma laboratuvarındaki rutin işlemler için veya *TL* etkilerinin bilgisayar destekli analizleri için kullanılabilir.

- RA94 TLD Reader-Analyser farklı fosforlardaki *TL* olaylarının incelenmesi ve toz veya küçük pellet şeklindeki bilinen tüm *TL* malzemeleri ile radyasyon dozunun ölçümü için dizayn edilmiştir. Bunların üstesinden gelmek için RA94 TLD Reader-Analyser ya el ile kontrol edilerek READER olarak ya da bir bilgisayarla birlikte programlanmış kontrol parametreleri ile READER-ANALYSER olarak çalıştırılabilir. Isıtılan *TL* malzemelerinden çıkan ışık sinyali uygun bir 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. Herbir 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 ın eşsiz özelliği ölçülen *TL* şiddetine karşılık değişebilir akustik bir sinyal üretilmesidir. Bu özellik özel uygulamalar için önemli bir amaç olduğunu kanıtlar.

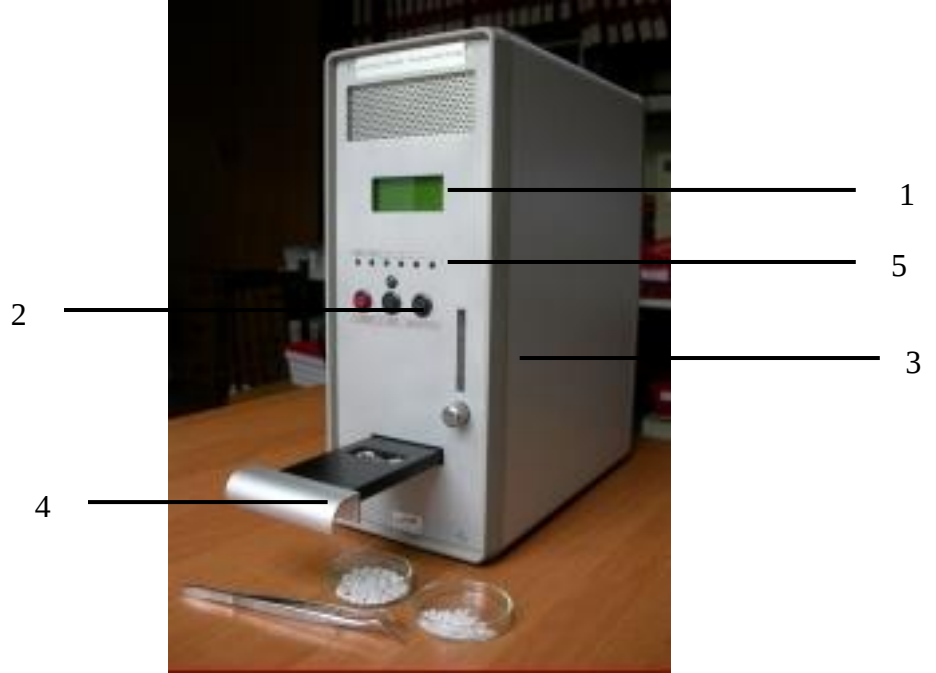
Sistemin Temel Özellikleri

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.

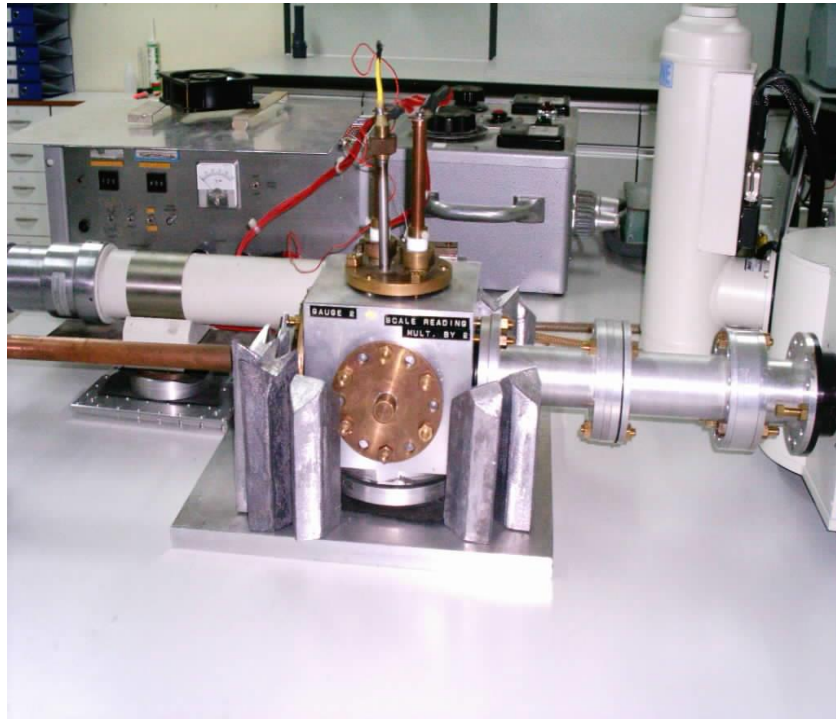
Kontrol Düğmeleri, Girişler ve Çıkışlar



Şekil 3.1 Termoluminesans olayını oluşturan sistem

- 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 malzemeden imal edilmiştir. X-ışınının örnek odasına geldiği pencereye yerleştirilen özel bir sistem sayesinde X-ışını, sistem kapatılmadan istenildiği zaman kesilmektedir.



Şekil 3.2 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.

3.2. Optiksel Sogurma Sistemi

Dogal kuvars kumu örneklerinin sogurma ve geçirgenlik ölçümleri Perkin Elmer marka Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresi ile gerçekleştirilmiştir. Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarı' nda kurulmuş olan söz konusu sistemin fotoğrafı Şekil 3.3.' de gösterilmektedir.



Sekil 3.3. Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan spektrofotometre.

Bu sistem, istenilen numunenin 175 nm den 3300 nm ye kadar mor ötesi (UV)-görünür ısık bölgesi (VIS)- yakın kızıl ötesi (NIR) dalgaboyu aralığında ölçümünün yapılmasına olanak sağlar. Sistem içinde pek çok yansıtıcı bulunmaktadır. Ölçüm aralığındaki her dalgaboyu için, yansıtıcılardan yansıyan ısık demeti referans ve örnek odalarından geçerek detektöre ulaşır. Sistemde detektör olarak UV-VIS aralığı için R6872 fotoçogaltıcı tüp ve NIR için Peltier sogutuculu PbS detektörü bulunmaktadır. Detektörde her dalgaboyu için referans ve örnek odalarından geçen ısığın karşılaştırılmalı ölçümü elde edilir. Sistem aynı anda iki örnek için ölçüm almaya olanak sağlamaktadır. Bunun için ikinci örnek haznesi de vardır. Sistemin ikinci örnek haznesini de gösteren daha yakından çekilmiş bir fotoğrafı Sekil 3.4.'te gösterilmektedir.

