T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KEMERERİT'İN KARAKTERİZASYONU VE LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlker Çetin KESKİN

Anabilim Dalı :Fizik

Programı :Katıhal Fiziği

MANİSA 2012

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KEMERERİT'İN KARAKTERİZASYONU VE LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlker Çetin KESKİN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25.06.2012

Tezin Savunulduğu Tarih : 11.07.2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETİN

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Rana KİBAR

: Yrd. Doç. Dr. Coşkun HARMANŞAH

MANİSA 2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa Numarası

İÇİNDEKİLER ..... **III**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **V**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **VII**
TEŞEKKÜR ..... **VIII**
ÖZET ..... **IX**
ABSTRACT ..... **X**
1. GİRİŞ **1**
2. MİNERALLER **2**
2.1 . MİNERALOJİ 3
2.2 . KRİSTALLER 3
2.3 . AMORFLAR 4
2.4 . KRİSTAL SİSTEMLERİ 4
2.5 . KRİSTAL KUSURLARI 7
2.5.1 . Noktasal Kusurlar *8*
2.5.2 . Çizgisel (doğrusal) kusurlar; *9*
2.5.3 Düzlemsel yada İki Boyutlu Kusurlar *9*
2.5.4 . Kütle (Hacimsel) Kusurları *10*
3. MİNERALLERİN ÖZELLİKLERİ **10**
3.1 . ELASTİKİYET 10
3.2 SERTLİK 11
3.3 DİLİNİM VE KIRILMA 11
3.3.1 Dilinim *11*
3.3.2 Kırılma *12*
3.4 RENK VE PARLAKLIK 13
3.4.1 Renk *13*
3.4.2 Parlıklık *13*
3.5 BAĞIL YOĞUNLUK 14
4. LÜMİNESANS **15**
4.1 YARILANMA ÖMÜRLERİNE GÖRE LÜMİNESANS 16
4.1.1 Floresans ve Fosforesans *16*
4.2 UYARMA TÜRLERİNE GÖRE LÜMİNESANS 18
4.3 RADYOLÜMİNESANS (RL) 19
4.4 KATODOLÜMİNESANS (CL) 20
4.5 FOTOLÜMİNESANS (PL) 21
4.6 TRİBOLÜMİNESANS 21
4.7 ELEKTROLÜMİNESANS (EL) 21
4.8 TERMOLÜMİNESANS (TL) 21
4.8.1 Termolüminesans Teorisi *22*
4.8.2 Termolüminesans Kinetikleri *25*
5. . DENEYSEL SİSTEMLER **30**
5.1.1 TLD Reader-Analyser Sisteminin Çalışma Prensibi *31*
5.1.2 Temel Özellikleri *32*
5.2 OPTİKSEL SOĞURMA SİSTEMİ 33

5.3 SEM (TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU) 37
5.3.1 SEM'in Çalışma Prensibi *38*
5.4 EDX SİSTEMİ 39
5.5 XRD SİSTEMİ 41

6. MATERYAL VE METOT 43

6.1 GİRİŞ 43
6.2 KEMERERİT MİNERALİNİN ÖZELLİKLERİ 44
6.2.1 Kemererit *44*

7. SONUÇLAR 45

7.1.1 Termolüminesas Verileri *45*
7.1.2 Katodolüminesans Verileri *47*
7.1.3 Doğrusal Optik Verileri *48*
7.1.4 SEM Verileri *49*
7.1.5 XRD Verileri *51*
7.1.6 EDX Verileri *52*

8. TARTIŞMA VE YORUM 53

KAYNAKLAR 54

ÖZGEÇMİŞ 57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa Numarası

Şekil 2.1 a) Düzenli, (b) düzensiz atomlara sahip bir kristal yapısı 5
Şekil 2.2 Bir birim hücrenin şematik olarak gösterilmesi (Url 1) 5
Şekil 2.3 Kristal sistemlerinin gösterimi 6
Şekil 2.4 Bazı noktasal kusurlara örnekler (a) örgüdeki boşluk hatası (b) örgü atomlarından veya dışarıdan bir yabancı atomun örgüye dahil olmasıyla oluşan hata (c) kristal örgüsünden ayrılıp aynı zamanda boşluk hatasına sebep olması (d) örgüdeki atomların farklı atomlarla yer değiştirme hataları (Url 2) 8
Şekil 2.5 (a) Frenkel kusuru, (b) Schottky kusuru (Url 3) 8
Şekil 2.6 (a) ve (b) kenar kusurları, (c) ve (d) vida kusurları (Url 4 [a,b,c,d]) 9
Şekil 2.7 (a) Tane sınırı kusurları (b) ikizleme sınırı kusurları (Url 5-a,b) 9
Şekil 2.8. Hacimsel kusurlar 10
Şekil 3.1 Mika (Url 6) 10
Şekil 3.2 Mohs'un sertlik cetveli 11
Şekil 3.3 Dilinim türleri (Url 7) 12
Şekil 3.4 Farklı Mineral renkleri (Url 8) 13
Şekil 3.5 (a) Metalik olmayan mineral (b) Metalik mineral (Url 9 [a,b]) 13
Şekil 4.1 Farklı yollarla oluşan lüminesans 15
Şekil 4.2 Floresans ve fosforesans olaylarının şematik olarak gösterilmesi 17
Şekil 4.3 Fosforesans olayına bir örnek 17
Şekil 4.4 Radyolüminesans olayının band diyagramındaki gösterimi 19
Şekil 4.5 Örnek bir RL spektrumu 19
Şekil 4.6 Değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki geçişlerin şematik diyagramı 20
Şekil 4.7 Termolüminesansın oluşum mekanizması 23
Şekil 4.8 Termolüminesans parıldama eğrisi 24
Şekil 4.9 Birinci ve ikinci derece kinetikler için TL ışıma piklerinin karşılaştırılması 26
Şekil 4.10 Farklı kinetik dereceleri (b parametresi) için (4.8) denklemi kullanılarak hesaplanan genel dereceli TL ışıma pikleri. 28
Şekil 4.11 Değişik kinetik dereceler arasında gerçekleşen farklı süreçler 29
Şekil 5.1 Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuarında bulunan RA94 30
Şekil 5.2 TLD okuyucunun basit diyagramı 33
Şekil 5.3 Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuarında bulunan Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sistemi 33
Şekil 5.4 Perkin Emler Lambda 950 spektrofotometre sisteminin iç yapısının şematik gösterimi. 35

Şekil 5.5 İki farklı tür örnek odasını da içeren Lambda 950 Spektrofotometresi 36
Şekil 5.6 Yansıma ölçümlerinin yapıldığı örnek odasının şematik gösterimi 36
Şekil 5.9 İYTE'de bulunan Phillips XL-30 marka SEM mikroskobu (Url 11) 38
Şekil 5.10 EDX sisteminin basit diyagramı (URL 14)..... 40
Şekil 5.11 Fe için K-Alfa, K-Beta, L-Alfa X-ışınları ve EDX spektrumu (Url 15)..... 40
Şekil 5.12 Bir katıdaki x-ışınlarının yansıması 42
Şekil 5.13 XRD Cihazı (MTA) (Url 16)..... 42
Şekil 7.1 Kemererit için doğal TL spektrumu..... 45
Şekil 7.2 Kemererit için 10 dk x-ışınına maruz kaldıktan sonra alınan TL spektrumu 46
Şekil 7.3 Kemererit'e ait AC CL spektrumu..... 47
Şekil 7.4 Kemererit mineralinin optiksel soğurma spektrumu 48
Şekil 7.5 Kemererit için 150 büyütmede SEM görüntüsü..... 49
Şekil 7.6 Kemererit için 1000 büyütmede SEM görüntüsü..... 49
Şekil 7.7 Kemererit için 5000 büyütmede SEM görüntüsü..... 50
Şekil 7.8 Kemererit için 10000 büyütmede SEM görüntüsü..... 50
Şekil 7.9 Kemererit için elde edilen XRD spektrumu 51

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa Numarası

Çizelge 2.1 Yedi kristal sistemi ve bravais örgüleri 6
Çizelge 3.1 Minerali oluşturan atomlar ve ağırlıklarına göre bağıl yoğunluğun değişimi 14
Çizelge 3.2 Aynı bileşime sahip elmas ve grafitin bağıl yoğunluklarının değişimi. 14
Çizelge 5.1 Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sisteminin teknik özellikleri 34
Çizelge 7.1 Kemererit için EDX yöntemi ile belirlenen elementler 52

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesinde ve tezimin oluşması aşamasında bana sürekli destek olan, deneyim ve bilgilerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETİN ve Sayın Doç. Dr. Rana KİBAR' a gönülden teşekkür ediyorum.

Tez konumun temeli hakkında bilgilerimi dersinde edindiğim Sayın Prof. Dr. Nurdoğan CAN hocama teşekkürü bir borç bilirim.

TL ölçümlerinin alınması ve yorumlanması sırasında vakitlerini ayırıp yardımcı olan değerli arkadaşlarım Murat TÜREMİŞ, Mehmet İsmail KATI, Ramazan GÜMÜŞ ve Bora TAŞTEKİN' e, ayrıca incelenen malzemeye ait bazı analizlerde benden yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Serhan URUŞ' a yürekten teşekkür ederim.

Ayrıca uzun süredir kahrımı çeken, beni her an destekleyen, yanımda olan ve artık hep olacağını düşündüğüm Tülay DİNÇEL' e sevgilerimle.

Hayatımın her anında ve aldığım tüm kararlarda bana güvenen ve arkamda olan , maddi manevi desteklerini, dualarını üzerimden eksik etmeyen aileme şükranlarımla.

İlker Çetin KESKİN

ÖZET

KEMERERİT'İN KARAKTERİZASYONU VE LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

KESKİN İlker Çetin

Yüksek Lisans Tezi, Fizik Bölümü

Tez Yöneticisi: Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETİN

Bu çalışmanın amacı kemererit mineralinin karakterizasyonu ve lüminesans özelliklerinin incelenmesidir**.** Bu amaç doğrultusunda Erzincan Kop Dağı bölgesinden çıkarılan kemereritin optiksel soğurma spektrumları ve lüminesans ışıma eğrileri alınmıştır. Termolüminesans (TL) ölçümleri öncesinde mineral, üzerindeki doğal radyasyon etkisini silmek amacıyla ısıtılmıştır. Farklı dozlarda X- ışınına maruz bırakılan numunenin 50-400 ^{o}C sıcaklık aralığında TL spektrumu alınmıştır. Kemereritin katodolüminesans (CL) spektrumu 300 K de 24 keV enerjiye sahip elektron demeti kullanılarak 250-800 nm aralığında incelenmiştir.. Ayrıca soğurma, TL ve CL ölçümlerinin yanı sıra taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) analizleri yapılmıştır. Bu analizler sayesinde kemereritin karakterizasyonu hakkında detaylı bilgi elde edilmiştir.

SEM fotoğraflarıyla da triklinik yapıya sahip olduğu görülen kemererit minerali ile alınan TL spektrumunda 102, 148, 224, 305 ^{o}C de TL pikleri elde edilmiştir. Numunenin oda sıcaklığında alınan CL spektrumunda elektromanyetik spektrumun kırmızı bölgesinde (698 nm) geniş bir emisyon bandı gözlenmiştir. Optiksel soğurma spektrumunda, kemereritin 1200, 1330, 1420 ve 1720 nm'de belirgin soğurma bandlarına sahip olduğu görülmüştür. XRD ve EDS analizleriyle kemereriti oluşturan elementler tayin edilmiştir.

Yapılan literatür çalışmasına göre, kemererit mineraline ait termolüminesans ve optiksel soğurma özellikleri ve karakterizasyon analizlerini içeren bir envantere rastlanmamıştır. Bu açıdan, yapılan çalışmanın böyle bir envanterin oluşturulmasına bir katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kemererit, Termolüminesans, Katodolüminesans, Optiksel Soğurma, SEM, XRD,EDS

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF CHARACTERISTIC and LUMINESCENCE PROPERTIES OF KAMMERERITE

KESKİN İlker Çetin

Master Thesis, Department of Physics

Supervisor: Asst. Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETİN

The aim of this study, luminescence properties of kammererite is examined. For this reason the the optical absorption and luminescence spectra of kammererite obtained from the Erzincan-Kop Mountain region are measured. Before the thermoluminescence measurements, mineral is heated in order to erase the effect of natural radiation on gemstones. The samples exposed to different doses of X-ray are taken TL spectra in the range of 50-400 ° C temperature. The cathodoluminescence (CL) spectrum of kammererite are investigated in the range of 250-800 nm at 300 K using the electron beam of 24 keV enegry. Also, the scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) analysis are done. The detailed knowledge about of kammererite are obtained with these analyses.

It was obtained TL peaks at 102, 148, 224, 305 ^{o}C for kammererite which seem to be a triclinic structure with SEM photographs. The wide emission band is observed in the red range of electromagnetic spectrum (698 nm) within the CL spectrum of sample. obtained at room temperature. In the optical absorption spectrum of the kammererite, a few absorption band is obtained at 1200,1330,1420 and 1720 nm. The elements constituent of kammererite are determined with XRD and EDS analyses.

According to the study of literature, thermoluminescence, optical absorption properties and characterization analysis of kammererite are not found. Therefore, this study is expected to provide a contribution to the creation of such an inventory.

Key words: Kammererite, Thermoluminescence, Cathodoluminescence, Optical absorption, SEM, XRD,EDS.

1. GİRİŞ

Ülkemizin endüstriyel hammaddeleri içerisinde geleceği en parlak ve en yüksek getirisi olabilecek ürünlerin başında mineraller ve doğal süstaşları gelmektedir. Yer kabuğunu oluşturan katı maddelerden bazı mineraller ve onların alt türleri, bazı kayalar ve organik maddeler; ender bulunuşları, fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki ayrıcalıklar nedeniyle mücevher taşı, kıymetli taşlar ya da yarı kıymetli taşlar olarak değer kazanırlar. Bunlardan bazıları yalnızca jeolojik değişimlerin bazı özel koşullarının etkisi altında kalan belirli bölgelerde bulunur ve bulundukları bölgenin dünyaca tanınmasını sağlayabilirler.

Çoğu ülkede süstaşı olabilecek nitelikteki malzemelerin bu amaca yönelik kullanımı düşünülmediği için, bu tür malzemeler gang diye tabir edilen atık malzeme topluluğu olarak varsayılırlar. Bu durumda da önemli bir ekonomik kayıp ve ülkeye ait öz kaynakların değerlendirilmemesi ortaya çıkar. Bu tür malzemeler açısından çok zengin ve yalnızca ülkemize has olan mineral ve süstaşlarının ekonomik yönü malesef henüz tam olarak fark edilememiştir.

Tez çalışmamızda kullandığımız Kemererit mineralinin öncelikle lüminesans özellikleri incelenmiştir. Lüminesans olayını kısaca açıklamak gerekirse; bir kristale verilen enerjinin kristal tarafından anında veya belli bir süre sonra, kendiliğinden yada uyarma sonucu elektromanyetik ışınım olarak geri verilmesi olayına “Lüminesans” denir. Kristallerde, iletkenlik bandı ile değerlik bandı enerji aralığında, kuantum teorisine göre yasaklanmış olmasına rağmen, ara enerji seviyeleri bulunur. Bu ara enerji seviyeleri kristalin yapı bozuklukları veya kristalde yabancı atomların bulunmasından kaynaklanır ve boşluk ya da elektronlar için tuzak oluşturur. Lüminesans olayında, kristale herhangi bir yolla verilen enerji, değerlik bandından elektron veya deşiklerin bağını kırar ve bunların daha üstteki tuzak adı verilen ara enerji seviyelerine çıkmasına sebep olur. Tekrar bir uyarma ile elektron veya deşikler, bu ara seviyeden iletkenlik bandına çıkarılır. Kararsız durumdan ilk durumuna (daha kararlı duruma) geçerken elektronlar ve deşikler, aldıkları enerjiyi ışık fotonu olarak dışarı yayarlar. Kristalden salınan ışık miktarı tuzaklardaki elektron ve boşlukların sayısı ile orantılıdır(Gökçe, 2008).

Çalışmada, Erzincan Kop Dağı Krom madenlerinden çıkarılan Kemererit mineralinin termolüminesans özelliklerinin yanısıra, malzemenin karakterizasyonu amaçlanarak optiksel absorbsiyon, katodolüminesans ölçümleri, ayrıca SEM, ICP-MS, XRD ve XRF analizleri hakkında bilgi verilecektir.

2. MİNERALLER

Mineral, Yunanca (Mineralis), “mina” (yani kuyu) kelimesinden gelmiştir ve günümüze kadar yerkabuğundan çıkarılan madde olarak düşünülmüştür. Mineral şöyle tanımlanabilir: Katı yerkabuğuna ait olan, doğal yollardan oluşmuş, homojen ve anorganik maddelerdir ve kimyasal formüllerle ifade edilirler. Örneğin, kalsit=$CaCO_3$, silis=SiO_2, turkuaz=$CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8.4\text{-}5H_2O$ gibi. Minerallerin herhangi bir parçası mineralin bütün özelliklerini yansıtır. Genellikle katı halde bulunmalarına rağmen nadiren sıvı halde de olabilirler. (civa gibi). Doğal olmayıp sentetik yollarla elde edilenler ve böbrek taşları gibi insan bünyesinde oluşanlar mineral sayılmazlar. Ekonomik değeri olan minerallere “maden” denir. Meteoritler hem maden hem de mineral özelliği gösterebilirler.

Yerkabuğunun 16 km. lik üst bölümü yer altı zenginliklerine sahiptir. Ancak, şimdiye kadar yerkabuğunun 6 km. lik kısmı incelenebilmiştir. İnsanoğlunun minerallerle ilgilenmesi, onları savunma aracı olarak kullanmalarıyla başlar. Sonraki zamanlarda mineraller süs eşyaları ve ticari amaçlar için kullanılmaya başlanmıştır. Bu süreç günümüze kadar bu şekilde devam etmiştir. Günümüzde ise mineraller süstaşı ve ekonomik yönlerinin yanı sıra gıda, otomotiv, silah, sağlık ve eğitim gibi çok çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır.

Minerallerin bilimsel olarak incelenmeye başlanması ise M.Ö 372 yılında Yunanlılarla başlar. Aristo’nun öğrencileri ve pek çok bilim insanının yaptığı çalışmalar bunları destekler niteliktedir. Yapılan ilk bilimsel çalışma ise Aristo’nun öğrencileri tarafından yapılan ve minerallerin diğer bazı taşlardan ayrılması ile ilgilidir.

Ortaçağda, Türkler ve Araplar yerkabuğuna ait maddelerin fiziksel özellikleri üzerine birçok araştırmalar yapmışlardır. Örneğin, İbni Sina yaptığı bir çalışmada maddeleri taşlar, madenler ve tuzlar olarak sınıflandırmıştır. Sonraki yıllarda çalışmalar hızlı bir şekilde ilerlemiş, 18. yüzyılda “Werner” adlı araştırmacı taşlarla fosillerin birbirlerinden farklı yapılar olduğunu belirtmiş ve bu düşüncesi ile mineral sistematiğini oluşturmuştur. Günümüzde mineral sistematiği hakkında oldukça ileri düzeyde gelişmeler mevcuttur.