Tüm ölçümler boyunca ısık örnek tutucu üzerine dik bir şekilde düşürülmektedir. Ölçüm yapılacak dalgaboyu aralığı, sistemin çözünürlüğü ve hangi tür ölçüm yapılacağı (sogurma, yansıma ve geçirgenlik) “Perkin Elmer UV Winlab” bilgisayar programı ile belirlenir. Elde edilen veriler AXUM programı ile grafik haline getirilir.



Sekil 3.4. İki farklı örnek odasını da içeren Lambda 950 Spektrofotometresi.

3.3. X-Isını Ünitesi

Sistemde kullanılan X-Isını tüpü Şekil 3.4. su soğutmalı tek fazlı Machlett OEG-50A lik bir tüptür. Tungsten hedefe sahip, 0,1 mm alüminyum filtreli, 1 mm Berilyum penceresi olan bir sistemdir. Şekil 3.5.' te gösterilen kontrol ünitesi ile maksimum 50 kV luk gerilim ve 20 mA lik akım değerlerinde çalışmasına olanak sağlar. Bu çalışmada deney sırasında sisteme uygulanan voltaj 30 kV ve akım ise 15 mA dir. Sussex üniversitesinde yapılan incelemelere göre, sistemden bu değerler ile ölçümler alındığında doz hızı (10 cm uzakta) yaklaşık 30 Gy/dak. dır. Bu değerlerin belirlenmesinde, güvenli doz seviyesinin asılmaması dikkate alınmıştır. X-Isını Ünitesi su soğutmalı bir sistemdir ve bu nedenle sistemde sürekli bir su akışı vardır. Sayet su kesilir ise veya su akış hızı 4 litre/ dakika' nın altına düşerse sistem kendini otomatik olarak kapatmaktadır. Su akışının kontrolü, sistem içinde bulunan bir debi ölçer ile takip edilmektedir. Bunun yanı sıra, güvenlik amacıyla numuneyi istenmeyen ısımadan korumak için, X-Isını tüpünün önüne elle kumanda edilen ve örnek tutucuda sabitlenen bir kursun kapak yerleştirilmiştir. Böylece, çalışanların kaza ile X-Isını tüpü açıkken odacığı açıp numune degistirmeleri engellenmiştir.



Şekil 3.5. Işınlama için kullanılan X-Isını Tüpü.



Sekil 3.6. Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan X Işını Tüpü kontrol ünitesi.

4. SONUÇLAR VE YORUM

4.1 Thermoluminesans Ölçümleri

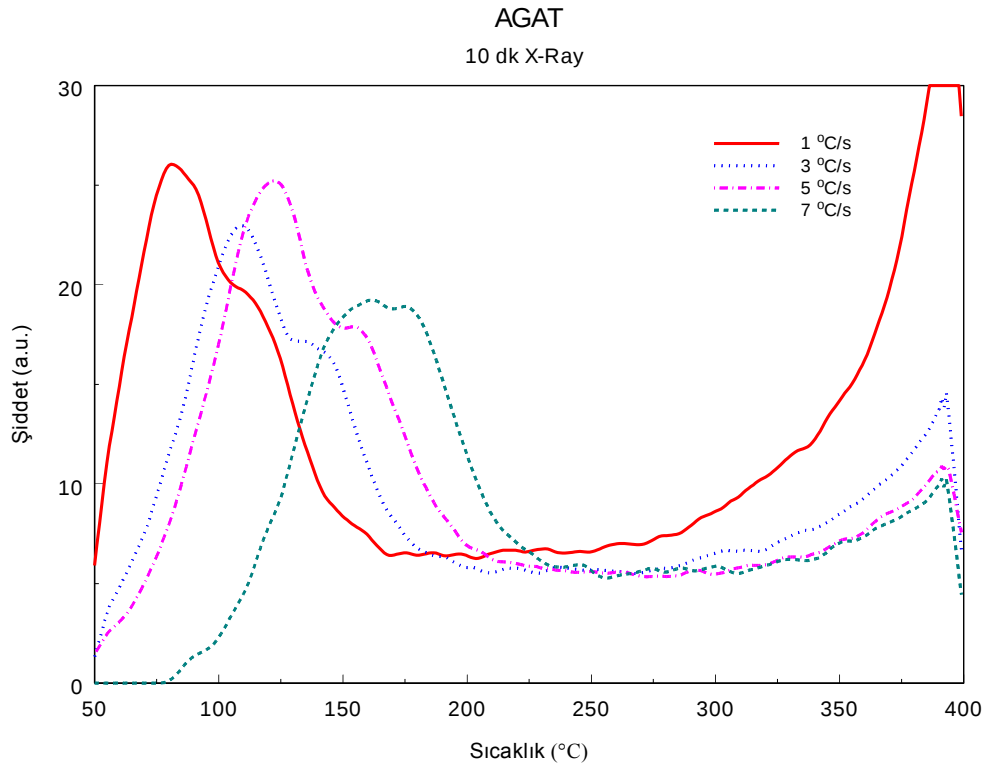
Bu çalışmada Agat (SiO_2) ve Kalsedon (SiO_2) minerallerinin *TL* spektrumları ve doza bağlı değişimi incelenmiş olup bu minerallere ait tuzak enerjileri ve frekans faktörleri hem ısıtma hızı (Heating Rate) hem de Chen metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu minerallerin optiksel absorpsiyonlarına da bakılmıştır.

Örnekler Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan X-ışını tüpü kullanılarak 10 ve 20 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. Burada kullanılan X-ışını tüpü, su soğutmalı, tek fazlı, 0,1 mm alüminyum filtre ve 1 mm berilyum pencereye sahip tungsten hedef içeren Machlett OEG-50A dir. Maksimum 50 kV hızlandırma gerilimi ve 20 mA akım uygulanabilen bu tüp için, 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, 1 °C/s, 2 °C/s, 3 °C/s, 5 °C/s ve 7 °C/s ısıtma hızları ile *TL* spektrumları alınmıştır. Ayrıca ışınlama dozunun etkisini görmek amacıyla da örnekler farklı sürelerde X-ışınına maruz bırakılıp incelenmiştir.

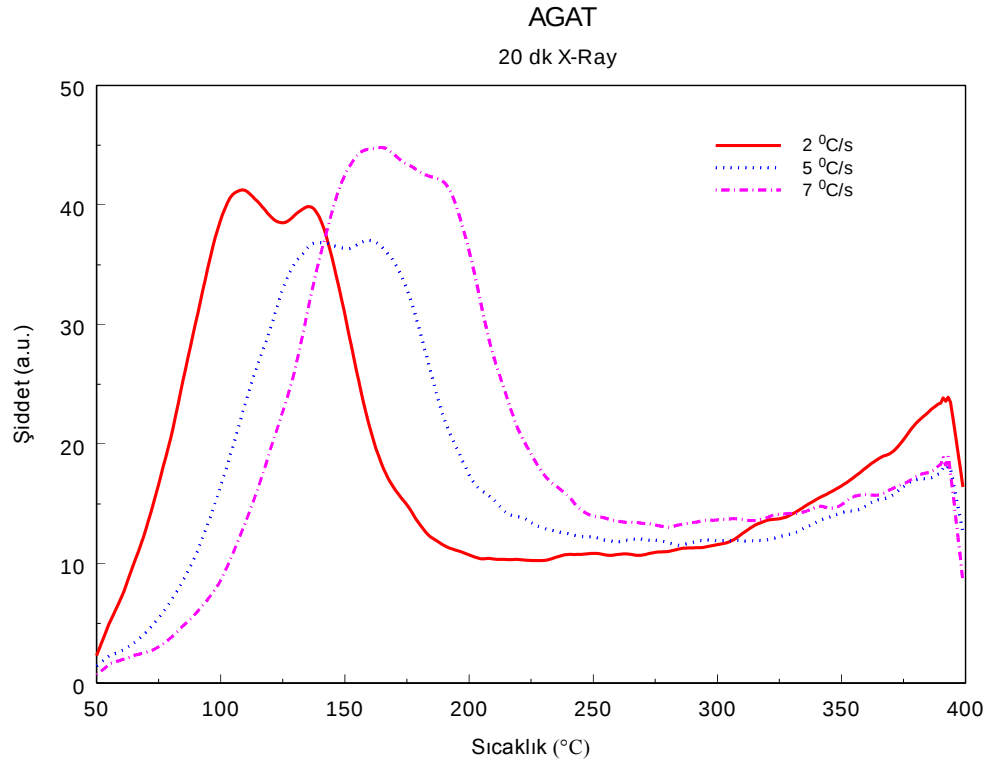
Bütün hesaplamalar tarafımızdan geliştirilen DEGAS-1 adlı program tarafından hesaplanmıştır.



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

$\beta(^{\circ}C/s)$	$T_M(^{\circ}C)$	$T_M(^{\circ}K)$	$\ln(T_M^2 / \beta)$	$1/kT_M$	$I_{Max}(Count/s)$	$I_{Max}(Count/^{\circ}K)$
1	82	355	11,74424	32,69005	26,76	26,76
3	110	383	10,79746	30,30017	70,17	23,39
5	121	394	10,34326	29,45423	128,55	25,71
7	162	435	10,20478	26,67808	136,78	19,54

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



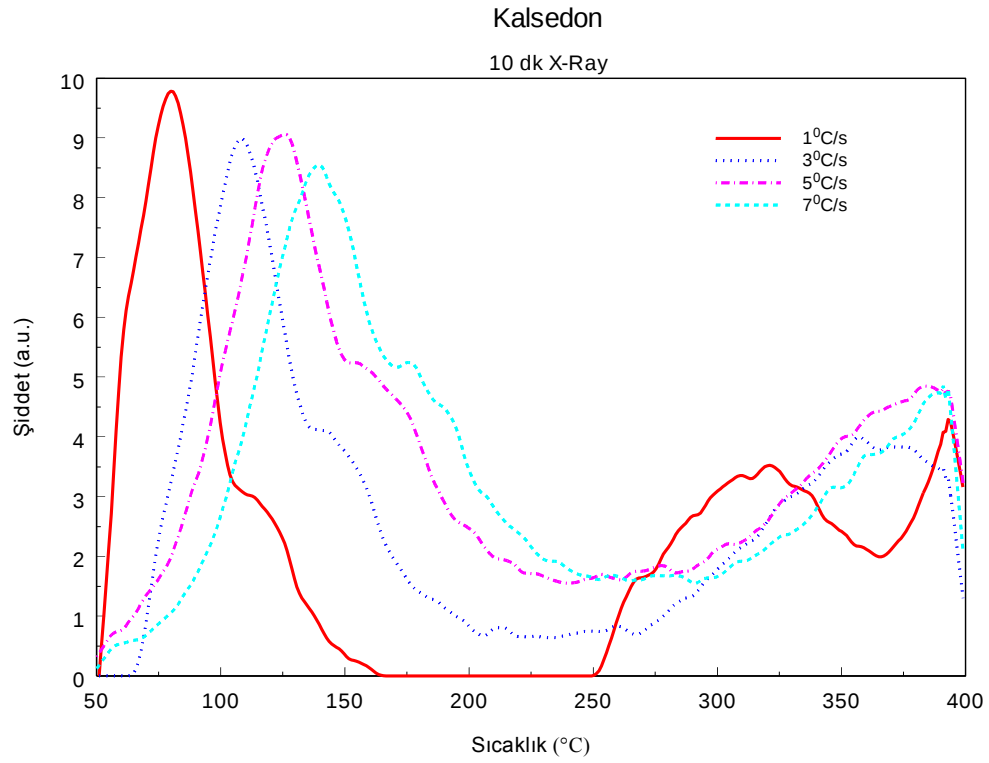
Şekil 4.2 Agat mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumları

$\beta(^{\circ}C / s)$	$T_M(^{\circ}C)$	$T_M(^{\circ}K)$	$\ln(T_M^2 / \beta)$	$1/kT_M$	$I_{Max}(Count / s)$	$I_{Max}(Count/^{\circ}K)$
2	107	380	11,1872	30,53939	84,12	42,06
5	158	431	10,52278	26,92568	188,6	37,72
7	167	440	10,22764	26,37492	318,01	45,43

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

Şekil 4.1-4.2 de sırasıyla 10 dk, ve 20 dk süreyle X-ışınına maruz kalmış Agat mineraline ait termoluminesans spektrumları görülmektedir. Şekil 4.1 de 1 $^{\circ}C/s$ lik ısıtma hızı ile alınan spektrumda 82 $^{\circ}C$ de ve 115 $^{\circ}C$ de belirgin termoluminesans pikleri gözlenmiştir. Isıtma hızının söz konusu piklerin yeri üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla ısıtma hızı 3 $^{\circ}C/s$, 5 $^{\circ}C/s$ ve 7 $^{\circ}C/s$ olarak değiştirilip ölçümler tekrarlanmıştır. Bütün bu spektrumlar incelendiğinde piklerin, genişleyerek sağa doğru kaydığı görülmüştür. Daha yüksek sıcaklıklara doğru meydana gelen bu kayma, örneğin üzerine yerleştirildiği örnek taşıyıcı ile örnek arasında meydana gelen sıcaklık gecikmesinden (termal lag) kaynaklanmaktadır. 400 $^{\circ}C$ den sonra şiddetin yükselmesi siyah cisim ışımasından kaynaklanmaktadır. Bunlar Şekil 4.1 de görülmektedir. Bulunan bu değerler ile yapılan tuzak enerjileri Denklem 4.1 ve Denklem 4.2 ile hesaplanmış ve Tablo 4.5 de gösterilmiştir.