1895’te Röntgen’in X-ışınlarını bulması, 1912 de Laue’nin bu ışınlar yardımı ile kristallerin iç yapılarını incelemesi gibi birçok gelişme sonucunda ise “mineraloji” bilimi oluşmuştur.

2.1. Mineraloji

Mineraloji**,** minerallerin şekillerini, iç yapılarını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, oluşumlarını ve onların üzerindeki değişimleri, kullanım alanlarını ve yeryüzüne dağılımlarını ele alan bilim dalıdır. Mineraloji genel olarak deskriptif mineraloji ve determinatif (tanımsal) mineraloji olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Bazı kaynaklar mineralojiyi genel ve özel olarak ikiye ayırmışlardır. Deskriptif mineraloji oksitler, karbonatlar, silikatlar, halitler, sülfatlar, boratlar, vs. gibi temel grupları inceler. Determinatif mineraloji ise, minerallerin bulunduğu yerlerin tayin tabloları, sertlik, parlaklık, dilinim gibi özelliklerini ele alır ve mineralleri bu özellikleri ile inceler.

Mineraloji genel ve özel olarak sınıflandırılırsa; genel mineralojinin konusu, minerallerin fiziksel, kimyasal, geometrik özellikleri ile kristal yapıları, oluşma şekilleri ve onlarda meydana gelen değişimlerdir. Özel mineralojide ise, minerallerin gruplandırılmaları; her mineralin fiziksel, kimyasal ve geometrik özellikleri; oluşum aşamaları, uğradığı değişimler, kullanım ve yayılma tarzları üzerinde durulur, yani mineraller tek tek bütün özellikleri ile incelenir.

Yukarıda da belirtildiği gibi yer kabuğunun katı kısmında bulunan ve belirli formüllerle ifade edilebilen mineraller kristaller ve amorflar olmak üzere iki kısımda ele alınabilir.

2.2. Kristaller

Belli yüzeyleri, kenarları ve köşeleri olan yani belli bir geometrik şekle sahip homojen, doğal maddelerdir. (Örneğin; tuz 6 yüzlü, 12 kenarlı ve 8 köşeli bir kristaldir.)

Kristaller atomlar, moleküller ve iyonlar halinde, eritici bir ortamdaki çözeltilerden oluşurlar. Doymuş hale gelen eriyiklerde pozitif ve negatif yüklü iyonlar birbirlerini çekmeye başladıklarında kristallerin ilk çekirdekleri oluşur. Sıcaklık ve basınç koşulları değişmediği takdirde, kristaller yavaş yavaş ve düzgün bir gelişme gösterirler. Aksi halde orijinal olmayan, karışık, lifli bazı şekiller veya çok ufak kristal kümecikleri haline gelirler.

Doygun eriyiklerde, kristal ile eriyik arasında dinamik bir denge vardır, yani, eriyikten madde ayrılması ve erime olayı denge halindedir. Böylece zaman içerisinde ne kadar madde erirse o kadar da eriyikten kristal yüzeyine madde eklenir. Eğer eriyik doyma noktasından uzak ise bu kez kristal, madde kaybına uğrar. Dengenin sağlanabilmesi için bu kayıp geri kazanılmalıdır. Bu yüzden, dengeyi bulabilmek için devamlı madde alışverişi gereklidir.

Kristal oluşumu esnasında onun bir yeri kırılır veya zedelenirse, o kısım, yine madde çökmesi nedeniyle kendiliğinden tamir olabilir. Buna “rejenerasyon olayı” denilir. Kristal büyümeye devam ederken, zedelenen yerdeki gelişme sağlam kısma göre daha hızlı olur.

Bir kristalde, kenarlar ve köşeler hızla gelişen yerlerdir. Erime esnasında da yine bu kısımlar hızla eriyen kısımlardır. Böylece kenarlar ve köşeler zamanla düzgün şekiller halini alarak, yeni yüzeylerin ve kenarların oluşumuna sebep olurlar. Yer darlığı sebebiyle bir kristal çekirdeği bir yere dayanırsa o zaman büyüme sadece serbest doğrultuda devam eder. Kayaçların yarık ve çatlaklarındaki süreç bu şekilde işlemektedir.

2.3. Amorflar

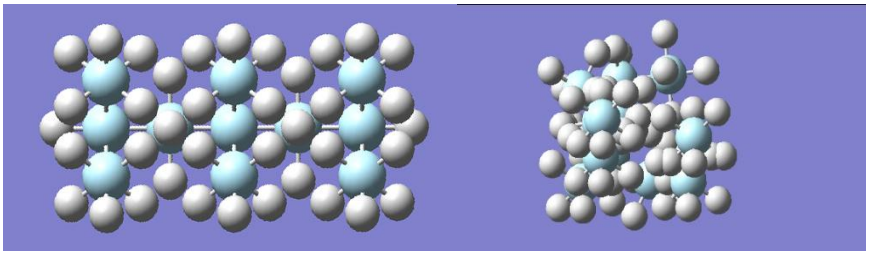
Kolloidal eriyiklerde kristali oluşturacak ince taneciklerin eritici sıvı tarafından sarılmaları sonunda gelişme durur. Önce jellenme olur, yani jel haline gelen maddeler zamanla şekillenmeden katılaşarak amorf mineraller halini alırlar. Kalsedon, opal ve akik amorf haldeki minerallere örnek olarak verilebilir.

Minerallerde; ısı geçirme, çizilebilme, renk durumu gibi hususlar, doğrultuya göre değişen ya da değişmeyen özelliklerdir. Bunlardan faydalanılarak da kristal ve amorf ayrımı yapılır.

Bazı mineraller her doğrultuda aynı fiziksel özellikleri gösterirler. Bunlara “izotropik mineraller”, gösterdikleri özelliklere de “izotropi özelliği” denir. Diğer sistemlerde olanlara ise “anizotropik mineraller” denir (Sür ve diğerleri, 2001).

2.4. Kristal Sistemleri

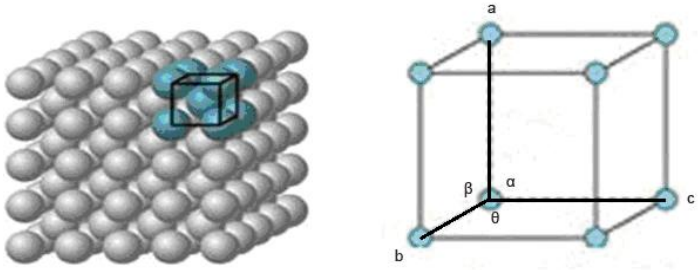
Kristal üç boyutlu uzayda periyodik olarak tekrarlanan atomlardan oluşur. Sıvı ve gazlarda atomların yerleşimi kısa mesafelerde bir düzene sahip iken uzun mesafelerde bu düzen bozulduğu için kristaller sıvı ve gazlardan farklıdırlar. Bununla birlikte bütün katılar kristal yapıda değildir. Cam gibi bazı katılar düzensiz (amorf) yapıdadır. Düzensiz katılarda atomların uzun mesafe düzeni olmayıp kısa mesafeli düzen söz konusudur (Şekil 2.1).



(a) (b)

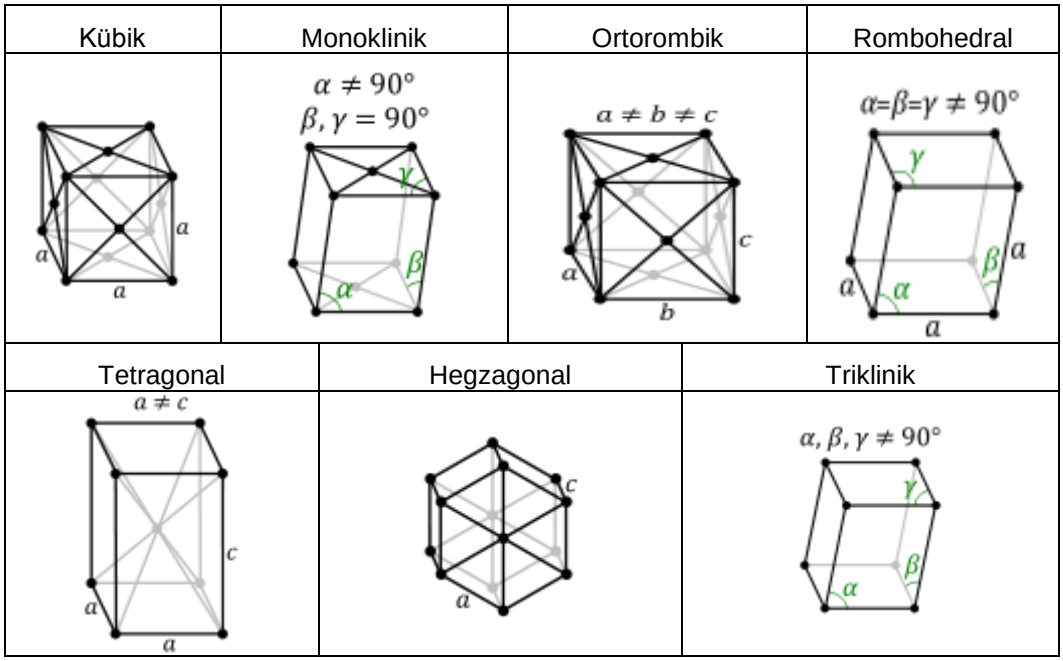
Şekil 2.1 a) Düzenli, (b) düzensiz atomlara sahip bir kristal yapısı

Kristalin tüm özelliklerini taşıyan en küçük yapı taşına birim hücre (örgü) denir. Bir birim hücrenin şekli ve büyüklüğü orijin olarak alınan köşeden çizilen a, b ve c vektörleri ile belirtilir. Bu vektörler hücreyi temsil eder ve hücrenin kristalografik eksenleri olarak adlandırılır. Bu vektörler ve bu vektörler arasındaki açılar (α,β,θ) birim hücre parametreleri olarak adlandırılır. Şekil 2.2'de üç boyutlu birim hücre görülmektedir



Şekil 2.2 Bir birim hücrenin şematik olarak gösterilmesi (Url 1)

Uzay üç takım düzleme bölündüğünde, bu düzlemleri seçme şekline göre farklı birim hücreler elde edilebilir. Birim hücre parametrelerinin alabilecegi farklı değerlere bağlı olarak, doğada bulunan bütün kristalleri temsil edebilmek için birim hücrelerin yedi farklı şekil ve büyüklükte olduğu görülür. Kübik, hekzagonal, rombohedrik, tetragonal, triklinik, ortorombik ve monoklinik olarak isimlendirilen bu kristal sistemlerine yedi kristal sistemi denir. Bu kristal sistemleri şekil 2.3 te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kristal sistemlerinin gösterimi

Çizelge 2.1 Yedi kristal sistemi ve bravais örgüleri

Sistem	**Eksen Uzunlukları ve Açılar**	**Bravais Örgüsü**
Kübik	Birbirine dik üç eksen $a = b = c \quad \alpha = \beta = \theta = 90^0$	Basit (P) Cisim merkezli (I) Yüzey merkezli (F)
Tetragonal	İkisi eşit olan birbirine dik üç eksen $a = b \neq c \quad \alpha = \beta = \theta = 90^0$	Basit (P) Cisim merkezli (I)
Ortorombik	Birbirine dik eşit olmayan üç eksen $a \neq b \neq c \quad \alpha = \beta = \theta = 90^0$	Basit (P) Kenar merkezli (C) Cisim merkezli (I) Yüzey merkezli (F)
Trigonal	Aralarındaki açılar birbirine eşit üç eşit eksen $a = b = c \quad \alpha = \beta \neq \theta = 90^0$	Basit (P)
Hekzagonal	Aralarındaki açı 120^0 olan iki eşit eksen ve üçüncü eksen ilk ikisinin düzlemine dik $a = b \neq c \quad \alpha = \beta = 90^0, \theta = 120^0$	Basit (P)
Monoklinik	Birbirine eşit olmayan üç eksen, eksenlerden ikisi birbirine dik değil $a \neq b \neq c \quad \alpha = \theta = 90^0 \neq \beta$	Basit (P) Kenar merkezli (C)
Triklinik	Birbirine eşit olmayan üç eksen aralarındaki açılar farklı ve hiç biri diğerine dik değil $a \neq b \neq c \quad \alpha \neq \beta \neq \theta \neq 90^0$	Basit (P)

Çizelge 2.1'de bu yedi kristal sistemi ve bunların Bravais örgüleri görülmektedir. 1848'de Fransız bilim adamı Bravais, noktaların (atomların) birim hücrelerin köşelerinde bulunması ile oluşan yedi birim hücrenin değişik konumlarında da (yüzeylerinde, hacim merkezlerinde) başka noktaların bulunması ile en fazla on dört çesit nokta örgü olabileceğini ispatlamıştır. Bu on dört çeşit nokta örgüye Bravais örgüsü denir. Çizelge 2.1'den de görüldüğü gibi,

a) Basit örgü, sadece köşelerinde örgü noktalarına,

b) Cisim merkezli örgü, örgü noktalarına ilave olarak hücrenin merkezinde bir örgü noktasına,

c) Yüzey merkezli örgü, örgü köşelerindekilere ilave olarak hücrenin her yüzünün merkezinde bir tane olmak üzere altı örgü noktasına sahiptir.

Katıları, kristal yapılarına uygun olarak da, gruplandırmak mümkündür. Bu gruplandırmalar sayesinde bütün katıların kristal yapıları belirlenebilir. Belirlenen yapılar artık o kristalin kimliğini ortaya koyar (Çivicioğlu, 2010).

2.5. Kristal Kusurları

Kristal kusuru; bir kristaldeki üst üste katmanlara ilişkin istifin normal dizisinde görülen sapmadır. İdeal yani kusursuz bir kristal yalnız mutlak sıfırda vardır. Diğer bütün sıcaklıklarda ısıl, elektronsal ya da atomsal kusurların varlığı kristal katının özelliklerinin büyük bölümünü belirler.

Isıl kusurlara fonon denir. Bunlar atomların denge konumları çevresindeki titreşimlerini belirler. Gerçekte, bunlardan birinde ısıl çalkalanma etkisiyle görülen her yer değiştirme kristal katıda dalgalar dizisi gibi yayılır. Kristal içinde üretilen dalgaların (fononların) herhangi bir frekansı yoktur.

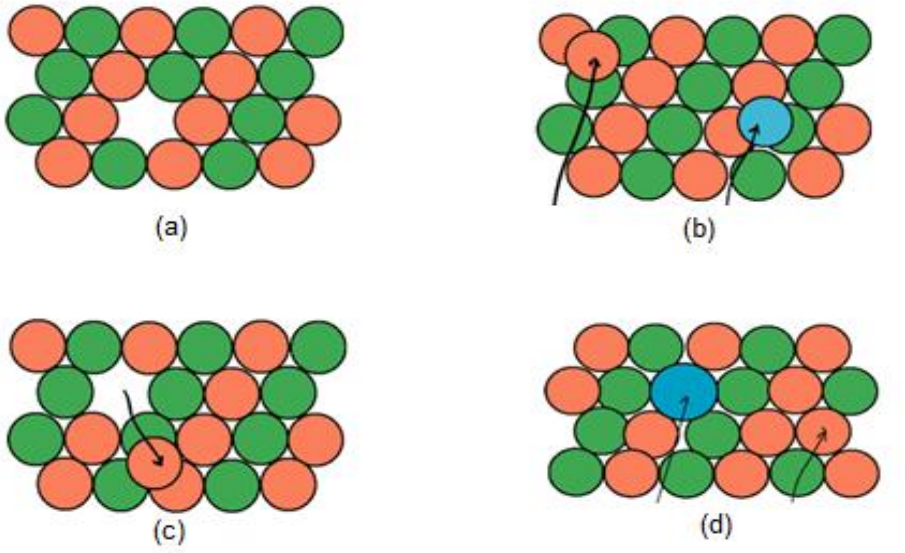
Elektronlarla ilgili kusurlar üç tiptir; elektron, boşluk ve eksitonlardan kaynaklanan kusurlar. Bazı cisimlerin yarıiletken özelliklerini açıklamayı sağlayan bu kusurlar bir elektronun yüksek bir enerji durumuna gelişinin, aynı anda bir boşluk oluşumuna bağlı olmasına dayanır. Elektron ve buna karşılık gelen boşluk bir yere bağlı kaldığında bu kusura eksiton denir.

Atomsal kusurlar iki tiptir, kimyasal kusurlar ve örgüsel kusurlar. Örgüsel kusurlar; noktasal kusurlar, çizgisel (doğrusal) kusurlar ve iki boyutlu (düzlemsel) kusurlar olarak sınıflandırılırlar. Kristal kusurları, kristallerin birçok özelliğini etkiler ya da kaynağını oluşturur.

2.5.1. Noktasal Kusurlar

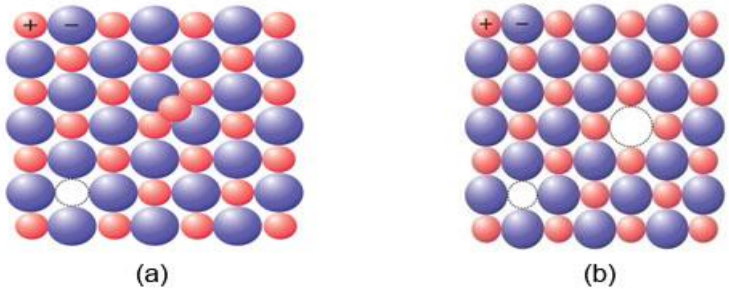
Noktasal kusurlar; atom boşlukları (normal olarak dolu olması gerektiği halde boş olan yerler), arayer atomu (normal olarak dolu olan konumların dışında bulunan atomlar ya da iyonlar), ayrışmış arayerler (bir arayer, diğer bir atomun ya da iyonun normal konumunu değiştirdiğinde görülür.

Bazı noktasal kusurlara ait örnekler şekil 2.4 de görülmektedir.