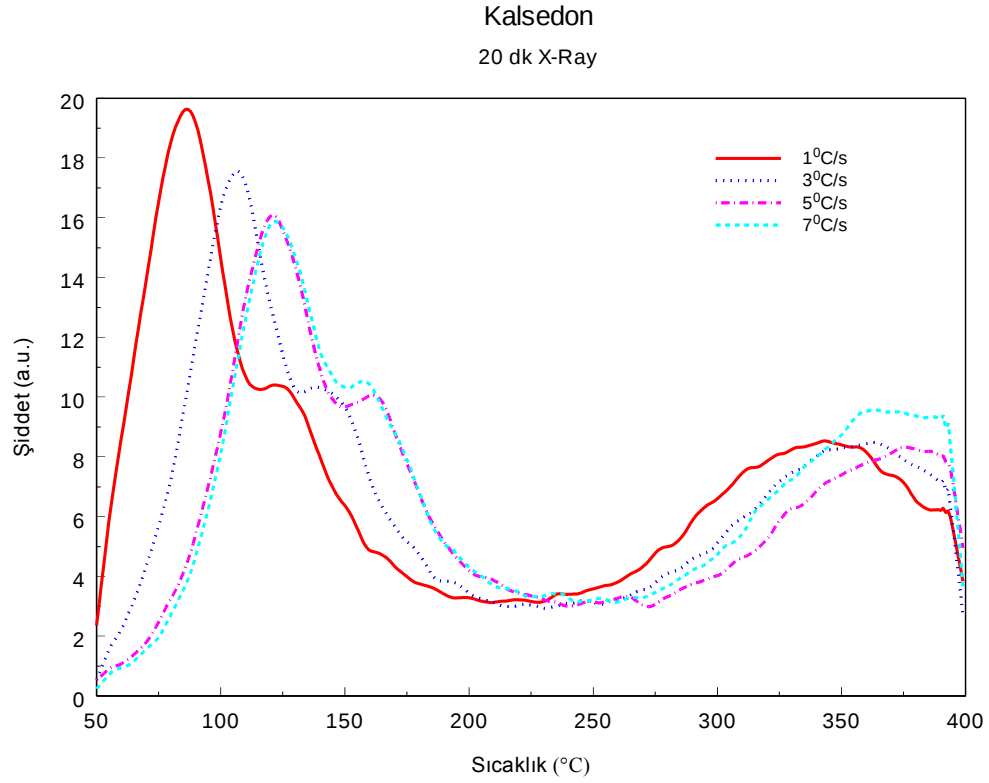
Şekil 4.1 de bulunan bu değerler doz artırımı ile tekrar alınmış ve Şekil 4.2 de ki sonuçlar elde edilmiştir. Bulunan bu sonuçlara göre doz artmasıyla şiddetin artışı ve Şekil 4.1 de bulunan birinci pikin şiddetinin yaklaşık sabit kaldığı, ikinci pikin şiddetinin ise değerinin artışı görülmüştür. Ayrıca bulunan değerler Tablo 4.1-4.2 de gösterilmiştir. Bulunan bu sonuçlara göre hesaplamalar tekrar yapıp bu sonuçlar Tablo 4.5 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Kalsedon mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumları

$\beta(^{\circ}C/s)$	$T_M(^{\circ}C)$	$T_M(^{\circ}K)$	$\ln(T_M^2 / \beta)$	$1/kT_M$	$I_{Max}(Count/s)$	$I_{Max}(Count/^{\circ}K)$
1	78	351	11,72157	33,06258	10,33	10,33
3	108	381	10,78699	30,45923	27,81	9,27
5	125	398	10,36347	29,15821	46,8	9,36
7	139	412	10,09614	28,1674	62,86	8,98

Tablo 4.3 Kalsedon mineralinin 10 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumlarının veri tablosu



Şekil 4.4 Kalsedon mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumları

$\beta(^{\circ}C/s)$	$T_M(^{\circ}C)$	$T_M(^{\circ}K)$	$\ln(T_M^2 / \beta)$	$1/kT_M$	$I_{Max}(Count/s)$	$I_{Max}(Count/^{\circ}K)$
1	86	359	11,76664	32,32581	20,02	20,02
3	109	382	10,79223	30,37949	53,76	17,92
5	120	393	10,33818	29,52918	85,1	17,02
7	123	396	10,01692	29,30547	114,45	16,35

Tablo 4.4 Kalsedon mineralinin 20 dk X ışınına maruz kaldıktan sonra farklı ısıtma hızları ile alınan *TL* spektrumlarının veri tablosu

Şekil 4.3-4.4 de sırasıyla 10 dk, ve 20 dk süreyle X-ışınına maruz kalmış kalsedon mineraline ait termoluminesans spektrumları görülmektedir. Şekil 4.3 de 1 °C/s lik ısıtma hızı ile alınan spektrumda 78 °C de, 114 °C de ve 320 °C de belirgin termoluminesans pikleri gözlenmiştir. Isıtma hızının söz konusu piklerin yeri üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla ısıtma hızı 3 °C/s, 5 °C/s ve 7 °C/s olarak değiştirilip ölçümler tekrarlanmıştır. Bütün bu spektrumlar incelendiğinde piklerin, genişleyerek sağa doğru kaydığı görülmüştür. Daha yüksek sıcaklıklara doğru meydana gelen bu kayma örneğin üzerine yerleştirildiği örnek taşıyıcı ile örnek arasında meydana gelen sıcaklık gecikmesinden (termal lag) kaynaklanmaktadır. 400 °C den sonra şiddetin yükselmesi siyah cisim ışımasından kaynaklanmaktadır. Bunlar Şekil 4.3 de görülmektedir. Bulunan bu değerler ile yapılan tuzak enerjileri Denklem 4.1, 4.2 den hesaplanmış ve Tablo 4.5 de gösterilmiştir.

Şekil 4.3 de bulunan bu değerler doz artırımı ile tekrar alınmış ve Şekil 4.4 de ki sonuçlar elde edilmiştir. Bulunan bu sonuçlara göre doz artmasıyla şiddetin artışı ve Şekil 4.3 de bulunan birinci pikin şiddetinin yaklaşık sabit kaldığı, ikinci pikin şiddetinin ise değerinin artışı görülmüştür. Ayrıca bulunan değerler Tablo 4.3-4.4 de gösterilmiştir. Bulunan bu sonuçlara göre hesaplamalar tekrar yapıp bu sonuçlar Tablo 4.5 de gösterilmiştir.

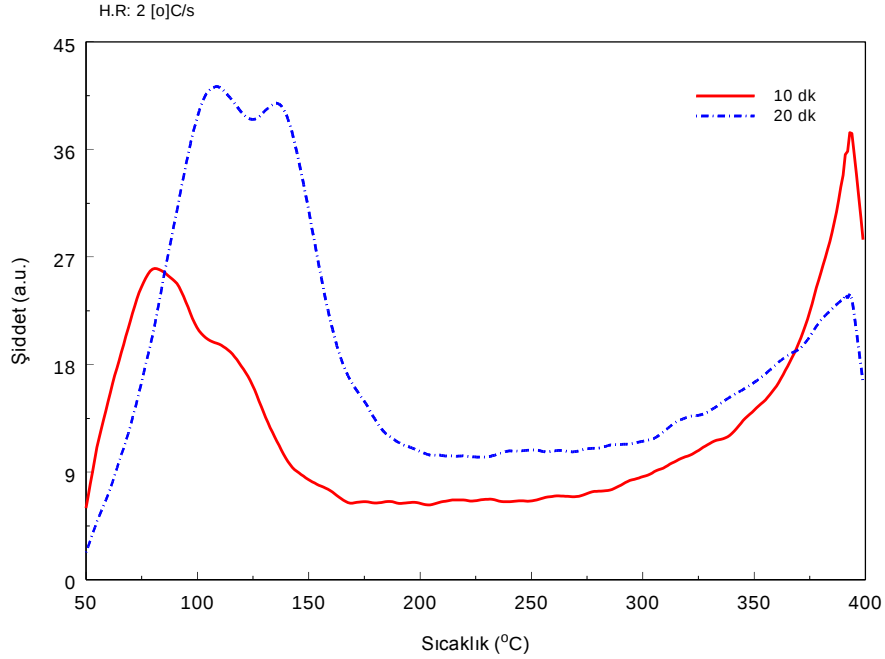
Farklı ısıtma hızları metodu kullanılarak elde edilen piklerin tuzak derinlikleri hesaplanabilir. Bu amaçla hem Agat hem de Kalsedon için elde edilen *TL* spektrumları (Şekil 4.1-4.4) kullanılarak Tablo 4.1-4.4 elde edilmiştir. Bu sayede farklı ısıtma hızları metodu ile