Şekil 2.4 Bazı noktasal kusurlara örnekler (a) örgüdeki boşluk hatası (b) örgü atomlarından veya dışarıdan bir yabancı atomun örgüye dahil olmasıyla oluşan hata (c) kristal örgüsünden ayrılıp aynı zamanda boşluk hatasına sebep olması (d) örgüdeki atomların farklı atomlarla yer değiştirme hataları (Url 2)

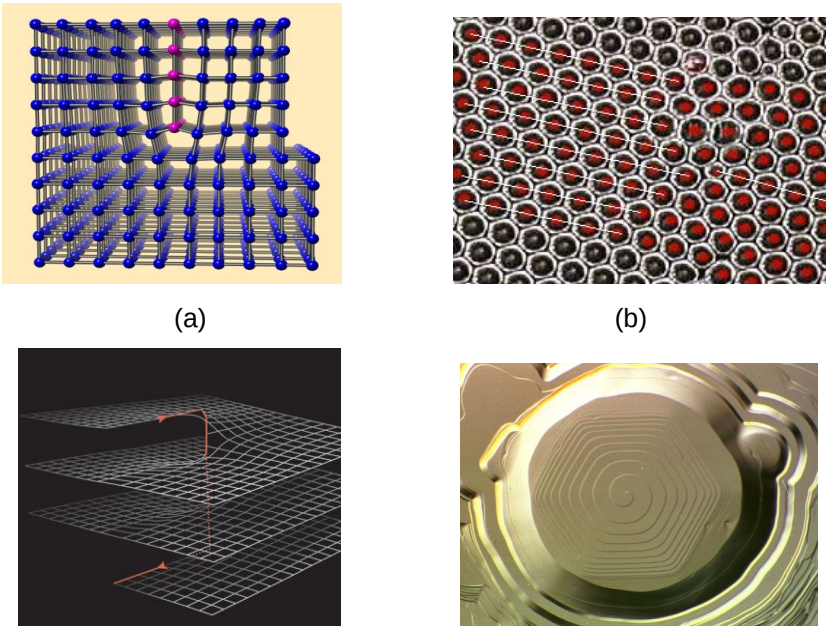
Pozitif ve negatif iyonlardan oluşan iyonsal bir kristalde, kusurların oluşumu sırasında elektriksel dengenin korunmuş olması gerekir. Bu durumda belirli bir işaretin bir iyonundan bir atom boşluğunun oluşmasıyla birlikte kaçınılmaz olarak, ya karşıt işaretin iyonundan başka bir atom boşluğu (Schottky kusuru; nötral metal atomlarının örgüsünde tek bir atom yerinden çıkarsa oluşan boşluk) ya da aynı işaretin bir arayeri (Frenkel kusuru; bir iyonun komşu yüksek enerjili bir bölgeye geçmesi ile oluşan kusur (Şekil 2.5) oluşur.



Şekil 2.5 (a) Frenkel kusuru, (b) Schottky kusuru (Url 3)

2.5.2. Çizgisel (doğrusal) kusurlar;

Kristalin gerçek kristale göre bozulduğu alanlarda “kötü kristal” bölgelerin varlığına karşılık gelir. Bu kusurlar metallerin ve alaşımların mekanik özelliğini açıklamayı sağlar. Kenar ve vida kusurları olarak isimlendirilen bu kusurlar Şekil 2.6 da gösterilmektedir.



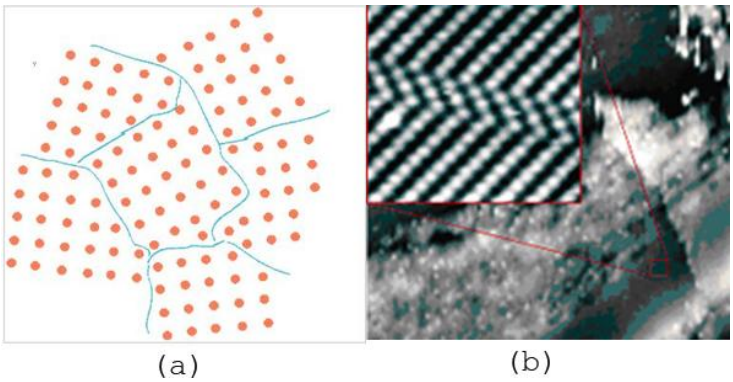
(a) (b)

(c) (d)

Şekil 2.6 (a) ve (b) kenar kusurları, (c) ve (d) vida kusurları (Url 4 [a,b,c,d])

2.5.3 Düzlemsel Yada İki Boyutlu Kusurlar

İstif kusurları (atom düzlemlerinin istifindeki anormal diziler), ikizlenme çeperleri ya da ara yüzeyler tanelerin ayrım yüzeyleri (örgüleri bağımsız ve yönlenmeleri farklı olan kristal taneleri arasındaki çeperler), alttan sınırlar (kristal taneleri arasındaki çeperler) alttan sınırlar (kristal taneleri arasındaki çeperler).. Çeperlerdeki dislokasyon istifleri iki bitişik tanenin örgülerini birbirine bağlar (Şekil 2.7). (Çetin2007, C.Kittel1996)

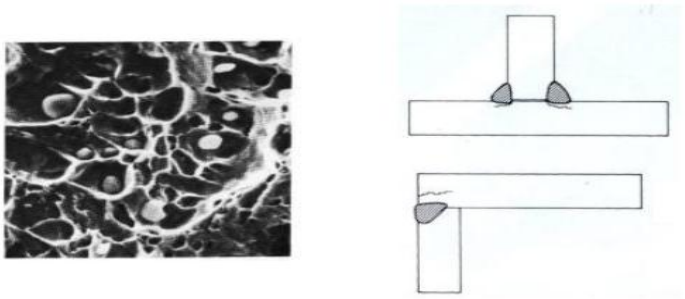


(a) (b)

Şekil 2.7 (a) Tane sınırı kusurları (b) ikizleme sınırı kusurları (Url 5-a,b)

2.5.4. Kütle (Hacimsel) Kusurları

Hacimsel kusurların oluşması için gereken enerji miktarı oldukça fazladır. Bunlar kusurlar üç boyutlu olup, malzemenin üretimi sırasında ve malzemenin döküm, dövme, hadde gibi şekillendirmesi esnasında ortaya çıkar. Örnek olarak, döküm kusurlar, biçimlendirme, dövme kusurları ve kaynak kusurları verilebilir (M.Türemiş 2011).



Şekil 2.8. Hacimsel kusurlar

3. MİNERALLERİN ÖZELLİKLERİ

3.1. ELASTİKİYET

Bir cisme kuvvet etkidiğinde cismin 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 gibi mineraller ise büküldüğü zaman, büküldüğü şekilde kalır. Bu tür minerallere bükülebilir mineraller denir. Kuvars gibi aniden esneklik sınırını geçerek kırılan mineraller ise kolay kırılan minerallerdir.



Şekil 3.1 Mika (Url 6)

3.2 SERTLİK

Mineral yüzeyinin 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 minerallerde 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. Esneklik sınırını geçerek kırılan minerallere ise kolay kırılan mineral denir

Minerallerin çizilmeye karşı gösterdikleri direnç olan sertlik Mohs sertlik cetveli (Şekil 3.2) olarak bilinen bir cetvelle belirlenir. Bu cetvelde en sert mineral elmas, en yumuşak mineral ise talktır. Bunlardan her biri kendinden öncekini çizer, sonraki tarafından ise çizilir. Diğer minerallerin sertliği bu cetvele göre belirlenir.

MOHS'UN SERTLİK CETVELİ	
Talk	Tırnak ile çizilir
Jips	Tırnak ile çizilir
Kalsit	Çakı ile çizilir
Florit	Çakı ile çizilir
Apatit	Çakı ile çizilir
Ortoklas	Camı çizer / Çelik ile çizilir
Kuvars	Camı ve Çeliği çizer

Şekil 3.2 Mohs'un sertlik cetveli

3.3 DİLİNİM VE KIRILMA

3.3.1 Dilinim

Minerallerin belli yönlerde, bir düzlem boyunca levhalara ayrılma özelliğidir. Dilinim bazı minerallerde belirgin, bazılarında belirsizdir. Birden fazla dilinime sahip olan bazı mineraller vardır.

Üç tür Dilinim Mevcuttur;

Tek yönlü dilinim (Mika)

İki yönlü dilinim (Selenit, Bir jips minerali çeşidi, iki yönde gelişmiş dilinime sahiptir.)

Üç yönlü dilinim (Halit kaya tuzu birbirine dik üç dilinime sahiptir. kalsit;birbirine dik olmayan üç dilinime sahiptir.)



Şekil 3.3 Dilinim türleri (Url 7)

3.3.2 Kırılma

Bazı minerallerde iç yapıyı oluşturan bağların dayanıklılığı her yönde aynıdır. Bu nedenle kırılma belli bir kristalografik yönü izlemez. Mineraldeki klivaj veya ayrılma yüzeyleri gibi süreksizliklere bağlı olmayan bu tür kırılmanın farklı çeşitleri vardır.

Konkoidal: Bir kabuğun iç yüzeyini andıran düzgün yüzeyli, eğrisel kırılmalardır.

İğsi (Fibrous and Splintery): İnce uzun parçalara ayıran türde kırılmalardır.

Testere Dişi Şeklinde (Hackly) Düzensiz (Uneven or İrregular): Düzensiz yüzeyler oluşturan kırılmalardır.

Klivaj: Minerallerin iç yapılarında bulunan atomik düzlemlere paralel olarak kırılma eğilimleridir. Bu düzlemlerin arasında kalan levhalar içinde atomlar güçlü kovalent bağlarla bir arada bulunurken, düzlemlerin kendileri levhalar arasındaki zayıf Van der Waals bağlarını karakterize ederler. Çekim kuvvetleri levhaları birbirlerine yeterince yakın tutamadığı için, zayıf bir bağ aynı zamanda levhalar arası bir boşluk olarak da düşünülebilir. Bu nedenle kırılma bir mineralde önce bu boşluklar boyunca gelişir. Klivaj bazı minerallerde çok iyi gelişmişken (mika, piroksen), bazılarında oldukça zayıftır (beril, apatit), bazılarında ise hiç görülmez (kuvars).

3.4 RENK VE PARLAKLIK

3.4.1 Renk

Gerçek Renk: Başta değerli taşlar (gemstones) olmak üzere birçok mineral kendine özgü bir renge sahiptir.Mineraller ilk bakışta bu özellikleri sayesinde ayırt edilebilirler.

Çizgi Rengi: Mineral, sertliği 7 olan parlatılmamış bir porselene sürtüldüğünde, porselenin üzerinde pudra gibi ince bir kalıntı bırakır. Bunun rengi o mineralin çizgi rengidir. Bu yöntemle ancak porselenden daha düşük sertliğe sahip minerallerin çizgi rengi görülebilir.



Şekil 3.4 Farklı Mineral renkleri (Url 8)

Mineralin rengi ışığın bazı dalgaboylarını yansıtma ve soğurma özelliğinden kaynaklanır. Önemli bir ayraç değildir, fakat bazı minerallerin karakteristik bir rengi vardır Örneğin kükürt sarı, klorit ise yeşil renklidir. Labradorit gibi mineraller ise ışığa göre rengi değişen minerallerdir. Diğer minerallerin renkleri ise kimyasal farklılığa veya mineral içindeki diğer elementlere bağlı olarak değişir.

3.4.2 Parlıklık

Mineral yüzeyinin ışık altındaki genel görünümüdür. Metalik (galen, pirit), camsı (kuvars), reçinemsi (sfalerit, sülfür), inci (talk), yağsı (nefrit), ipeksi (serpantin), elmas parlaklığı gibi türleri vardır. Yüzeyden ışığın nasıl yansıdığını belirtir. Metalik ve metalik olmayan parlaklık diye ikiye ayrılır. Kükürt, kuvars, mika gibi mineraller metalik olmayan minerallerdir.



Şekil 3.5 (a) Metalik olmayan mineral (b) Metalik mineral (Url 9 [a,b])

3.5 BAĞIL YOĞUNLUK

Bir maddenin ağırlığı ile ona eşit hacimde ve 40 ^{o}C sıcaklıkta olan suyun ağırlığı arasındaki orandır. Örneğin bağıl yoğunluğu 2 olan bir mineral kendisi ile aynı hacimdeki suyun 2 katı ağırlığa sahiptir. Mineralin bağıl yoğunluğu onun iki özelliğine bağlıdır.

1. Bileşim: Minerali oluşturan atomların cinsi, atom ağırlıklarına bağlı olarak yoğunluğa da etki eder (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Minerali oluşturan atomlar ve ağırlıklarına göre bağıl yoğunluğun değişimi

Mineral	Katyonun Atomik Ağırlığı	Bağıl Yoğunluk
Aragonit ($CaCO_3$)	40,08	2,94
Strontianit ($SrCO_3$)	87,62	3,78
Vitherit ($BaCO_3$)	137,34	4,31
Cerussite ($PbCO_3$)	207,19	6,58

2. Mineral Yapısı: Aynı bileşime sahip mineraller, bu sabit bileşimde yer alan atomların paketlenmesine bağlı olarak değişik yoğunlukta olabilirler. Örneğin karbondan oluşan elmasın atomları sıkı paketlendiği için yoğunluğu aynı bileşimdeki grafitten daha büyüktür (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Aynı bileşime sahip elmas ve grafitin bağıl yoğunluklarının değişimi.

Mineral	Bağıl Yoğunluk
Elmas (C)	3,5
Grafit (C)	2,23

Taşların bileşimine giren minerallerin özgül ağırlıkları 1-21 arasında değişir. Çoğunun özgül ağırlığı 2-2,7 arasındadır. Madenlerde ise 5 civarındadır Bazı minerallerin ayrılması için kullanılır. Barit 4,5 olan özgül ağırlığı ile kendisine benzeyen kuvars ve kalsitten ayırt edilir (İflazoğlu, 2010).

4. LÜMİNESANS

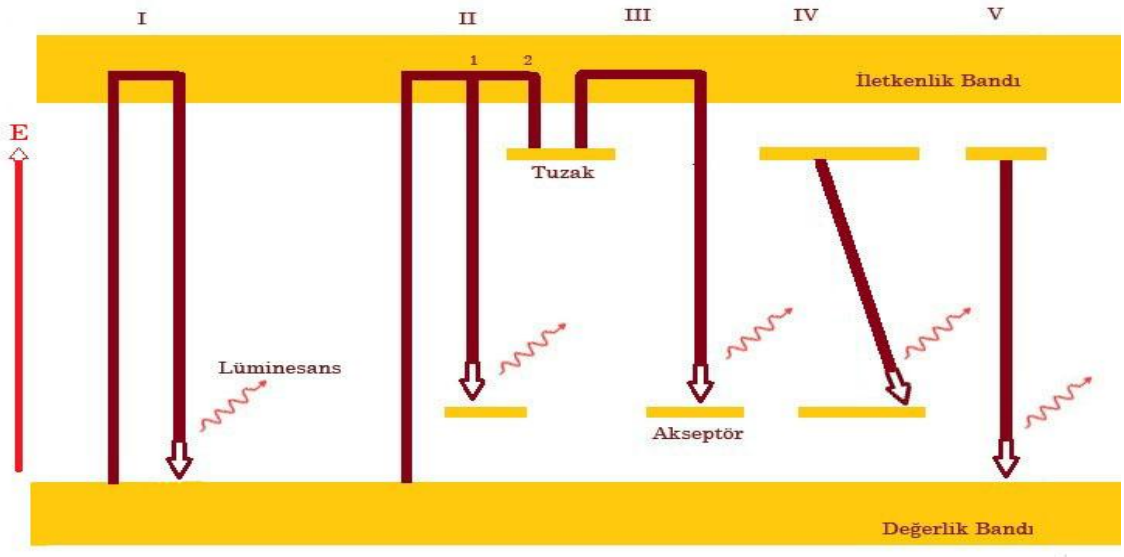
Bir malzeme herhangi bir şekilde radyasyona maruz kaldığında gelen enerjinin bir kısmı soğurulur ve daha uzun dalga boylu bir ışık olarak geri yayılır (Stokes Kanunu). Lüminesans olarak bilinen bu olayın ana prensibi şudur: Gelen radyasyon malzeme içerisindeki atomların değerlik elektronlarına enerji kazandırarak (uyararak) bulundukları seviyeden bir üst seviyeye (iletkenlik bandı) çıkmaya zorlar. Böylece atom kararlılığını yitirir. Elektron yeni yörüngesinde dolanırken enerji kaybeder ve kararlı duruma tekrar dönebilmek için belirli bir enerji değerine sahip (uyarılmış yörünge ile eski yörünge arasındaki enerji farkı kadar) bir foton yayınlar ve eski kararlı durumuna döner. Yayılan ışığın dalga boyu gelen radyasyona değil malzemeye özgüdür (Kibar, 2007).

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

Bazı malzemelerde bulunabilecek olası lüminesans merkezleri şunlardır:

- Geçiş metal iyonları (Mn^{+2}, Cr^{+3}, Fe^{+3}, ...)
- Nadir toprak elementleri (Tb^{+3}, Eu^{+3},...)
- Ağır metaller (Pb^{+2}, Tl^{+},…)
- Elektron-boşluk merkezleri (S_2^-, O_2^-, F – merkezleri)
- Dislokasyonlar, cluster, …

Lüminesans merkezinin türüne ve bulunduğu konuma göre lüminesans farklı yollarla oluşabilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 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 geçişte ışın yayınlanması,

e) Tuzaklardan direkt değerlik bandına geçiş ile oluşan lüminesans,

Lüminesans olayı çok geniş nitelikte bir terimdir. Lüminesans sonrasında "parıldama eğrisi" ile söz konusu malzemenin aktivasyon enerjisi, (atomdaki bir elektronu koparmak için gerekli olan enerjidir.) tuzak derinliği gibi bazı karakteristik özelliklerini tayin etmek mümkündür. Lüminesans işlemi özellikle malzeme içerisindeki elementlerin enerji seviyeleri hakkında bilgi vermektir. Bu bilgi sayesinde örneklerin kristal yapısı hakkında da bilgi edinilmektedir. Lüminesans atomların uyartıldığı metotlara ve uyartılan seviyelerin ömür sürelerine göre gruplandırılabilir (Çetin, 2007).

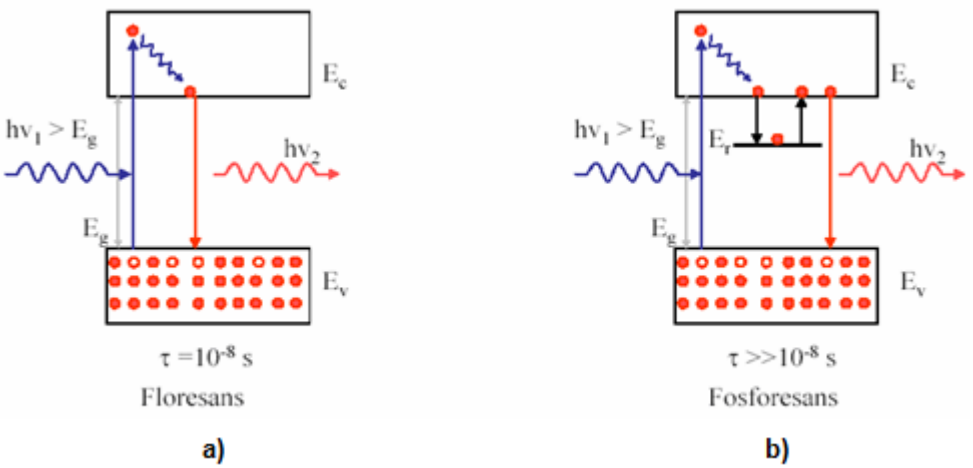
4.1 Yarılanma Ömürlerine Göre Lüminesans

Lüminesans yayımlanması, uyarılma ardından yayımlanma ömrü olarak bilinen bir τ_c karakteristik zamanda meydana gelir. Lüminesans çoğu zaman iki alt sınıfa ayrılabilir:

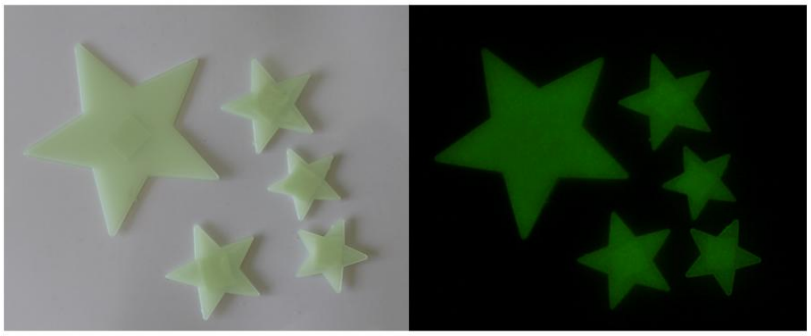
$\tau_c < 10^{-8}$ s ise "floresans" ve $\tau_c > 10^{-8}$ s ise "fosforesans" olarak isimlendirilir. Floresans, maddenin sıcaklığından bağımsız iken fosforesans güçlü bir şekilde sıcaklığa bağlıdır.

4.1.1 Floresans ve Fosforesans

Katı maddelerin X-ışını, ultraviyole veya katot ışınları etkisinde kalıp ışın yayma özelliğine *floresans* adı verilir. (Şekil 4.2a) Eğer olayı meydana getiren etki ortadan kalktıktan sonra da bir süre daha katı madde ışık yaymaya devam ediyorsa bu olaya da *fosforesans* denir. Şekil 3.2 de floresans ve fosforesans olayları şematik olarak gösterilmektedir. Fluoresans ile fosforesans arasında çok kesin sınırlar yoktur. Yalnız fluoresans özelliği gösteren maddelerin, ışık yaymayı sağlayan etkinin ortadan kalkmasından sonra, kısa bir süre daha ışık yaymaya devam ettikleri bilinmektedir. Floresans özelliği, madde içindeki yabancı iyonların kısa dalga boylu ışınların enerjisini emip, bunların yerine daha uzun dalgaboylu (gözle görülebilen) ışık üretmelerini sağlar



Şekil 4.2 Floresans ve fosforesans olaylarının şematik olarak gösterilmesi



Şekil 4.3 Fosforesans olayına bir örnek

Floresans ile fosforesans arasında çok kesin sınırlar yoktur. Yalnız floresans özelliği gösteren maddelerin, ışık yaymayı sağlayan etkinin ortadan kalkmasından sonra, kısa bir süre daha ışık yaymaya devam ettikleri bilinmektedir. Floresans özelliği, madde içindeki yabancı iyonların kısa dalga boylu ışınların enerjisini emip, bunların yerine daha uzun dalga boylu (gözle görülebilen) ışık üretmelerini sağlar. Floresans özelliği gösteren maddelere floresant maddeler denir. Bunların tipik örnekleri; flüorit, şeelit, willemit, kalsit, elmas ve skapolittir. Maddelerin floresans özelliği, bu maddeleri içeren maden yataklarının bulunmasında önemlidir.(Durukan, 2008).

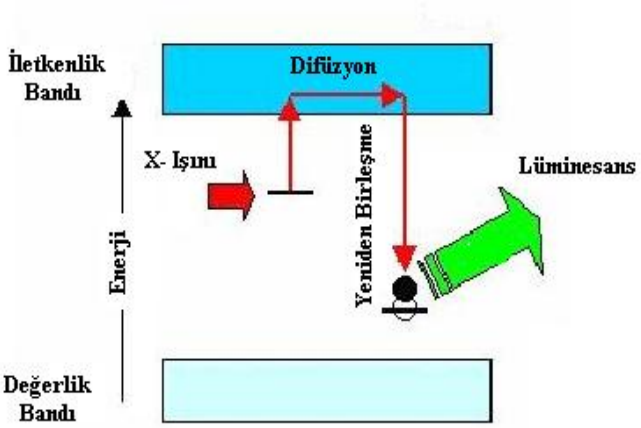
Lüminesans olayı ışığın yayınlanma süresine göre gruplandırılabildiği gibi uyartılma yöntemlerine göre de çeşitlere ayrılır. Bu uyartılma sonunda ortaya çıkan ışıma uyartılmaya bağlı olmayıp, tamamen uyartılan malzemenin karakteristik özelliğini yansıtır.

4.2 Uyarma Türlerine Göre Lüminesans

Elektron veya ışın demeti malzemenin üzerine geldiğinde, bir kısım enerjisi malzeme tarafından soğurulabilir ve bu soğurulan enerji ışık olarak geri yayılır ise işlem lüminesans olarak adlandırılır. Yayılan ışığın dalgaboyu lüminesans materyalinin karakteristiğidir. Genellikle lüminesans olaylarının çoğu görünür ışık yayılımı ile ilgilidir, fakat diğer dalgaboylarından kızılötesi (IR) ve ultraviyole (UV) ışık yayılımları da olabilir. Lüminesans kullanılan uyarma şekline göre özel isimler alırlar.

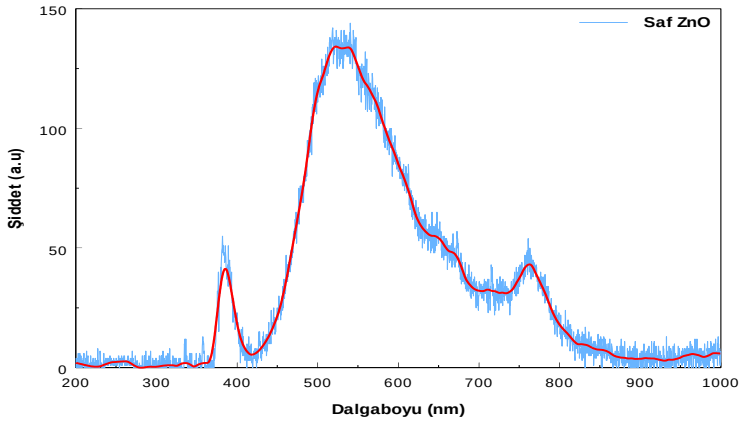
Fotolüminesans (PL)	Malzemenin optik veya mor ötesi ışık ile uyarılmasıyla elde edilen ışıma şeklidir.
Katodolüminesans (CL)	Bir malzeme elektron demeti ile bombardıman edildiğinde oluşur (katot ışınları). Diğer uyartılma metotlarından farklı olarak, katot ışınları malzemenin belirli bölgesinde tüm kristal örgüyü bozabilir
Elektrolüminesans (EL)	Malzemenin bir elektrik alana maruz kalmasıyla meydana gelir. Katı, sıvı, veya gaz malzemeye bir elektrik alan uygulanmasıyla malzeme içindeki elektronlar uyartılma enerjisine kadar hızlandırılabilir.
Radyolüminesans (RL)	Foton kaynakları (X-Işını veya gama-ışını) ve hızlı parçacıklarla oluşturulan bu olay katodolüminesans olayına benzemektedir. CL oluşturmak için kullanılan alfa ve beta parçacıklarına göre daha büyük nüfuz etme derinliğine sahiptir.
Termolüminesans (TL)	Herhangi bir şekilde ışınlanmış malzemenin ısıtılarak ışık yayınlaması olayıdır.
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 İyon Demeti Lüminesansı	Malzemenin belli enerjiye sahip iyon demeti ile bombardımanı sonucu oluşur. Bu olayda genellikle 3 MeV'a kadar olan protonlar kullanılır.
Tribolüminesans;	Bazı malzemelerin basınç ve çok sert bir maddeyle çizilmesi gibi etkilere maruz kalması sonucu açığa çıkan bir ışımadır.
Piezolüminesans;	Malzemenin 10ton/m^2 'lik basınca maruz bırakılması sonucu oluşan ışımadır.
Sonolüminesans;	Malzemenin ses dalgaları ile uyarılması yoluyla oluşan ışımadır.

4.3 Radyolüminesans (RL)



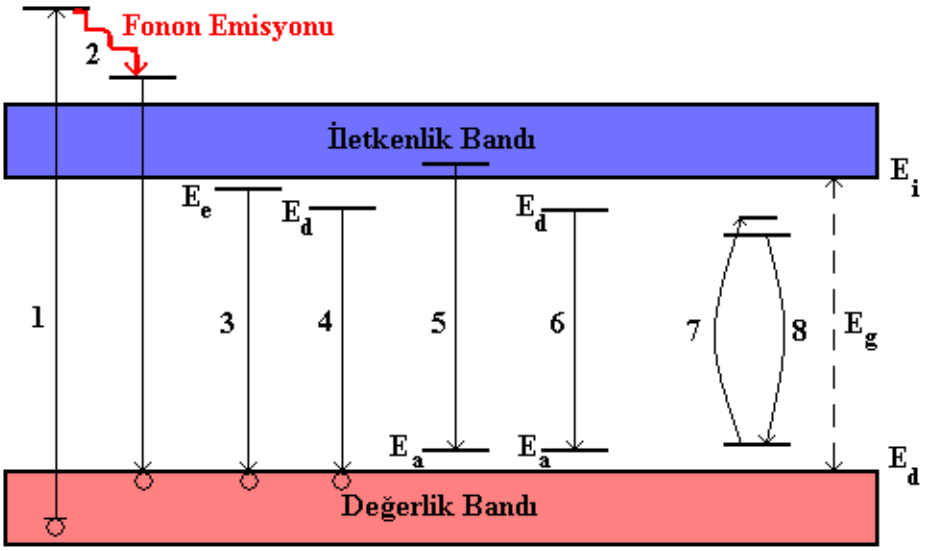
Şekil 4.4 Radyolüminesans olayının band diyagramındaki gösterimi

Radyolüminesans olayında malzeme X-ışınlarına maruz bırakılır ve deney boyunca malzemeye gelen radyasyon kesintiye uğramaz. X-ışınları malzemenin tüm yüzeyine nüfus ettiği için bu yöntem malzemenin hacimsel kısımları hakkında bilgi verir. Bu yöntem sonrasında elde edilen parıldama eğrisi şekil 4.5 deki gibidir. (Çetin, 2007).



Şekil 4.5 Örnek bir RL spektrumu

4.4 Katodolüminesans (CL)



Şekil 4.6 Değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki geçişlerin şematik diyagramı (E_a: alıcı seviye, E_d: verici seviye, E_e: eksitonik seviye)

Şekil 4.6'da yalıtkan ve yarıiletken malzemelerde CL e neden olabilen olası geçişlerin basitleştirilmiş şekli verilmektedir. İletkenlik bandına uyarılmış bir elektron (**1.işlem:** elektron-boşluk çifti oluşumu), iletkenlik bandı kıyısına yakın bir enerjiye sahip olana kadar, fonon emisyonu veya daha küçük bir ihtimal de olsa fonon-yardımlı foton emisyonu ile enerji kaybeder (**2.işlem:** termalizasyon). **3.işlem** elektronların değerlik bandındaki boşluklar ile yeniden birleştiği "kıyı emisyonu" denen bantlar arası bir geçiştir. Bununla birlikte, düşük sıcaklıklarda ayrıntılı emisyon bant kıyısına yakın enerjiye sahip serbest ve bağlı eksitonların bozunumundan kaynaklanan aynı bölgede gözlenir (**4. işlem)**. Bu emisyon da genellikle "kıyı emisyonu" olarak isimlendirilir. **5. 6. ve 7. işlemler** mevcut kusurlar ile bant boşluğu içinde yerleşmiş seviyelerde meydana gelen elektron-boşluk çiftlerinin yeniden birleşmesidir. Bu kusurlar "yeniden birleşme merkezleri" veya "lüminesans merkezleri" olarak bilinir. **8. işlem,** örgü ile küçük bir etkileşmeye sahip bir merkezin uyarılmasıdır; yani bu merkezde bulunan bir elektron merkezin daha yüksek enerjili bir seviyesine uyarılır ve sonra daha küçük enerjili bir seviyeye geçer. Bundan dolayı bu işlem elektron-boşluk çiftlerinin oluşumuna bağlı değildir. Bir oksit örgüde bulunan nadir toprak iyonunun varlığı buna bir örnektir. (Luff, 1989)

4.5 Fotolüminesans (PL)

Malzemenin ışık ile etkileşmesi sonucu meydana gelen fotolüminesans, gelen ışık demeti sayesinde oluşan elektron-boşluk çiftlerinin yeniden birleşmesi ile meydana gelir. Fotolüminesansta uyarılma yolu ışığın soğurulması ile olur.

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.

Malzemedeki belli kusur bölgelerini uyarmak için kullanılan fotolüminesans, bu özelliğinden dolayı CL den elde edilen sinyallerin bir alt kümesi olan spektrumu oluşturur.

4.6 Tribolüminesans

Tribo kelimesi Yunanca bir kelimedir ve sürtmek, ovalamak anlamındadır. 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.

4.7 Elektrolüminesans (EL)

Malzemeye elektrik alanın uygulanmasıyla elde edilen bir lüminesans yöntemidir. 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.

4.8 TERMOLÜMİNESANS (TL)

Termolüminesansın bilimsel olarak ilk verileri 1663 te Robert Boyle tarafından otaya çıkarılmıştır. Boyle, elması avucunun içerisinde ısıttığı zaman, parlaklığın karanlık bir odada kolaylıkla görülen ışık biçiminde dağıldığını gözlemlemiştir. 1676 da Elsholtz fluospar minerali ile benzer bir etkiyi gözlemlemiştir. Uygulamalı fizikteki etkinin günümüzdeki kullanımı

Wisconsin Üniversitesi'nde Farrington Daniels'in çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır (Daniels et al, 1953).

Radyoaktivitenin keşfinden hemen sonra, radyum ışıması altındaki fluorit kristalindeki TL olayı ilk olarak Becquerel tarafından tespit edilmiştir (Becquerel, 1885). Wiedeman ve Schmidt doğal radyoaktivitenin minerallerin TL özelliklerine etkisini fark etmişlerdir (Wiedemann, 1895). Doğal fluoritteki TL olayının jeolojik araştırmaları ilk olarak Steinmentz ve Gisser tarafından gerçekleştirilmiştir. Steinmentz ve Gisser ayrıca TL spektrumları yardımı ile fluorit minerali çeşitlerini sınıflandırmaya çalışmışlardır. Devam eden süreçte birçok bilim adamı kaya tuzu, NaCl, kuvars ve kalsiyum gibi minerallerin termolüminesans özelliklerini incelemişlerdir. Bu zaman boyunca yayılan termolüminesansın tayfı ile ilgili ilk eksiksiz çalışma 1905'te Morse tarafından yapılmıştır. Morse bu çalışmasında, CaF_2 mineralini kullanmıştır (Aitken, 1995). 1940 lara gelindiğinde TL sayesinde birçok olaya genel ve anlaşılabilir bir açıklama getirilmiştir (Randall et al, 1945). Fosforesans ile TL arasındaki temel benzerliği görüp, kristal örgüdeki elektron tuzakları modelini kullanarak her iki olay da açıklanmıştır. 1940 ların sonunda radyasyon ölçümlerini yapmak için TL'i ilk kullanan Daniels ve arkadaşları olmuştur. Daha çok jeolojik numune ve alkali halojenlerin TL özellikleri üzerinde çalışmışlardır. Fotoçoğaltıcıların icadından sonra 1953 yılında termolüminesans, Daniels tarafından, maruz kalınan nükleer radyasyon miktarının ölçülmesinde kullanılmıştır (Yüksel, 2008).

Günümüzde TL yöntemi, dozimetrik materyallerin incelenmesi, tuzak parametrelerinin belirlenmesi gibi çalışmalarla birlikte tıp alanında teşhis ve tedavide de yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiziksel bir teknik olarak TL olayının dozimetrik amaçlarla radyasyon işlemlerinde uygulama alanları şu şekilde verilebilir:

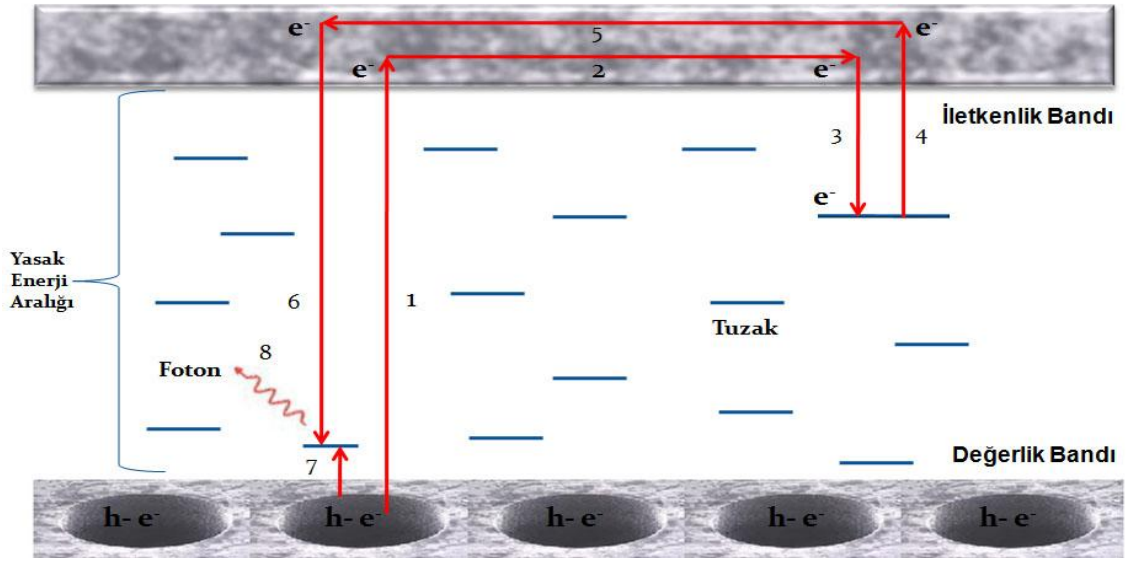
i) Tıpta, kanserli dokuya verilen soğurulma dozunun doğruluk derecesinin tayininde,
ii) Yıllık çevresel doğal radyasyonun saptanmasında,
iii) Yarıiletken malzeme araştırmalarında,
iv) Arkeolojik ve jeolojik örneklerin yaş tayininde kullanılmaktadır.

4.8.1 Termolüminesans Teorisi

Bant modeline göre, radyasyonun soğurulması, elektron-boşluk çifti oluşumu anlamına gelmektedir. Enerji depolanması özelliği safsızlıklar veya boşluklar gibi kristal kusurlarının varlığından kaynaklanmaktadır. Bu kusurlar; ışınlanma sürecinde oluşurlar ve elektronlarla boşlukları yakalayabilirler (Harmanşah, 2006).

Bu yöntemde malzeme bir X-ışını veya β kaynağı bir radyasyon kaynağı ile uyartılır. Uyartma sonucunda elektronlar malzeme içindeki safsızlık atomlarından kaynaklanan tuzaklara dolar. Uyartma sonrasında malzemeye ısıl etki yapılarak ışıma yapması sağlanır.