$$E = k \frac{T_{M1}T_{M2}}{T_{M1} - T_{M2}} \ln \left[\frac{\beta_1}{\beta_2} \left(\frac{T_{M2}}{T_{M1}} \right)^2 \right] \quad (4.1)$$

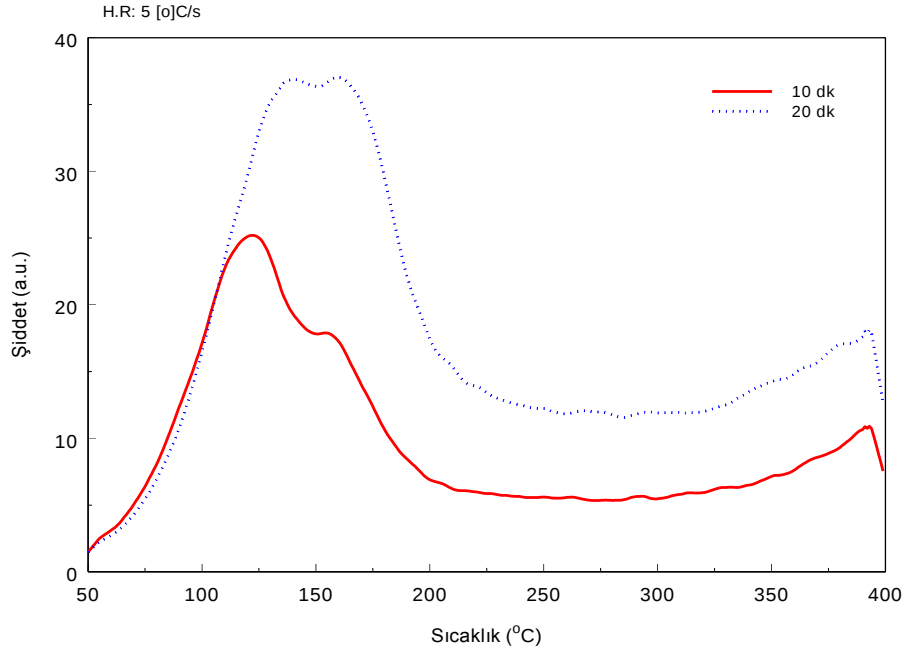
$$E = k \frac{T_{M1}T_{M2}}{T_{M1} - T_{M2}} \ln \frac{I_{M1}}{I_{M2}} \quad (4.2)$$

denklemleri kullanılarak, her iki örnek için de spektrumda yer alan ilk piklerin tuzak derinliği hesaplanmıştır. Ayrıca aynı yöntem kullanılarak, $(\ln(T_M^2 / \beta) - 1/T_M)$ grafiğinin (Şekil 4.15) çizilmesi ile de, grafiğin eğiminden, tuzak derinlikleri hesaplanmıştır (Tablo 4.5).

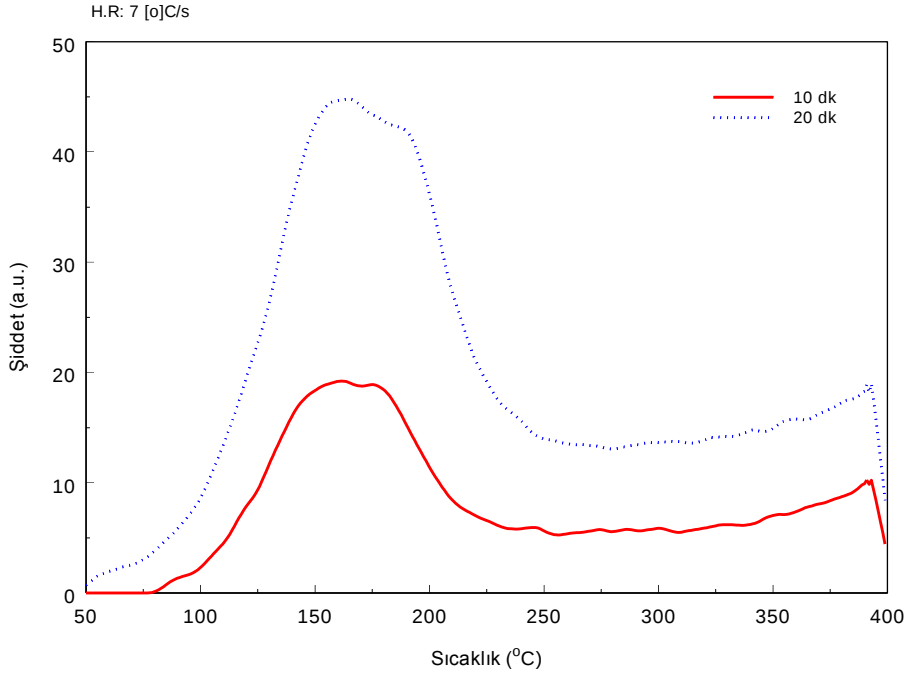
Ayrıca minerallerin *TL* spektrumları ısıtma hızı sabit tutulup ışınlama süresi değiştirilerek de incelenmiştir (Şekil 4.8-4.14). Bu amaçla 10 dk, 20 dk, X-ışınına maruz bırakılan numuneler sabit ısıtma hızlarıyla (1 °C/s, 2 °C/s, 3 °C/s, 5 °C/s ve 7 °C/s) *TL* spektrumları alınmıştır. Spektrumlar incelendiğinde 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.