Bu sistemin çalışma mekanizması; katılarda elektriksel iletim ve elektronların hareketini açıklayabilmek için geliştirilen bir modelle sağlanabilir. Bu modele göre bir malzemede "değerlik bandı" ve "iletkenlik bandı" olmak üzere iki tane bandın varlığı öne sürülmüştür. Değerlik ve iletkenlik bandı arasında yer alan bölge hiç elektronun bulunmadığı yasak enerji aralığı olarak tanımlanır. Kristallerin yalıtkan, iletken veya yarıiletken olup olmadıkları bu yasak enerji aralığa göre yorumlanır. Şekil 4.7 de lüminesans türlerinden biri olan termolüminesansın oluşum mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Termolüminesansın oluşum mekanizması

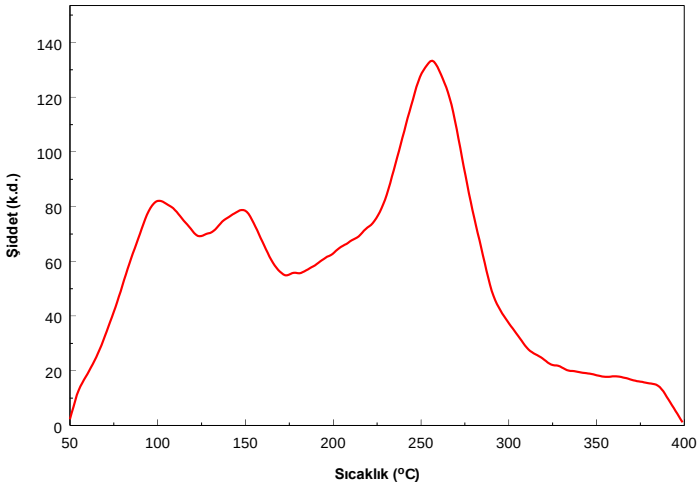
İletkenlik bandı ile değerlik bandı arasında bir yasak enerji bandı söz konusudur. Herhangi bir radyasyonla (genellikle X-ışını veya β kaynağı) uyarma sonucu değerlik bandındaki elektronlar yeterli bir enerji alırlarsa doğrudan iletkenlik bandına çıkarlar. İletkenlik bandına çıkan bu elektronlar sahip oldukları enerjiye bağlı olarak iletkenlik bandında serbestçe dolanırlar (1,2).

Bir kristalde iletkenlik bandı ile değerlik bandı arasında kusurlardan (nokta hataları, çizgi hataları, alan hataları,…) kaynaklanan farklı derinliklere sahip tuzaklar vardır. Bu tuzaklar tamamıyla hatalar ve safsızlık atomlarından kaynaklanır.

İletkenlik bandındaki elektron enerjisini kaybettikten sonra tekrar değerlik bandına dönmeye çalışır. İşte bu esnada yasak enerji aralığındaki bu tuzaklardan herhangi birine yakalanır (3). Eğer kristale dış bir etki uygulanmazsa (sıcaklık vb.) bu tuzaklardaki elektronlar oldukça uzun bir süre burada kalabilirler. Bu malzeme dışarıdan ısıtılmaya maruz kalırsa bu ısı etkisi ile tuzaktaki elektronlar tekrar iletkenlik bandına çıkarlar. Yine bir süre (enerjisini kaybedene kadar) iletkenlik bandında hareket ederler (4,5). Enerjisini kaybeden elektron

değerlik bandına dönerken yasak enerji bandı içerisinde bulunan tekrar birleşme merkezine (recombination center) gelir ve boşluklarla (hole) birleşerek ışıma yapar (6,7,8).

Bu mekanizma ışımaya ait modellerden yalnızca bir tanesidir. İşte termolüminesans olayında özellikle malzeme X-ışını veya β-ışınlarına maruz bırakıldıktan sonra elektronlar tuzaklara hapsolur. Isıtma yoluyla bu elektronlar tuzaklardan kurtulur ve ışıma yaparlar. Bu şekilde de malzemenin aktivasyon enerjisi ve tuzak derinliği gibi karakteristik özellikleri TL hakkında bilgi veren parıldama (ışıma) eğrisi denen spektrumunu elde edilir. TL sonunda elde edilen örnek bir parıldama eğrisi şekil 4.8 de görülmektedir. (Katı, 2009).



Şekil 4.8 Termolüminesans parıldama eğrisi

Grafikte pikin en yüksek olduğu noktadaki sıcaklık, tuzak derinliğine bağlıdır. Birden fazla pikin bulunması ayrı tuzakların bulunduğunu ve bu tuzakların, *E* ve *s* değerleriyle belirli bir sıcaklıkta aktive edildiklerini göstermektedir. Her bir pikin altında kalan alan doldurulan tuzakların sayısıyla ilişkilidir.

TL ışıma eğrisi düzgün sürekli bir eğri görünümündedir. Bu eğri, farklı düzeylerde tuzaklanmış elektronların ısı ile serbest kalmasından türetilmiş üst üste birçok sayıdaki pikin birleşiminden oluşabilmektedir. Derin tuzaklardaki elektronun ömrü, sığ tuzaklardaki elektronların ömürlerine göre daha uzundur. Genelde, tuzakların 200 ^{o}C den düşük ışıma pikleri dozimetre uygulamaları için kullanışlı değildir. Bunun nedeni elektronların çevresel sıcaklıklara maruz kaldıklarında bu tuzaklardan kurtulabilme olasılıklarıdır (Aitken, 1985). Dozimetrik ölçüm için 300 °C ya da daha yüksek sıcaklıklarda oluşan kararlı ısı eğrileri uygundur (Wintle, 1993).

4.8.2 Termolüminesans Kinetikleri

Bir malzemenin sıcaklığa veya zamana karşı verdiği emisyon olan parıldama eğrisi bir veya daha fazla ışıma pikinden oluşur. Bu pikler çeşitli yollarla analiz edilebilir. Temel termolüminesans teorisi, deneysel TL piklerinin tanımlanabilmesi için iki ifade öngörür. Bu ifadeler, Randall ve Wilkins'ın birinci derece kinetik teorisi ile Garlick ve Gibson'ın ikinci derece kinetik teorisinden çıkarılmaktadır. Bununla birlikte birinci ve ikinci derece kinetiklere uymayan 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 diğer bir teori ise May ve Partridge tarafından önerilmiştir. TL ışıma piklerinin şekli, konumu ve şiddeti TL salınımından sorumlu olan tuzaklama parametreleri ile ilgilidir. TL kinetikleri olarak bilinen bu parametreler, frekans faktörü s (s^{-1}), aktivasyon enerjisi E (eV) ve kinetik derece b'yi içermektedir (Harmanşah, 2006).

Herhangi bir numune üzerine uyartma geldiğinde temelde iki durum söz konusudur:

i) İlk durumda numuneye gelen uyartma tarafından değerlik bandındaki elektronlar iletkenlik bandına çıkarılırlar. Kararlılığını kaybeden atom eski durumuna dönmek isteyecektir. Elektronlar iletkenlik bandında serbestçe dolaşabilmektedirler. Burada enerjilerini kaybeden elektronlar eski konumuna dönmek isterken de bandı ile iletkenlik bandı arasında olan ve hiçbir elektronun olamayacağı yasak enerji aralığında bulunan ve numune içerisindeki safsızlıklardan kaynaklanan tuzak denilen engellerde hapsolur. Bu aşamada numune ısıya maruz bırakılırsa tuzaktan kurtulan elektron ya iletkenlik bandına tekrar çıkarak ve buradan direk olarak tekrar birleşme merkezi denen lüminesansın meydana geldiği noktada boşluklarla birleşerek ışıma yapar yada iletkenlik bandına hiç çıkmadan tuzaktan çıkıp boşlukla birleşerek ışıma yapar. Bu durum birinci derece kinetik olarak adlandırılır (b=1). Bu aşamada elektron sadece bir kez tuzaklanmıştır.

ii) İkinci durumda ise uyartılarak tuzaklanan elektronlar ısıya maruz kaldığında tuzaktan kurtulan elektron iletkenlik bandına çıkar orada enerjisini kaybeder ve eski konumuna dönmeye çalışır. Elektron bu davranışı sırasında tekrar tuzaklanır. Isı verilmeye devam edildikçe elektron bu tuzaktan da kurtularak ışıma yapar. Elektron ikinci kez tuzaklanmış olur. Bu durum ise ikinci derece kinetik olarak adlandırılır (b=2).

4.8.2.1 Birinci Derece Kinetikler

Tamamen yalıtılmış (normalize edilmiş) bir TL piki için birinci derece kinetik, temel olarak yeniden tuzaklanmanın olmadığı durumu göz önüne alan Randall and Wilkins (Randall et all, 1945) tarafından verilmekte ve tuzaklanmış elektronların konsantrasyonu ile orantılı olan bir TL şiddetinin olduğu varsayılmaktadır. Bu durum genellikle birinci derece kinetikler olarak bilinmektedir. T (K) sıcaklığında birim zaman (s) başına elektronların serbest kalma hızı:

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = nse^{-E/kT} \tag{4.1}$$

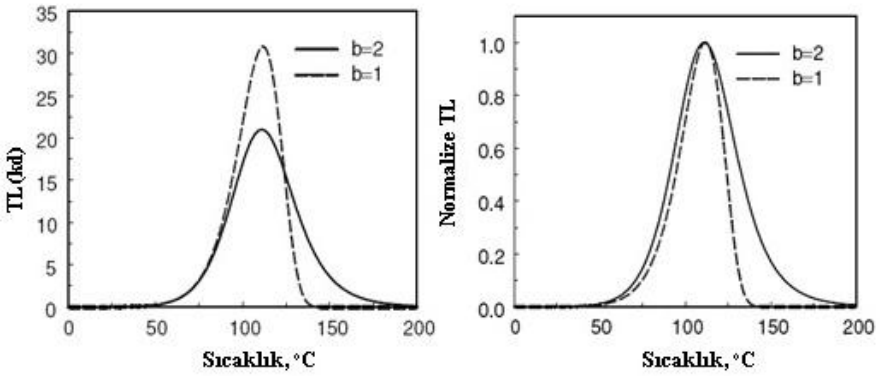
ile verilmektedir. Burada I (keyfi değer) TL şiddeti, n t(s) anında tuzaklanmış elektron konsantrasyonu ve k ($eV.K^{-1}$) Boltzmann sabitidir. Birinci derece kinetikler için TL şiddetini tanımlayan denklem 4.2 de veilmektedir:

$$I(T) = n_0 s\, exp\left(\frac{-E}{kT}\right) exp\left[-\frac{s}{\beta}\int_{T_0}^{T} exp\left(-\frac{E}{kT'}\right)dT'\right] \tag{4.2}$$

Denklem 4.2 nümerik integrasyon yöntemi ile çözülecek olursa çan eğrisine benzer bir grafik elde edilir (Şekil 4.9). Burada β ($K.s^{-1}$), dT/dt lineer ısıtma hızı ve n_o (cm^{-3}), T_o (K) sıcaklığında tuzakların konsantrasyonudur. Birinci derece kinetiklerin maksimum koşulunu veren ifade

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s\, exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \tag{4.3}$$

olur.



3

Şekil 4.9 Birinci ve ikinci derece kinetikler için TL ışıma piklerinin karşılaştırılması

4.8.2.2 İkinci Derece Kinetikler

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 (K) sıcaklığında birim zaman başına elektronların serbest kalma hızı;

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^2}{N} s e^{-E/kT} \tag{4.4}$$

ile verilir. Burada N (m^{-3}), tuzakların konsantrasyonudur. Bu denkleme göre ikinci derece kinetikleri tanımlayan denklem

$$I(T) = n_0^2 \frac{s}{N} \exp\left(\frac{-E}{kT}\right)\left[1 + \frac{n_0 s}{\beta N}\int_{T_0}^{T} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right)dT'\right]^{-2} \tag{4.5}$$

ile verilmektedir (Şekil 4.9). Maksimum koşulu veren ifade

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right)\left[1 + \left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \tag{4.6}$$

olur.

4.8.2.3 Genel Derece Kinetikler

TL için birinci ve ikinci derece denklemler, Halperin ve Braner (Halperin et all, 1960.) tarafından verilen daha genel bir denklemin özel durumlarıdır. May ve Partridge (May et all, 1964.) ile diğerleri (Chen, 1969; Takeuchi et al. 1975), ne birinci derece ne de ikinci derece koşulların karşılanmadığı durumlarda aşağıdaki deneysel denklemi kullanmayı önermişlerdir.

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = n^b s' e^{-E/kT} \tag{4.7}$$

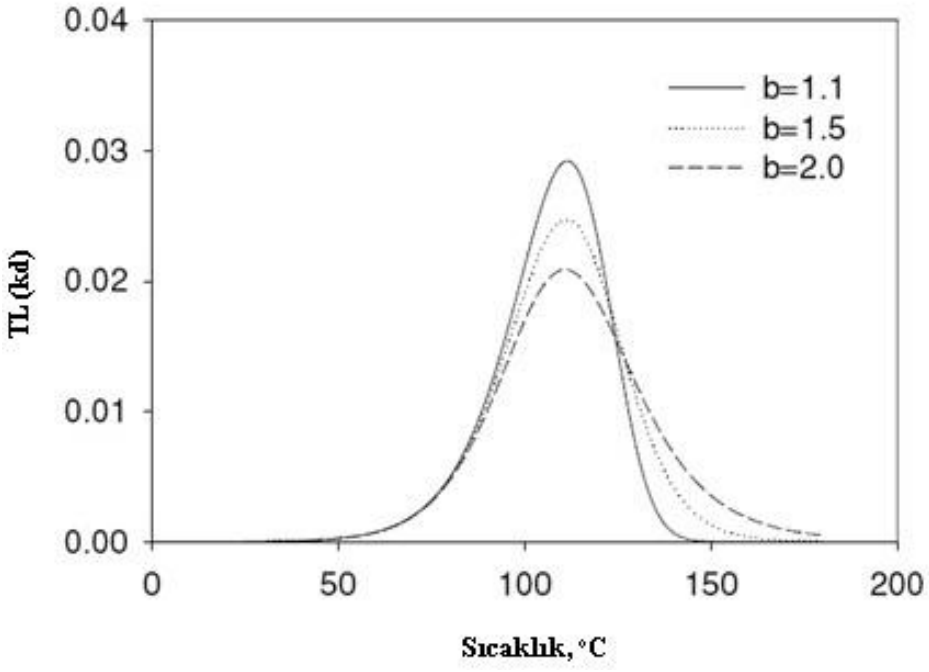
Burada b kinetiklerin derecesi ve s' (s^{-1}) frekans faktörüdür. Genellikle b'nin 1 ile 2 arasında değerler aldığı kabul edilir, fakat bazen bu aralığı aşabilir. Lineer ısıtma hızı β ve $b \neq 1$ olmak üzere üstteki denklemin çözümü:

$$I(T) = s'' \, n_0 exp\left(\frac{-E}{kT}\right)\left[1 + \frac{s''(b-1)}{\beta}\int_{T_0}^{T} exp\left(-\frac{E}{kT'}\right)dT'\right]^{\frac{b}{b-1}} \quad (4.8)$$

ile verilir (Şekil 4.10). Burada Chen (Chen, 1984) tarafından tanımlanan $s'' = s' n_0^{(b-1)}$, genel dereceli kinetikler için etkin frekans faktörü gibi davranan deneysel bir parametredir ve birimi s^{-1} dir. Maksimum salınım koşulunu veren ifade:

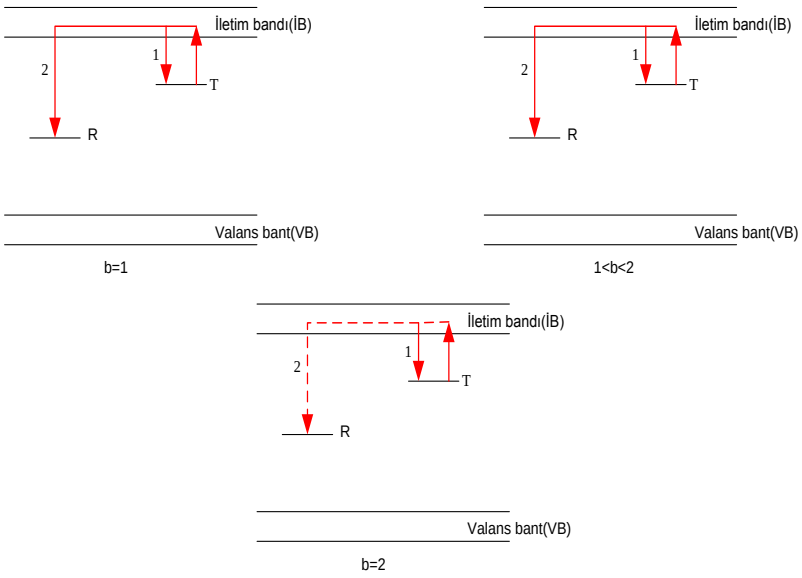
$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \, exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right)\left[1 + (b-1)\left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad (4.9)$$

şeklinde verilir (Akın,2009).



Şekil 4.10 Farklı kinetik dereceleri (b parametresi) için (4.8) denklemi kullanılarak hesaplanan genel dereceli TL ışıma pikleri.

Şekil 4.10 dan anlaşıldığı gibi değişik b değerleri için TL spektrumunun şekli ve şiddeti değişmektedir. Bu değişimleri daha iyi anlayabilmek için değişik kinetik dereceler arasındaki farkı gösteren bir çizim Şekil 4.11 de görülmektedir.



Şekil 4.11 Değişik kinetik dereceler arasında gerçekleşen farklı süreçler

Şekil 4.11 de “1” ile işaretlenmiş yollar yeniden tuzaklanmaları, “2” yeniden birleşmeleri, “T” tuzaklama merkezlerini ve “R” ise yeniden birleşme merkezlerini ifade etmektedir.

$\tau = s^{-1}\exp(E/kT)$ eşitliği ortalama yaşam süresi τ nun sıcaklığa üstel olarak bağlı olduğunu göstermektedir. Fosforesans için, birleştirilmiş *E* ve *T* değerleri başka bir deyişle τ çok küçüktür ve lüminesans, ışınlama yapıldığında T_o sıcaklığında kolayca gözlenir. Bununla birlikte eğer tuzak yeterince derinde ise, $E>>kT_o$ koşulunu sağlayan *E* ve T_o değerleri için τ çok büyük olacaktır. Bunun anlamı elektronun belirsiz süre tuzaklandığı *m* düzeyinde kalacağıdır. Tuzaklanmış elektronların serbest kalma değeri $dn/dt = -n/\tau$ T_o sıcaklığında çok küçük olacaktır. Eğer sıcaklık lineer olarak artırılırsa ($\beta = dT/dt$) $I(t) = n/\tau$ denklemindeki sıcaklık, lüminesansın gözlenmesine yetecek kadar büyük olacaktır.

Görüleceği gibi *T* artarken iken τ azalır. Bu durumda tuzaktan kurtulan elektronlar ve yeniden birleşmeler olacağından TL şiddeti artar.

5. DENEYSEL SİSTEMLER

Bu çalışmada esas amaç kemererit mineralinin optiksel ve lüminesans özelliklerinin incelenmesi ve yorumlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda kullanılan deneysel sistemler aşağıda tanıtılmaktadır.

TLD Reader-Analyser Sistemi

RA'94 TLD Reader-Analyser (Şekil 5.1) 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 laboratuarındaki rutin işlemler için veya TL etkilerinin bilgisayar destekli analizleri için kullanılabilir.



Şekil 5.1 Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuarında bulunan RA94 TLD Reader-Analyser sistemi

1) LCD 4 haneli ekran

2) Mod kontrolü ve programlama anahtarları

3) Kontrol düğmeleri

4) İnert gaz akışı ayarları için kullanılan rotametre

5) Ölçüm alınacak numunenin konulduğu numune ısıtma levhası.

6) Isıtma levhası, kontrol ışık kaynağı ve ısıtma güç birimi içeren çekmece.

5.1.1 TLD Reader-Analyser Sisteminin Çalışma Prensibi

- 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.

- 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.

- Sisteme yerleştirilmiş olan kalibrasyon ışık kaynağı sistemin hassasiyetini kolayca ve otomatik olarak sabit bir seviyeye ayarlama imkanı sağlar.

- ANALYSER modunda ısıtma levhasının sıcaklığı önceden programlanmış bir hızla lineer olarak artar veya operatör ile ayarlanır ve sayısal hale getirilen ışıma 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 kompansasyonu içermektedir.

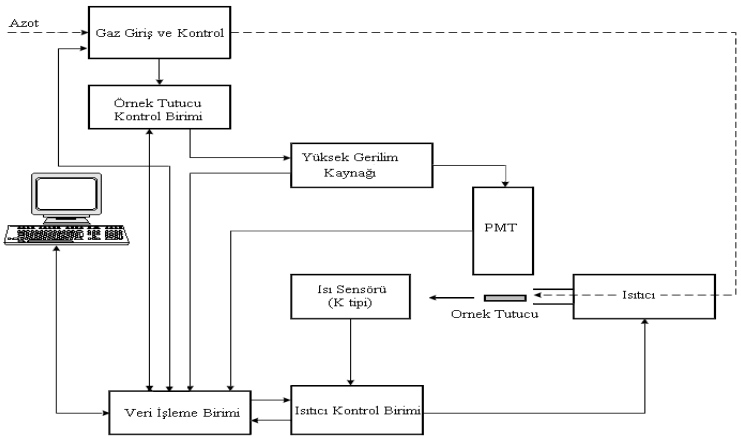
- Isıtma levhaları için kullanılan özel bir platin alaşım çoklu ısıtma devrelerinden sonra kararmaz.
- Yüksek hassasiyetli düşük TL şiddetlerinin ölçülmesi için, %0.1 den daha az oksijen içeren sıkıştırılmış inert gaz (nitrojen veya argon) tüpü gerekir.

5.1.2 Temel Özellikleri

- ✓ **Duyarlık :** Referans ışık kaynağı ile programlanabilir.
- ✓ **Hassasiyet :** ± %2 S.D. (taneciğin çok yönlü okunması)
- ✓ **Kararlılığı :** 8 saat çalışması boyunca ± %2 den daha iyi
- ✓ **Okuma zamanı:** READER modunda : 3-180 s
  ANALYSER modunda : 25-4000 s
  XREADER modunda : max toplam zaman 45 s

- ✓ **Üç Adımlı Isıtma :** 20-400 ^{o}C arasında ayarlanabilir sıcaklıklar. Her bir döngü zamanı 1-60 s arasındadır.
- ✓ **Max. Isıtma Sıcaklığı:** 400 ^{o}C ye kadar ayarlanabilir.

- ✓ **Lineer Isıtma Hızı:** Saniyede 0.5-10 ^{o}C arasında ayarlanabilir.
- ✓ **Veri Çıkışı:** LCD ekran
- ✓ **Isıtma Levhası:** Dayanıklı ve sağlam platin alaşım
- ✓ **TL Dedektör Büyüklüğü:** 12 mm den küçük
- ✓ **Güç Kaynağı Gerilimi:** 230 V / 60 Hz
- ✓ **Güç Tüketimi:** max. 200 VA
- ✓ **Ortam Sıcaklığı:** 10-28 ^{o}C
- ✓ **Boyutları:** 365x155x372 mm
- ✓ **Ağırlığı:** Yaklaşık olarak 14 kg



Şekil 5.2 TLD okuyucunun basit diyagramı

5.2 Optiksel Soğurma Sistemi

Tez çalışmasında kullanılan kemereritin soğurma spektrumları TBAG-2324 (103T048) nolu proje kapsamında TUBİTAK desteği ile alınan Perkin Elmer marka Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometre sistemi ile alınmıştır. Söz konusu sistemin Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans laboratuvarındaki fotoğrafı şekil 5.3 de gösterilmektedir.

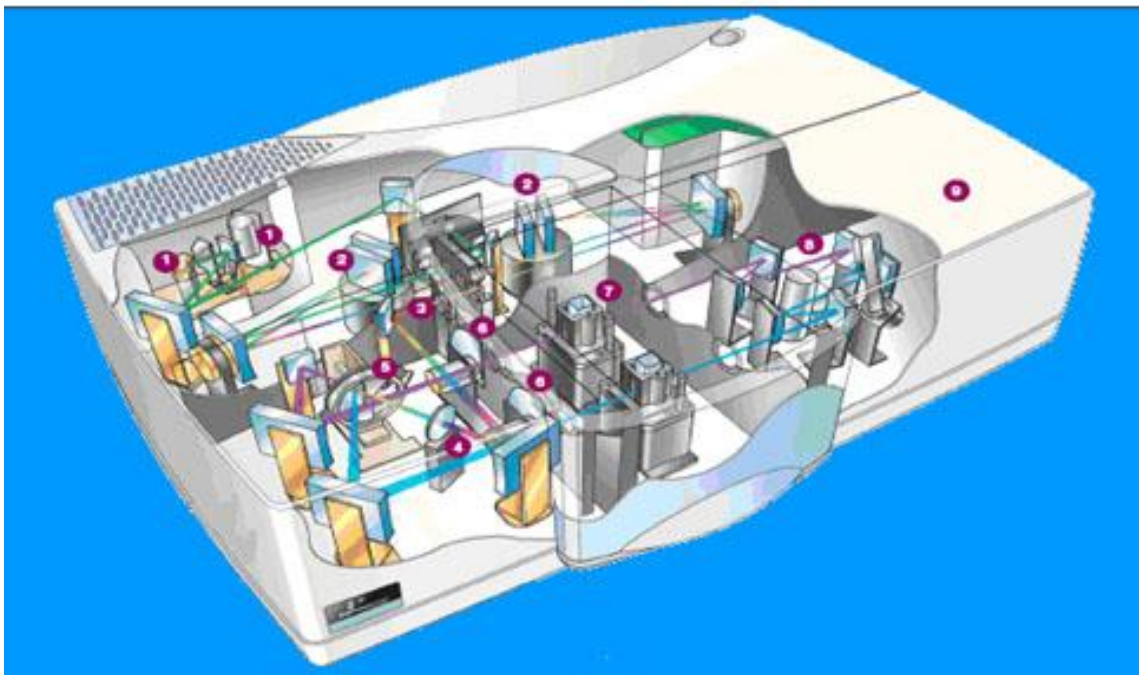


Şekil 5.3 Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuarında bulunan Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sistemi

Çizelge 5.1 de Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sisteminin teknik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 5.1 Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sisteminin teknik özellikleri

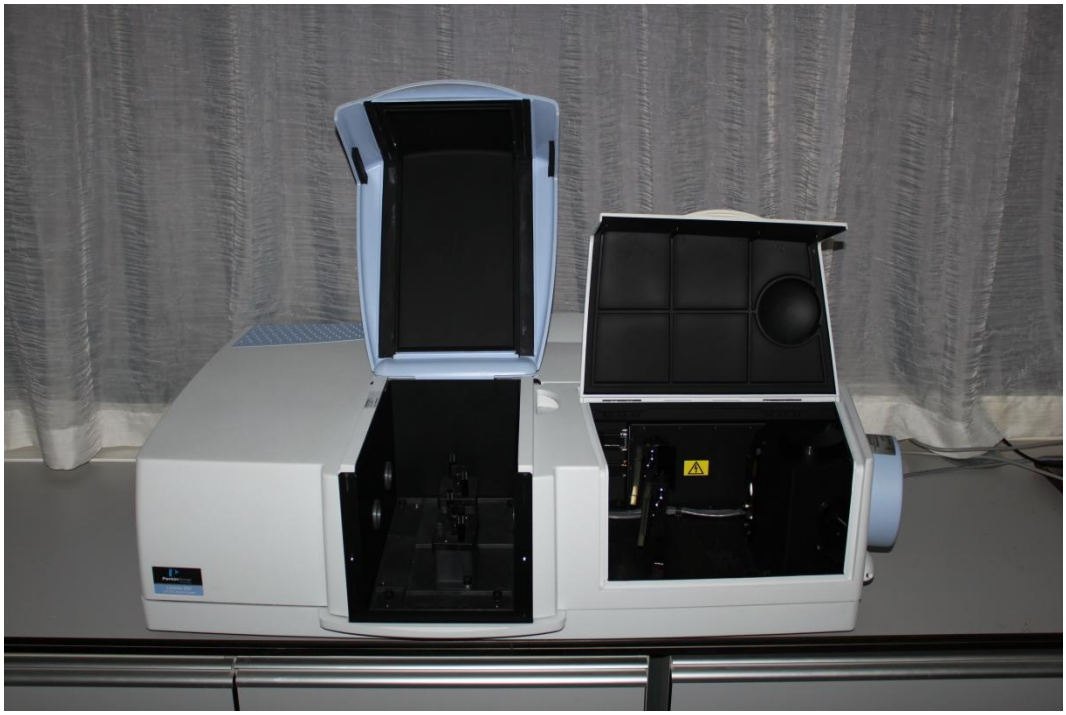
Teknik Özellik	**Açıklama**
Optik Sistem	Hepsi SiO_2 ile kaplanmış yansıtıcı optik sistemlerden oluşmaktadır. UV/VIS için 240 nm 1440 çizgi/nm ve NIR için 1100 nm de 360 çizgi/mm kırınım ağına sahip iki monokromatör bulunmaktadır.
Demet Ayırma Sistemi	Kesici (Chopper) (46 Hz, Devir:Karanlık/Örnek/Karanlık)
Dedektör	Tüm UV/VIS dalgaboyu aralığında yüksek enerji için R6872 Fotoçoğaltıcı tüp ve NIR için Peltier soğutuculu PbS dedektör.
Kaynak	Önceden hizalanmış Tungsten-halojen ve döteryum lamba
Dalgaboyu aralığı	175-3300 nm (185 nm nin altında sıvı azot ($N_{2)}$ soğutması gereklidir).
Çözünürlük	UV/VIS için $\leq$ 0.05 nm NIR için $\leq$ 0.20 nm
Dalgaboyu doğruluğu	+/- 0.08 nm UV/VIS +/- 0.30 nm NIR
Dalgaboyu tekrarlanabilirliği	UV/VIS (Döteryum Lamba Çizgileri) $\leq$ 0.020 nm NIR (Döteryum Lamba Çizgileri) $\leq$ 0.080 nm UV/VIS için 10 ölçümün standart sapması: $\leq$ 0.005 nm NIR için 10 ölçümün standart sapması: $\leq$ 0.020 nm
Fotometrik Ekran	Sınırsız
Bant Geçirici	UV/VIS aralığında 0.01 nm lik artışlarla 0.05 nm- 5.00 nm NIR aralığında 0.04 nm lik artışlarla 0.20 nm- 20.00 nm
Çalışma Sıcaklığı	10-35 ^{o}C



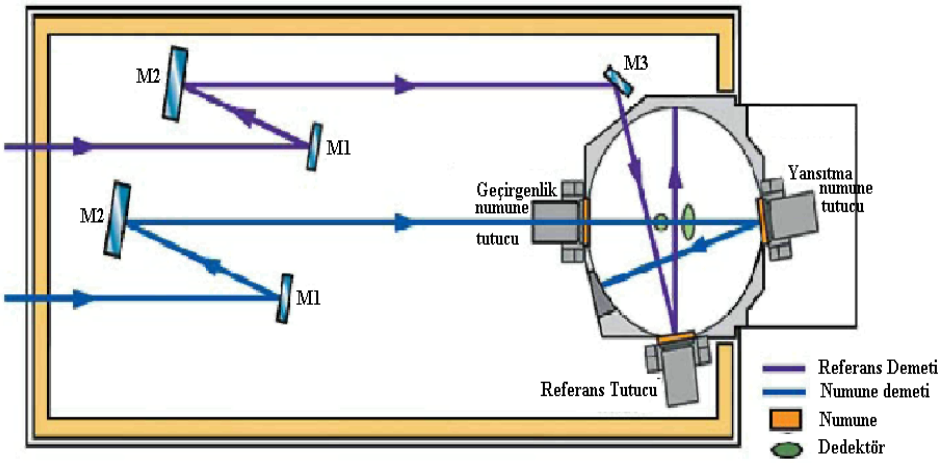
Şekil 5.4 Perkin Emler Lambda 950 spektrofotometre sisteminin iç yapısının şematik gösterimi.

Lambda 950 spektrofotometre sistemi 175 nm den 3300 nm ye kadar olan UV/VIS/NIR dalgaboyu aralığında ölçüm yapma olanağı sağlayan bir sistemdir. Bu amaçla sistemde döteryum ve tungsten- halojen lambalardan oluşan iki adet ışık kaynağı (Şekil 5.5 da 1) ve UV/VIS için 240 nm 1440 çizgi/nm ve NIR için 1100 nm de 360 çizgi/mm kırınım ağına sahip iki monokromatör mevcuttur. Şekil 5.5 da görüldüğü gibi lambalardan çıkan ışık demeti ayna sistemi ile monokromatöre gelir (Şekil 5.5 da 2-3). Böylece demetin dalgaboyu belirlenir. Ardından monokromatörden çıkan ışık demeti yine ayna sistemi yardımıyla depolarizöre aktarılır (Şekil 5.5 da 4). Lambda 950 spektrometresi kristaller ve lazer uygulamalarında kullanılacak materyaller için polarizasyona bağlı geçirgenlik ve yansıtma ölçümleri alabileceği gibi, polarizasyondan bağımsız ölçümler için depolarize sisteminin kullanılması gerekmektedir. Depolarizörden çıkan ışık demeti demet kesiciye (chopper) gelir (Şekil 5.5 de 5). Demet kesici 47 Hz lik bir frekansla dönen, yansıtıcı ve geçirici kısımları olan ve dört parçalı olarak dizayn edilmiş bir disktir. Bu parça sayesinde ışık demeti spektrometre içindeki örnek ve referans odalarından ayrı ayrı geçecek şekilde yansıtılır ya da geçirilir yani örnek ile referans arasında bir anahtar görevi yapmaktadır. Şekil 5.5 de 6 ile gösterilen parça yüksek soğurma özelliğine sahiptir, örneklerde daha hassas ve doğru ölçüm yapabilmek için kullanılır. Bu örnek ve referans demetini azaltma özelliğine sahiptir. Bu şekilde, ölçüm aralığındaki her dalgaboyu için, ışık demeti şekil 5.5 de 7 ile gösterilen referans ve örnek odalarından geçerek detektöre ulaşır. Sistemde detektör olarak UV/VIS aralığı için R6872 fotoçoğaltıcı tübü ve NIR için Peltier soğutuculu PbS detektörü bulunmaktadır (Şekil 5.5 de 8). 185 nm altında ölçüm yapabilmek için

N_2 soğutması gerekmektedir Detektörde her dalgaboyu için referans ve örnek odalarından geçen ışığın karşılaştırılmalı ölçümü elde edilir. Şekil 5.5 de 9 ile gösterildiği gibi, sisteme ikinci bir örnek odası daha yerleştirme imkanı vardır. Toplam ve difüz geçirgenlik ölçümü yapmayı sağlamasının yanı sıra içerdiği 60 mm veya 150 mm lik küre ile son derece yüksek kararlılıkta yansıma ölçümleri yapmayı sağlamaktadır (Şekil 5.6).



Şekil 5.5 İki farklı tür örnek odasını da içeren Lambda 950 Spektrofotometresi



Şekil 5.6 Yansıma ölçümlerinin yapıldığı örnek odasının şematik gösterimi

Kullanılan optiksel soğurma sistemi bu çalışmada kullanılan malzemelerden çok daha büyük malzemeler için dizayn edildiğinden, yaklaşık 0,5 cm genişliğe sahip küçük malzemelerin ölçülebilmesi için, örnek tutucu tasarlanıp yaptırılmıştır. Tüm ölçümler boyunca ışık örnek üzerine dik bir şekilde düşürülmektedir. Ölçüm yapılacak dalgaboyu aralığı, sistemin çözünürlüğü ve hangi tür ölçüm yapılacağı (soğurma, yansıma veya geçirgenlik) "Perkin Elmer UV WinLab" bilgisayar programı sayesinde belirlenir. Elde edilen veriler AXUM programı ile grafik haline getirilir.(Çetin 2007)

5.3 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

Çalışmamızda SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile kullandığımız kemererit minerali için alınan fotoğraflar ve enerji dağılımına karşılık madde analizi (EDX) sonuçları verilecektir. Ancak bunun öncesinde SEM-EDX çalışma prensibi ve kullanımına dair genel bir bilgi vermek daha faydalı olacaktır.

1931 yılında Almanya'da elektron ışınlarının manyetik bobinler tarafından odaklanması ile ilk elektron mikroskobu yapıldı. Elektron mikroskobu yüksek vakum bölgesinde yer alır; hava molekülleri tarafından saptırılamaz.

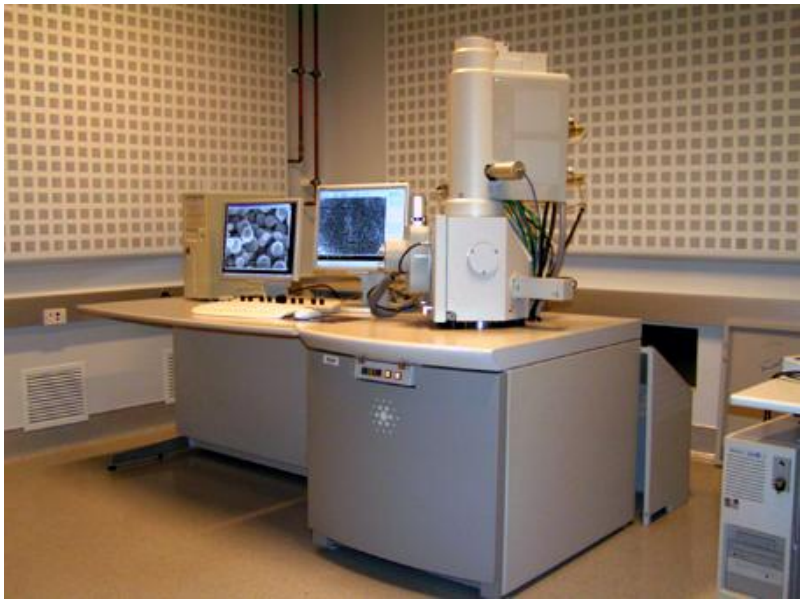
Elektron mikroskopları iki çeşittir. Bunlar:

Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM): Bu mikroskopta elektron ışını çok ince bir örneğe yönlendirilir. Elektron mikroskobunda, projeksiyon mercekleri olarak adlandırılan mercekler gerçek görüntüyü flouresans ya da fotografik film üzerine düşürmelidir, çünkü gözümüz elektron görüntüsünü doğrudan göremez. TEM için kullanılan örnekler çok ince olmalıdır. 10-20nm (100 atom kalınlığı) kadar ince örnekler özel yöntemlerle hazırlanabilmektedir.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM): Daha kalın örnekler elektron ışınlarının yüzeyden yansıması ile incelenebilir. Bu inceleme SEM ile yapılabilmektedir. Elektron ışını örnek yüzeyine odaklanır ve örnek yüzeyini taramaya başlar. Işının örnek yüzeyini taramaya başlamasıyla yüzeyden yansıyan elektronlar örneğe göre birkaç yüz volt pozitif voltajda tutulan anot ile toplanır. Toplayıcı anottaki akım yükseltilir ve katot ışın tüpündeki mikroskop ışını ile eşzamanlı olarak taranan elektron ışınlarını değiştirmek için kullanılır. Bu nedenle katot ışın tüpü örneğin oldukça büyütülmüş olan görüntüsünü alır. SEM 'in ayırma gücü 10nm mertebesindedir.