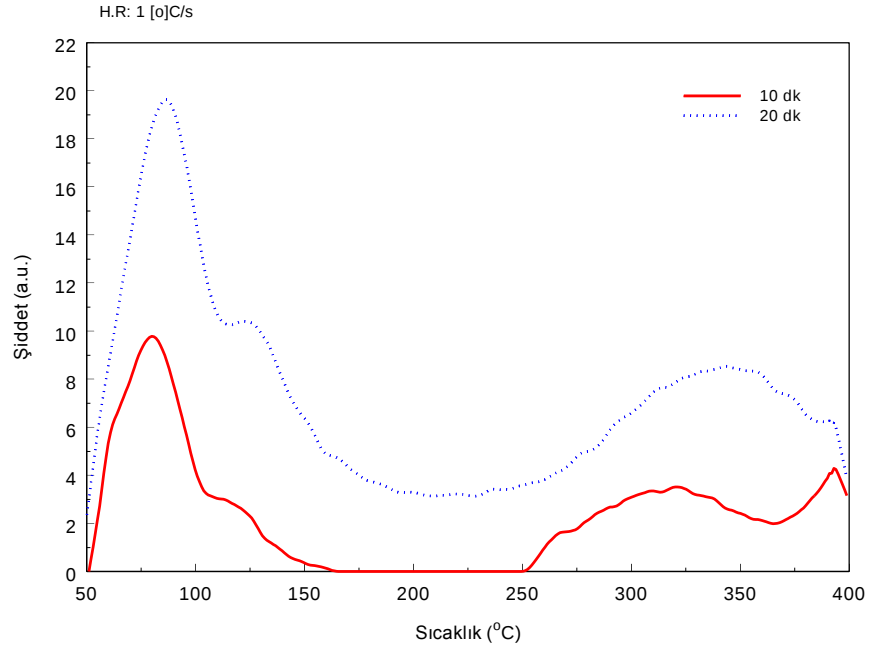
Şekil 4.5 Agat mineralinin 2 °C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği



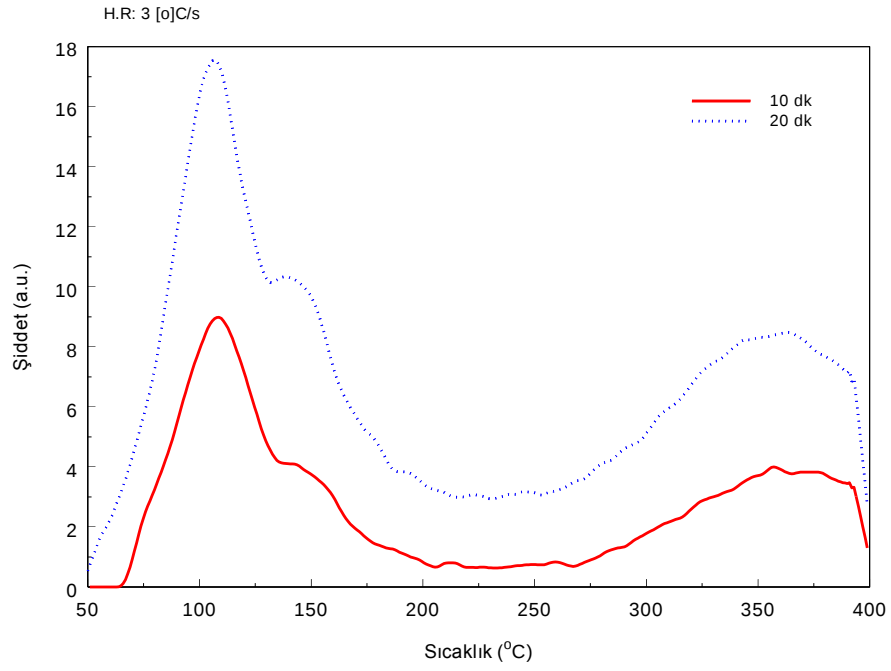
Şekil 4.6 Agat mineralinin 5°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği



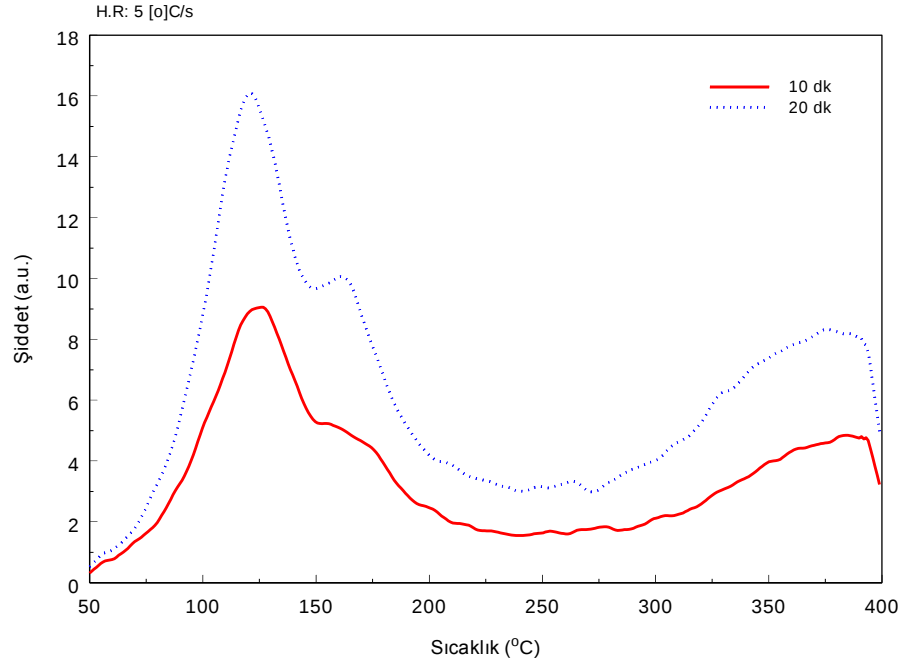
Şekil 4.7 Agat mineralinin 7°C/s ısıtma hızında doza bağlı değişim grafiği



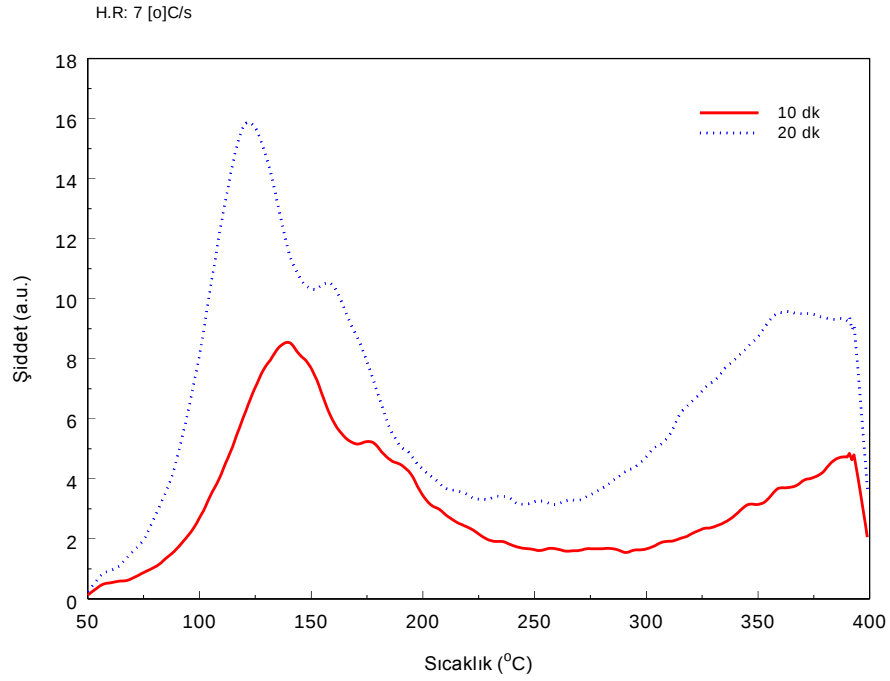
Şekil 4.8 Kalsedon mineralinin 1 °C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği



Şekil 4.9 Kalsedon mineralinin 3 °C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği

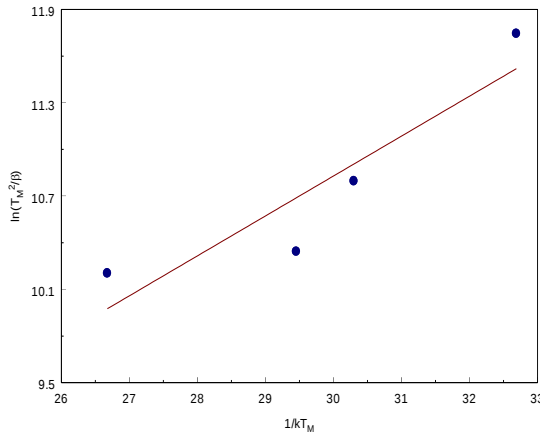


Şekil 4.10 Kalsedon mineralinin 5°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği

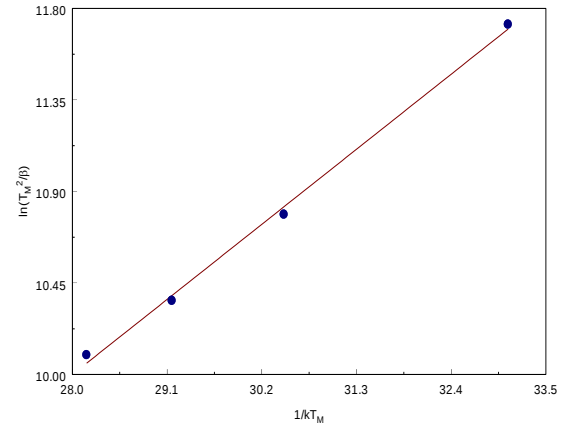


Şekil 4.11 Kalsedon mineralinin 7°C/s ısıtma hızında zamana bağlı değişim grafiği

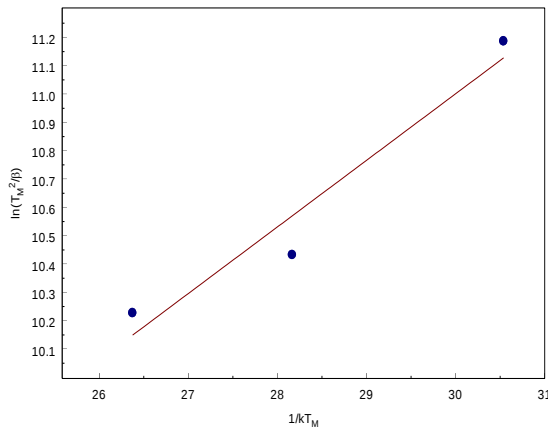
Agat ve Kalsedon minerallerinin ısıtma hızlarının sabitlenip doz miktarlarının artırılması ile elde edilen sonuçlar şekil 4.5-4.11 te gösterilmiştir. Bulunan sonuçlara göre hem Agat hem de Kalsedon minerallerinin aldıkları doz miktarınca ışıma şiddetlerinin arttığı bu sonuçlardan görülmektedir. Bulunan bu sonuçlara göre her iki mineralin lüminesent madde özelliği gösterdiği ve bu özelliğine binaen bu minerallerin dozimetrik özelliklere sahip olduğu söylenebilir. Bu amaçla her iki mineral ileriki çalışmalarda daha iyi incelenip birçok farklı özellikleri gün yüzüne çıkartılabilir. Ayrıca bu mineraller hakkında literatürde az bilgiye rastlanması sebebiyle bu özelliklerinin incelenmiş olması bu tez için önem arz etmektedir.



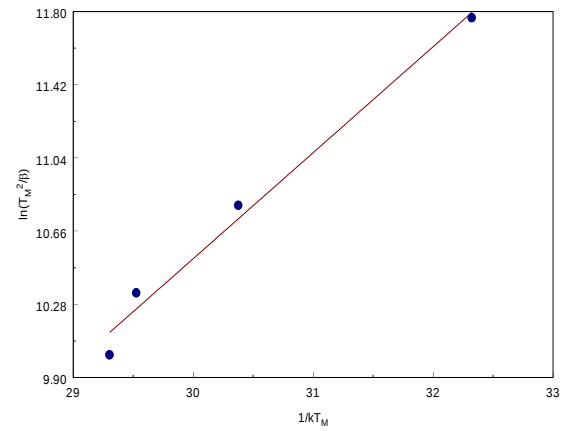
Agat 10dk



Kalsedon 10dk



Agat 20dk



Kalsedon 20 dk

Şekil 4.12 $\ln(T_M^2 / \beta)$ 'nın $1/T_M$ 'ye oranından elde edilen enerji değeri grafikleri

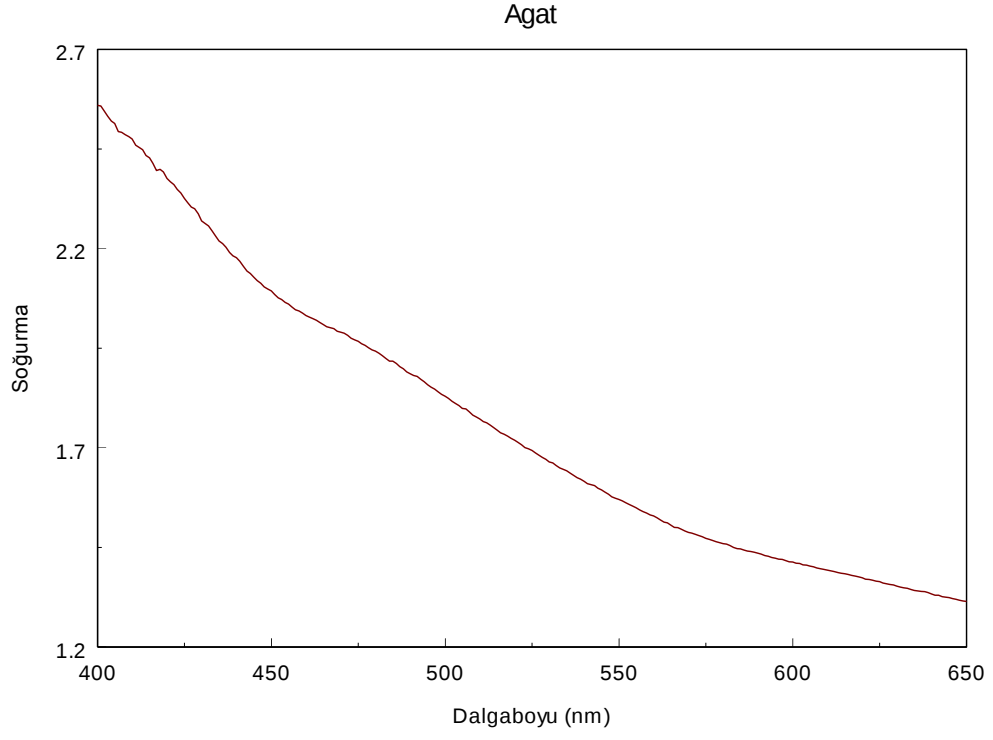
	Isıtma Hızı metodu		Diğer enerji değerleri			
	Denklem (2.10)	Denklem (2.11)	Şekil 4.7 deki grafiklerden	Chen metodu		
				E_{τ}	E_{δ}	E_{ω}
Agat 10 dk X-Ray	0,306	0,347	0,257	0,763427	0,647981	0,68821
Agat 20 dk X-Ray	0,221	0,317	0,235	0,583397	0,626707	0,60766
Kalsedon 10 dk X-Ray	0,323	0,365	0,337	0,79586	0,819355	0,812008
Kalsedon 20 dk X-Ray	0,714	0,695	0,550	0,713813	0,728703	0,724412