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir.

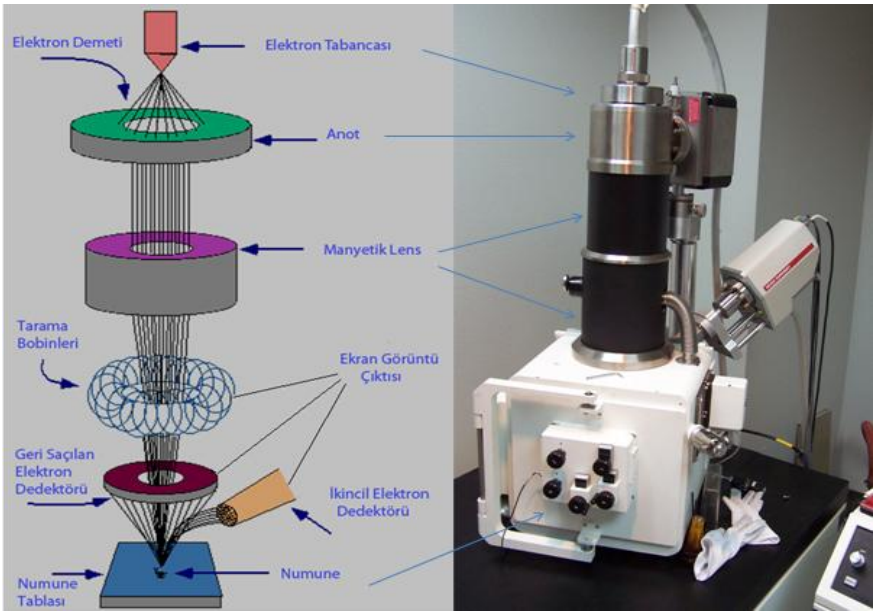
Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir(şekil 5.9). (Url 10)



Şekil 5.7 İYTE'de bulunan Phillips XL-30 marka SEM mikroskobu (Url 11)

5.3.1 SEM'in Çalışma Prensibi

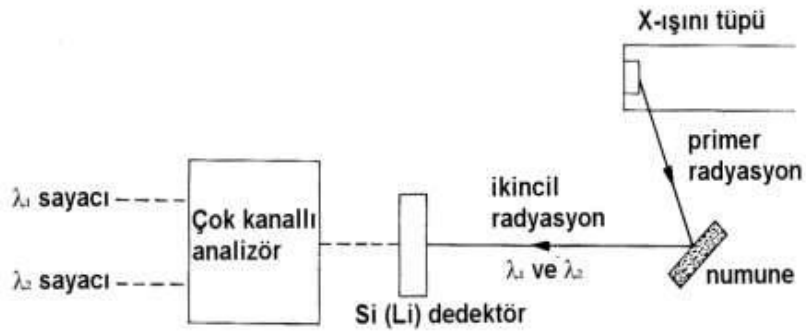
Taramalı Elektron Mikroskobu Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır. Optik kolon kısmında; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası; ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune 10^{-4} Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır.Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışımaları toplayan dedektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır. (Url 12)



Şekil 5.7 SEM için basit diyagram ve çalışma prensibi (URL 13)

5.4 EDX SİSTEMİ

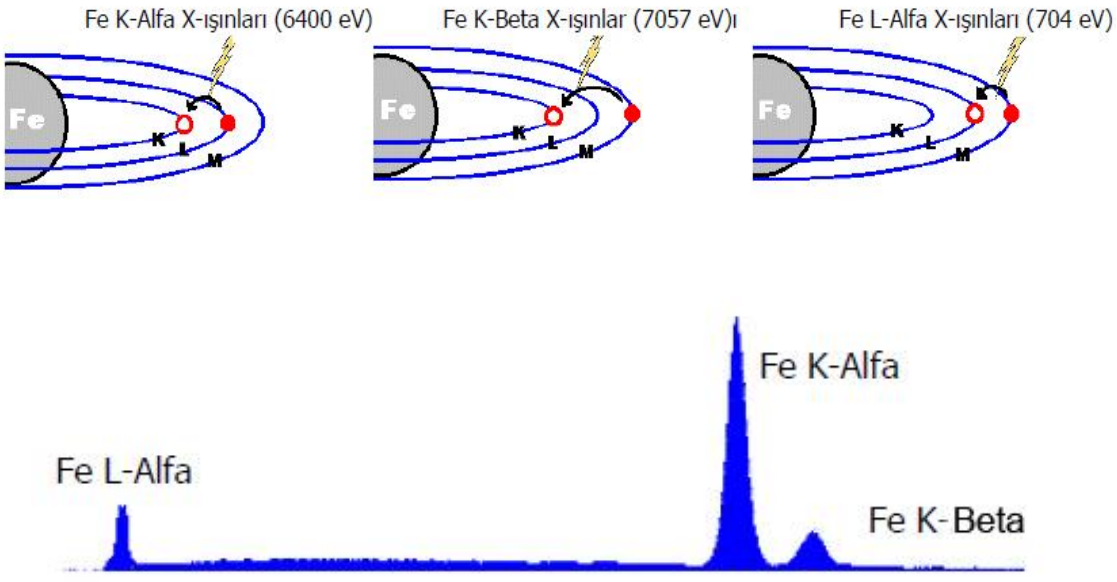
Enerji dağılım spektrometreleri 1960'lardan sonra yüksek ayırım gücüne sahip katıhal dedektörlerinin geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır. Bu tür dedektörlerin ve dedektör elektroniğinin sayesinde değişik enerjilere sahip X-ışınlarının spektral çizgileri ayırt edilebilir. Bu spektrometrelerde X-ışını kaynağı olarak genelde bir X-ışınları tüpü kullanılır ancak masaüstü ve elde taşınabilen modellerinde Fe-55, Cd-109, Cm-244, Am-241, Co-57 gibi radyoaktif izotoplar da kullanılabilir. Kullanılan dedektörler çoğunlukla sıvı azot veya Peltier soğutmalı Si(Li) katıhal dedektörleridir. Elde taşınabilen cihazlarda PIN diot dedektörleri yaygındır. X-ışını kaynağından çıkan primer radyasyon örneğe gönderilir ve örnekten ayrılan ikincil X-ışınları karakteristik çizgileri içerir. Bu spektrometrede difraksiyon yoktur. Dedektör tarafından algılanan ikincil radyasyon, enerjilerine göre, çok kanallı analizör ile (multi channel analyzer) ayrılır. EDXRF spektometresi ile Na-Pu aralığındaki tüm elementlerin nitel ve nicel analizini yapmak mümkündür. Ayırım gücü kullanılan dedektöre bağlıdır ve 150-600 eV aralığında değişir. (URL 14)



Şekil 5.8 EDX sisteminin basit diyagramı (URL 14)

Numunenin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptığında bu çarpışmalardan dolayı, numune yüzeyinden bazı elektronlar kopar. Eğer bu elektronlar içteki (çekirdeğe yakın) orbitallerden koparılmışlarsa atomlar kararlıklarını kaybederler. Tekrar kararlı hale gelebilmek için dış orbitallerdeki elektronlar iç orbitallerdeki boşlukları doldururlar. Dış orbitallerdeki elektronların enerjileri iç orbitallerdeki elektronların enerjilerinden daha yüksek olduğu için, dış orbital elektronları iç orbitalleri doldururken belli bir miktar enerji kaybetmek zorundadırlar. Bu kaybedilen enerji X-ışını şeklinde ortaya çıkar.

Ortaya çıkan X-ışınlarının enerjisi ve dalgaboyu sadece atomla ilgili olmayıp o atomun alışverişde bulunan orbitalleri ile ilgili karakteristik bir özelliktir.



Şekil 5.9 Fe için K-Alfa, K-Beta, L-Alfa X-ışınları ve EDX spektrumu (Url 15)

5.5 XRD SİSTEMİ

Mineraller gibi amorf olmayan materyallerin üç boyutlu yapısı, bir kristal örgüdeki atomların tekrarlanan düzenli düzlemleriyle tanımlanır. Odaklanmış bir X-ışını demeti, atomların bu düzlemleriyle etkileşime girdiğinde, ışık demetinin bir kısmı yayılır, bir kısmı atom tarafından soğurulur, bir kısmı saçılır ve diğer bir kısmı da kırılır. Bir kristalleşmiş katı tarafından bir X-ışını demetinin kırınımı, bildiğimiz gökkuşağı oluşumundaki su damlacıklarının ışığı kırmasına benzer. X-ışını, her bir mineralden, mineralin kristal yapısına ve atomların nasıl dizildiğine bağlı olarak, farklı şekilde kırılır. İncelemede kullanılan X-ışınları vakum altında bir tüp içerisinde üretilir.

Tüp içerisindeki sıcak bir filamente akım uygulandığında filamentten büyük bir elektron yayılımı olur. Bu elektronların üretimi bir televizyon tüpündeki elektronların üretimine benzer. Genellikle 15-60 kV'lik bir yüksek gerilim tüp içerisine uygulanır. Bu yüksek voltaj elektronları hızlandırır ve hızlanan elektronlar genelde bakırdan yapılmış bir hedefe çarpar ve böylece X-ışınları üretilmiş olur. Oluşan bu X-ışınlarının dalga boyu hedefin karakteristiğini gösterir.

X-ışınları toplanır ve ince toz haline getirilmiş (10 mikron'dan daha küçük) örnek üzerine gönderilir ve bir dedektör yardımıyla X-ışını sinyali tespit edilir. Bir X-ışını, bir örneğe çarpıp kırıldığında Bragg Yasasının uygulanması ile örnekteki atomların düzlemleri arasındaki mesafeyi ölçebiliriz.

Bragg Yasası:

$n\lambda = 2d \sin\theta$

eşitliği ile ifade edilir. Burada,

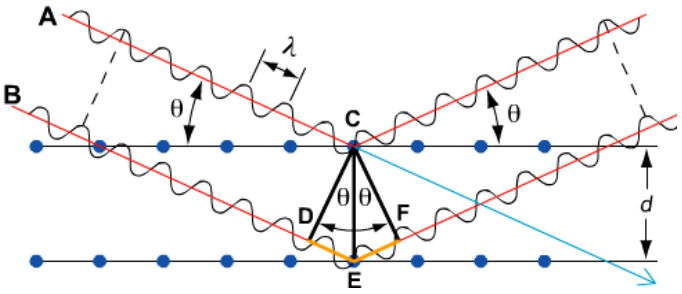
n: kırılmış demetlerin derecesi (n, tek sayı)

λ : gelen x-ışını demetinin dalga boyu

d: atomların komşu düzlemleri arasındaki mesafe

θ : x-ışını demetinin gelme açısıdır.

Denklemden, λ 'yı bildiğimiz ve θ 'yı ölçebildiğimiz için d mesafelerini hesaplayabiliriz. d mesafelerinin karakteristiği, örnekteki mevcut mineral veya mineraller hakkında bir ipucu sağlar. Standart referanslar ve ölçüm sonuçları karşılaştırılıp yorumlama yapıldığında, bu ipuçları materyalin tanınmasında yol gösterici olur.



Şekil 5.10 Bir katıdaki x-ışınlarının yansıması

Birçok analitik teknik materyallerin karakteristiğini belirlemek için kullanılır. XRD (X-Işını Kırınım) yöntemi bu tekniklerden biridir. XRD, minerallerin belirlenmesi için kullanılan yararlı bir tekniktir. XRD, araştırmacılara minerallerin iyi bir şekilde tanımlanması için hızlı ve güvenilir sonuçlar sağlar. XRD, özellikle ince tanecikli minerallerin ve karışımların belirlenmesi için faydalıdır ve temel belirlemenin dışında ek bilgiler de sağlayabilir. Eğer örnek bir karışımsa, XRD verileri, mevcut farklı minerallerin oranını tayin etmek için analiz edilebilir. XRD yöntemiyle elde edilebilecek diğer bilgilerse, mevcut mineral veya minerallerin kristallik derecesi, minerallerin yapısal durumları gibi özellikler olarak sıralanabilir. (Yüksel 2008)



Şekil 5.11 XRD Cihazı (MTA) (Url 16)

6. MATERYAL VE METOT

6.1 Giriş

Yapılan bu çalışmada Erzincan Kop Dağı Bölgesi'nden çıkarılan kemererit mineralinin karakterizasyonu ve lüminesans özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan mineral Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir Meslek Yüksek Okulu Gemoloji Bölümü'nden temin edilmiştir.

Örneklerin lüminesans özelliklerini incelemek amacıyla termolüminesans spektrumları alınmıştır. X-ışını uyarımı elde edilen TL spektrumları Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuarı'nda bulunan RA'94 TLD Reader-Analyser sistemi ile alınmıştır. TL ölçümlerine geçilmeden önce üzerlerindeki mevcut radyasyonu silmek amacıyla örnekler ısıtılmıştır.

Örneklerin doğrusal optiksel özelliklerini incelemek amacıyla Celal Bayar Üniversitesi'nde bulunan Perkin Elmer marka Lambda 950 UV/VIS/NIR spektrofotometre kullanılmıştır. Örneklerin 200–2000 nm aralığındaki soğurma özelliklerinin değişimi 2nm lik adımlarla incelenmiştir.

Kemererit mineralinin kristal yapısını incelemek amacıyla İYTE'de bulunan Phillips XL-30 marka SEM mikroskobu kullanılmıştır. Malzemeye ait SEM görüntüleri 150, 1000, 5000 ve 10000 büyütme ile alınmıştır. Alınan görüntüler, kemereritin kristal yapısını net bir şekilde gösterir niteliktedir. Ayrıca minerale ait EDX analizi ÜSKİM laboratuarında Bruker marka cihazla alınmıştır.

6.2 Kemererit Mineralinin Özellikleri

Bu çalışmada Erzincan Kop Dağı bölgesinden çıkarılan Kemererit örneği kullanılmıştır. Bu bölümde kullanılan mineral ile ilgili çeşitli özellikler ve elde edilen analiz sonuçları verilcektir.

6.2.1 Kemererit



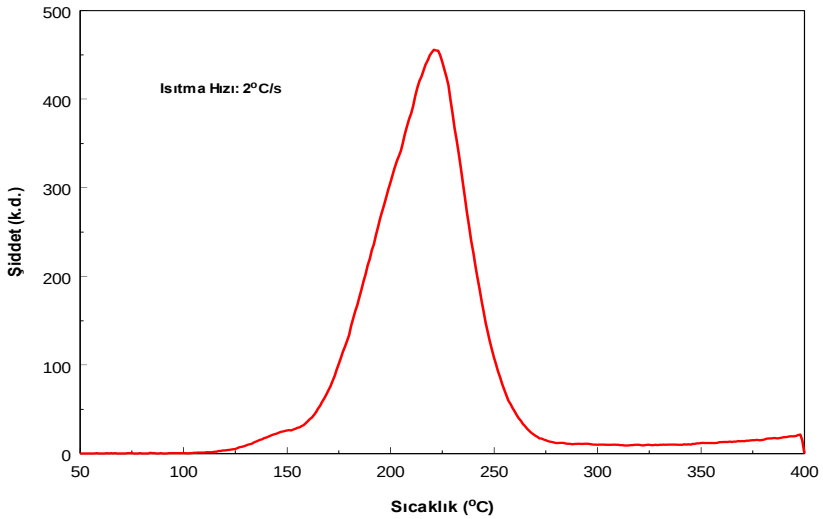
Kimyasal Formül: $(Mg, Cr)_6(AlSi_3)O_{10}(OH)_8$
Sertlik: 2 – 2.5
Yoğunluk: 2.645
Kristal Sistemi: Triklinik
Kristal Biçimi: Hegzagonal, altı yüzlü piramitler şeklinde
Dilinim: {001}, mükemmel
Renk:.Kırmızı - morumsu kırmızı; şeffaf - yarı şeffaf
Parlaklık:. Camsı
Bulunuş Şekli:. Kromit yataklarında uvarovit ile birlikte bulunur
Çıkarıldığı Yer: Erzincan-Kop Dağı (MTA-Mineraller 2008)

Kemererit, krom bakımından zengin bir klinoklor çeşididir. Ayrıca klinoklor, kloritler olarak adlandırılan minerallerin büyük bir grubunun üyesidir. Kloritlerin çoğu içerdikleri magnezyum ve demirden ötürü yeşil renge sahiptirler. Bununla birlikte kemererit yapısında az miktarda krom bulundurur, bilindiği gibi mineraller açısından krom, güçlü renk oluşumu sağlayan safsızlık atomudur. Lavanta renkleri ve kızıl renkler kemererit için yaygın gözlenen renklerdir.
Mor menekşe renkli bir krom mikasi olan kemmererit kristalleri Erzincan - Erzurum - Bayburt üçgeni arasındaki Kop Dağının, Büyük Ezan krom ocağına bağlı Doğu Ezan ve Pembe Gül ocaklarında bulunmaktadır. (Url 17)

Türkiye'ye özgü nadir taşlardan biri olan kemmererit dekoratif ve koleksiyon amaçlı olarak ilgi çekmektedir. Kromit spinel grubuna dahil bir mineral olup, Cr+3 (0,64 A°), Al+3 (0,59 A°), Fe+3 (0,67 A°), elementleri benzer iyon yarıçaplarında olduklarından birbirleriyle yer değiştirebilirler. Örneğin Cr ile Al arasındaki yer değiştirmelerden dolayı, Al'lu silikatların bünyelerine bir miktar Cr girebilir. Fuksit, kemererit ve uvarovit bu şekilde oluşan minerallerdir. (Url 18)