Tablo 4.5 Agat ve Kalsedon minerallerinin 10 dk-20 dk ışınlama sürelerine göre farklı metotlarla hesaplanan enerji değerlerinin gösterildiği tablo

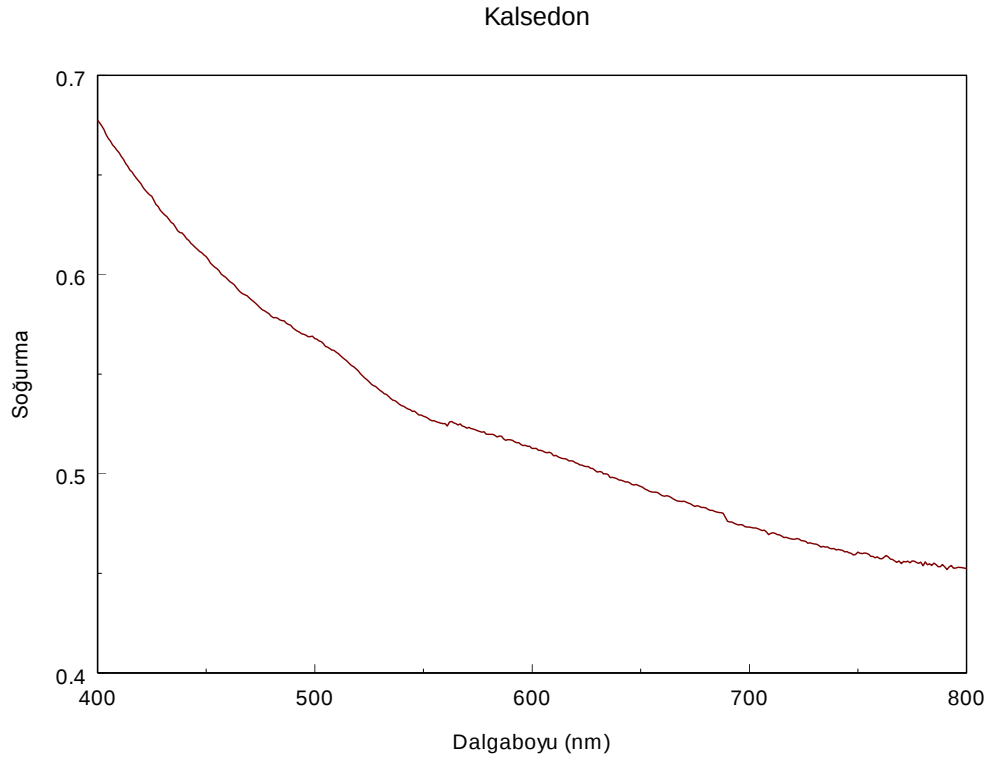
Örneklerin tuzak derinliğini belirleme de kullanılan yöntemlerden biri de Chen (Pik şekli) metodu olarak bilinen metottur. Bu metot kullanılarak agat ve kalsedon için yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen E_{τ} , E_{δ} , E_{ω} enerji değerleri Tablo 4-5’de verilmektedir. Değerlerde meydana gelen farklılıkların deneysel hatalardan meydana geldiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak alınan TL ölçümleri ve hesaplanan şekil a da bulunan sonuçlar ile Tablo 4.5 oluşturulmuştur. Bulunan bu sonuçların büyük oranda birbiriyle uyumlu olduğu bulunmuştur.

4.2 Soğurma Ölçümleri



Şekil 4.13 Agat mineralinin optiksel soğurma grafiği



Şekil 4.14 Kalsedon mineralinin optiksel soğurma grafiği

Agat ve kalsedonun optiksel soğurma spektrumlarına bakıldığında yaklaşık olarak 480 nm’de ve 510 nm’de soğurma pikleri görülmektedir. 480 nm’deki soğurma pikinin titanyum nadir toprak alkali elementleri ile bileşik yapmasından kaynaklanan bir pik olduğu bilinmektedir. 510 nm’deki soğurma pikinin ise demirden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçların Agat ve Kalsedon mineralinin renklerinin arasında da bir bağ olduğu düşünülmektedir. Bulunan bu sonuçların Ignatov ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmaya uyduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

O.İçelli Bazı bileşikler ve kristallerde lineer diferensiyel saçılma katsayılarının dağılımının ölçülmesi ve etkin atom numarasına göre değişiminin incelenmesi, Atatürk Üniversitesi, 2002.

O.İçelli Farklı Elementler İçin Koherent Saçılma Diferansiyel Tesir Kesitinin Ölçülmesi “Yüksek Lisans Tezi ,Atatürk Üniversitesi, 1998.

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

R.Kibar “Farklı Metal İyonları İle Bombalanan SrTiO₃ Kristalinin Ve Bazı Minerallerin Nükleer Ve Diğer Yöntemlerle İncelenmesi” Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 2007.

M. Yüksel “ Orta Anadolu Fluoritlerinin (CaF₂) 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 CaSO₄ İle Dy Katkılanmış CaB₄O₇ Termolüminesans Malzemelerin Kinetik Parametrelerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 2009.

A.Ege “Yalıtıcıların Katodolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, 2002.

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 Luminescenz, Ann. Phys. Chem. Neue Folge, 54:604, (1895).

(Steinmentz ve Gisser , 1936)

- (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.
- Z. Wu, A. Turkler, R. Brooks et.al. “Luminescence Characterisation of Defects in Pld Alumina and Copper Implanted Silica” NIM B 191 (2002) 121-126.
- 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.
- C. Furetta, University of Rome ‘La Sapienza’, P.S. Weng, National Tsing Hua University, Operational Termoluminescence Dosimetry , World Scientific Publishing Co, Pte-Ltd, 1998.
- (Chen ve Winer ,1970)
- 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 Aralığında Bulunan Yerel Enerji Seviyelerinin Isısal Uyarılmayla Isıma Yöntemi Kullanılarak Çalışılması” 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.
Amerikan jeoloji, Cilt 79, sayfa 452-460, 1994

<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Agathe%20vixpellucida%20nebulosa%20colgriseo%20ore%20mixta>

S.I.Ignatov, A.N. Platanov, V.S. Sedenko et.al. “Rose Color of Quartz Caused by Dumortierite Microinclusions” Dop. Akad. Nauk Ukrain. RSR Seriya B 7 (1990) 23-27.

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

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