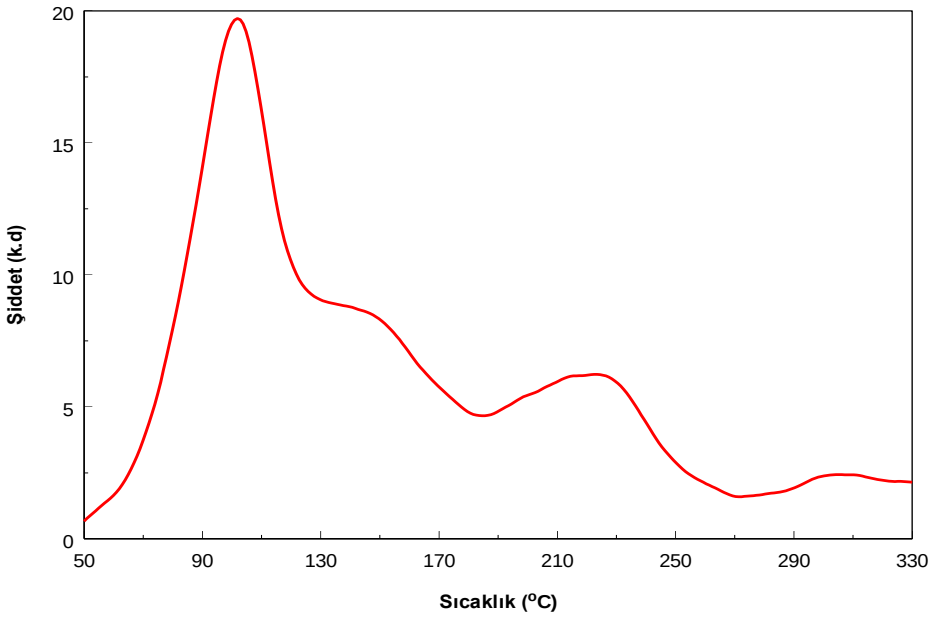
7. SONUÇLAR

7.1.1 Termolüminesas Verileri



Şekil 7.1 Kemererit için doğal TL spektrumu

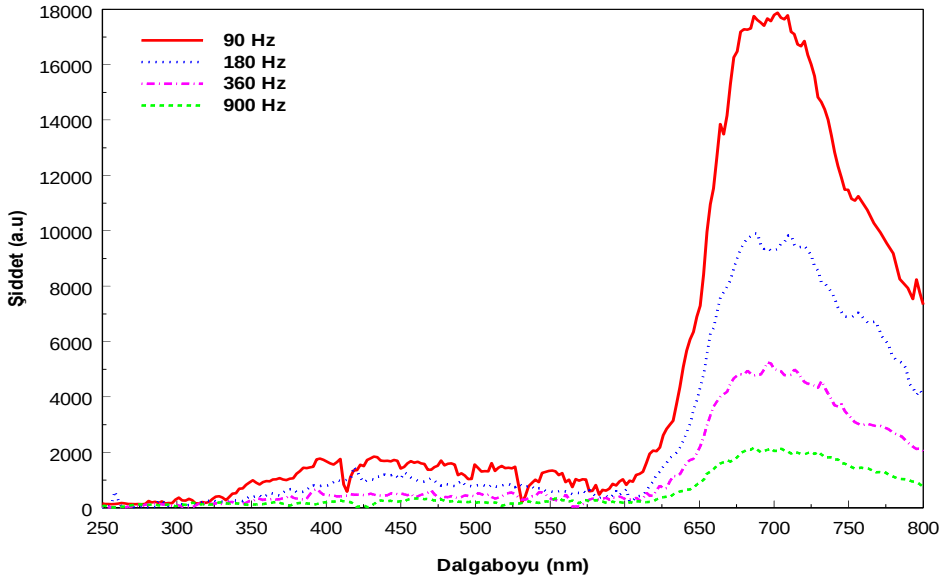
Şekil 7.1 de kemererit mineralinin herhangi bir uyartmaya maruz bırakılmadan 2 ^{o}C/s lik ısıtma hızıyla alınan TL spektrumu görülmektedir. Işıma şiddetinin maksimum olduğu 222 ^{o}C de dar ve keskin bir pik görülmektedir. Oluşan bu spektrum, mineralin çıkarıldığı bölgede önceden maruz kaldığı doğal radyasyondan kaynaklanmaktadır.



Şekil 7.2 Kemererit için 10 dk x-ışınına maruz kaldıktan sonra alınan TL spektrumu

Şekil 7.2 de kemererit mineralinin 10 dk x-ışınına maruz bırakılarak alınan TL spektrumları verilmektedir. 5 ^{o}C/s ısıtma hızı ile alınan TL spektrumunda 102, 148, 224, 305 ^{o}C de pikler görülmektedir.

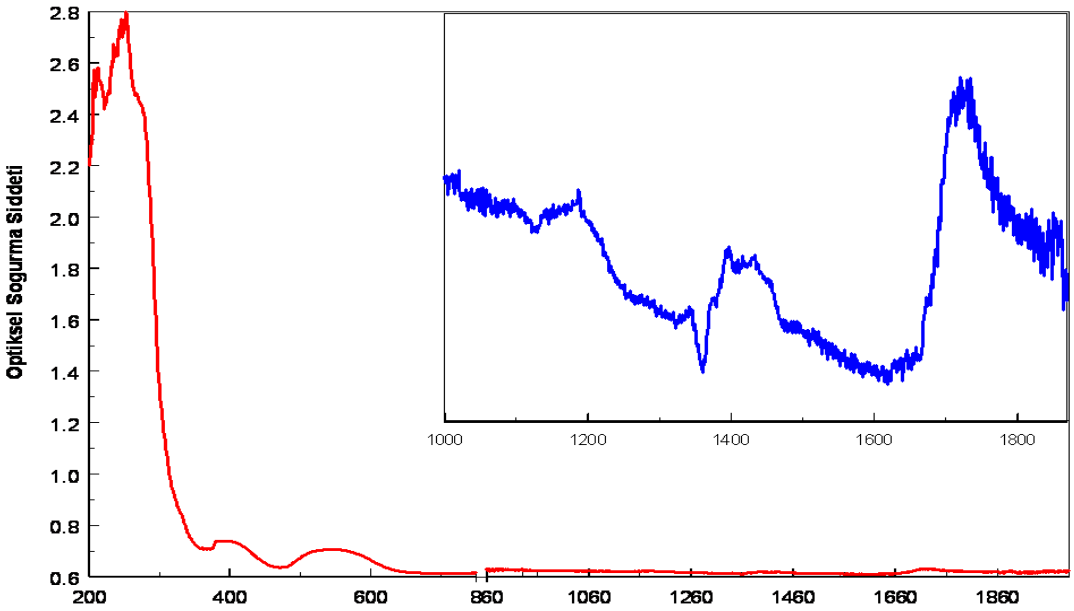
7.1.2 Katodolüminesans Verileri



Şekil 7.3 Kemererit'e ait AC CL spektrumu

90, 180, 360 ve 900 Hz'lik farklı uyarma modülasyon frekanslarında alınan AC CL ölçümlerinde frekans artarken lüminesans şiddeti azalmaktadır. AC CL spektrumunda elektromanyetik spektrumun kırmızı bölgesinde 698 nm de maksimuma sahip pikin baskın olduğu görülmektedir. Literatür araştırmalarında gözlemlemiş olduğumuz pikin Cr^{+3}'e ait katodolüminesans spektrumlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

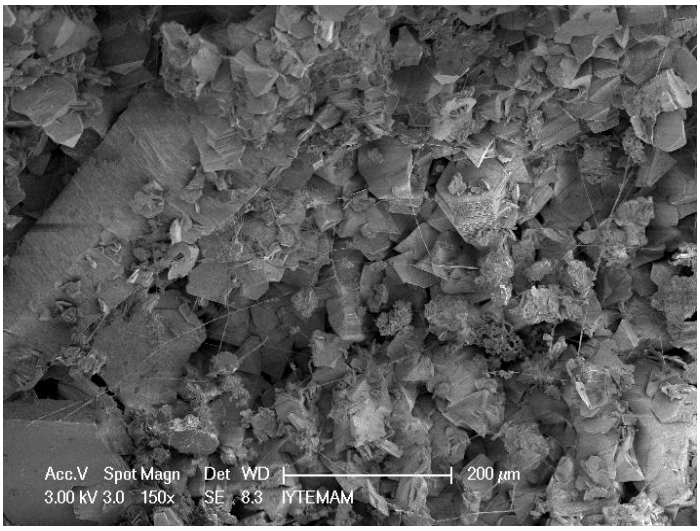
7.1.3 Doğrusal Optik Verileri



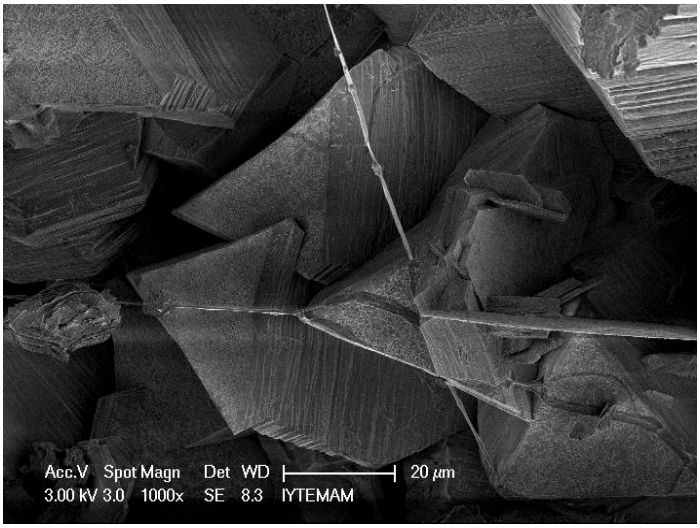
Şekil 7.4 Kemererit mineralinin optiksel soğurma spektrumu

Şekil 7.4 te kemereritin soğurma spektrumu görülmektedir. Örneğe ait spektrumda 400 nm'de ve 550 nm'de belirgin olarak geniş bir soğurma bandı gözlenmektedir. Ayrıca 1000-1800 nm'de kızılötesi bölgede 1200, 1330, 1420 ve 1720 nm'de belirgin soğurma bandları görülmektedir.

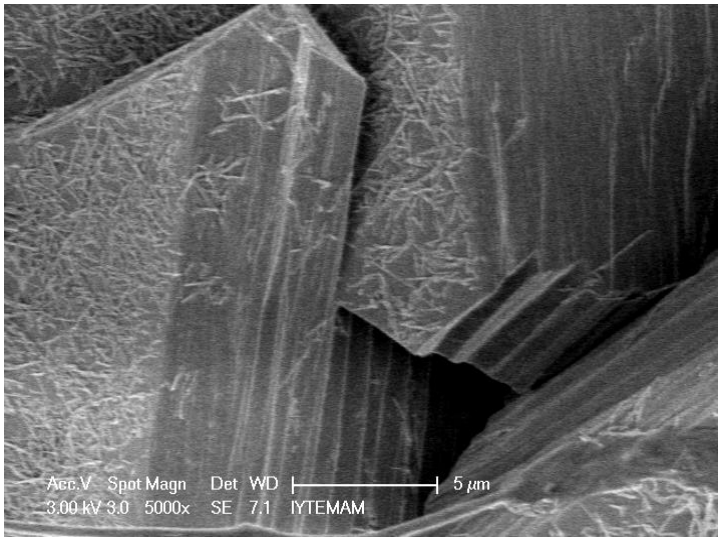
7.1.4 SEM Verileri



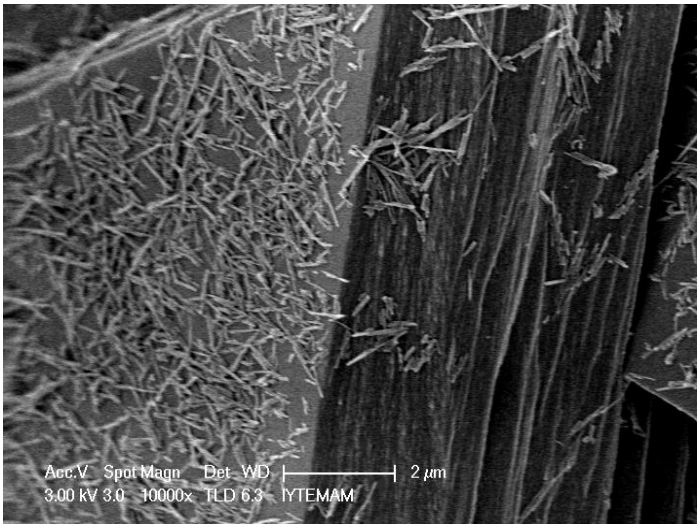
Şekil 7.5 Kemererit için 150 büyütmede SEM görüntüsü



Şekil 7.6 Kemererit için 1000 büyütmede SEM görüntüsü



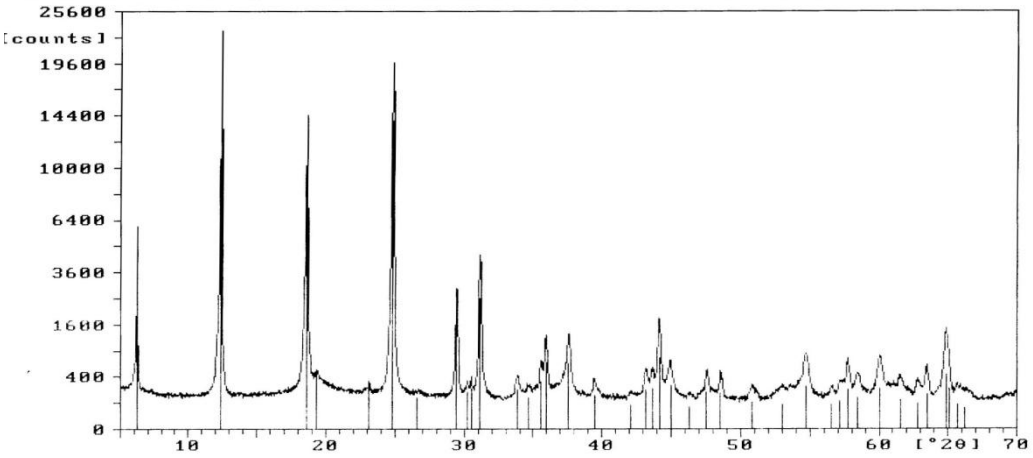
Şekil 7.7 Kemererit için 5000 büyütmede SEM görüntüsü



Şekil 7.8 Kemererit için 10000 büyütmede SEM görüntüsü

Şekil 7.5- 7.8 arasındaki şekillerde kemereritin 150 den 10000 büyütmeye kadar alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerden kemereritin triklinik yapıya sahip olduğu açıkça görülmektedir.

7.1.5 XRD Verileri



Şekil 7.9 Kemererit için elde edilen XRD spektrumu

Sample identification: KE050111
Data measured at: 9-Jan-2011 4:33:00

Tube anode: Cu
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439

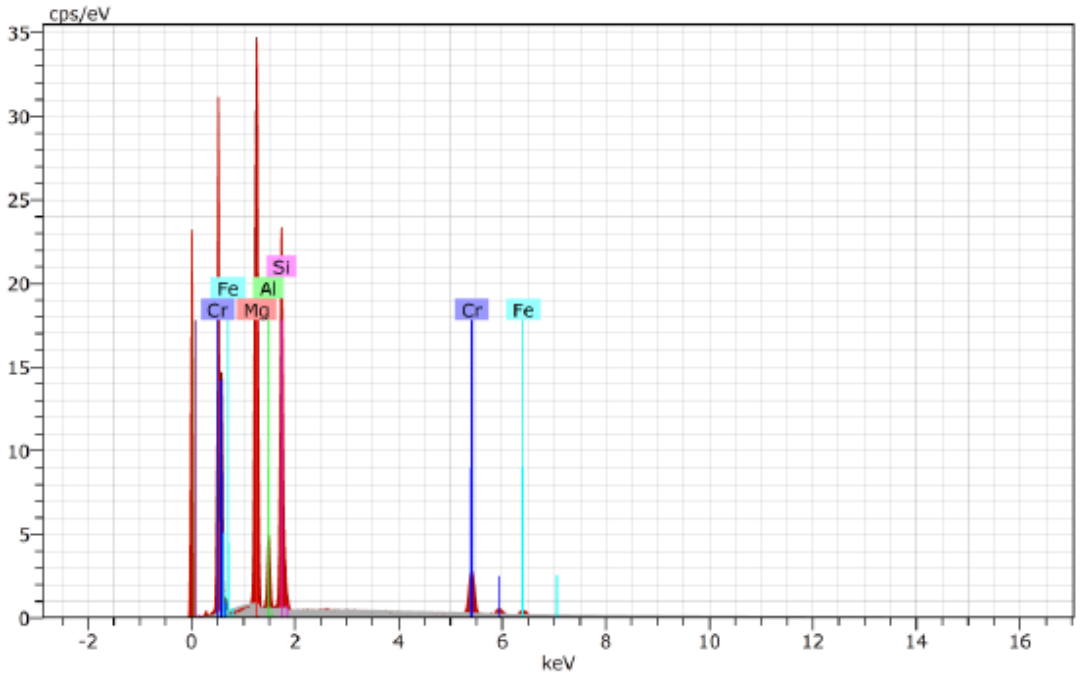
Start angle [°2θ]: 5.015
End angle [°2θ]: 70.025
Maximum intensity: 23043.24
Intensities converted to: FIXED

Number of peaks: 40

Angle [°2θ]	d-value α1 [Å]	d-value α2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
6.220	14.1979	14.2332	0.120	5491	529	23.8	9.13
12.375	7.1466	7.1644	0.120	23043	243	100.0	27.15
18.580	4.7716	4.7834	0.120	13363	216	58.0	24.89
19.325	4.5893	4.6007	0.120	256	213	1.1	0.87
23.145	3.8397	3.8493	0.120	88	151	0.4	0.91
24.825	3.5836	3.5925	0.150	13759	132	59.7	44.33
26.620	3.3458	3.3542	0.360	22	114	0.1	0.85
29.475	3.0279	3.0355	0.150	1640	94	7.1	16.44
30.225	2.9545	2.9618	0.120	102	90	0.4	1.23
30.510	2.9275	2.9348	0.090	142	88	0.6	0.87
31.160	2.8679	2.8751	0.150	2430	85	10.5	18.97
33.875	2.6440	2.6506	0.210	149	74	0.6	3.89
34.680	2.5845	2.5909	0.240	71	72	0.3	1.32
35.600	2.5198	2.5260	0.180	253	71	1.1	4.26
35.940	2.4967	2.5029	0.180	566	69	2.5	10.83
37.605	2.3899	2.3958	0.150	566	66	2.5	5.61
39.440	2.2828	2.2885	0.150	96	62	0.4	2.05
42.120	2.1436	2.1489	0.240	28	58	0.1	0.92
43.200	2.0924	2.0976	0.180	161	56	0.7	3.52
43.680	2.0706	2.0757	0.150	174	56	0.8	2.52
44.145	2.0498	2.0549	0.210	686	55	3.0	17.15
44.960	2.0145	2.0195	0.150	219	55	1.0	2.81
46.310	1.9589	1.9638	0.300	18	52	0.1	1.02
47.545	1.9109	1.9156	0.240	146	50	0.6	7.58
48.545	1.8738	1.8785	0.210	132	49	0.6	4.93
50.835	1.7946	1.7991	0.150	55	46	0.2	1.21
53.040	1.7251	1.7294	0.300	44	45	0.2	0.89
54.730	1.6758	1.6799	0.270	225	44	1.0	7.37
56.580	1.6253	1.6293	0.180	41	42	0.2	0.78
57.140	1.6107	1.6147	0.120	64	42	0.3	0.91
57.725	1.5957	1.5997	0.120	188	41	0.8	2.42
58.460	1.5774	1.5813	0.150	102	41	0.4	0.82
60.065	1.5390	1.5429	0.300	199	40	0.9	11.81
61.515	1.5062	1.5099	0.240	81	38	0.4	2.11
62.730	1.4799	1.4836	0.150	55	38	0.2	1.03
63.420	1.4655	1.4691	0.150	132	38	0.6	3.23
64.860	1.4364	1.4399	0.150	380	37	1.7	5.30
65.060	1.4324	1.4360	0.090	202	37	0.9	1.61
65.650	1.4210	1.4245	0.120	50	37	0.2	0.76
66.215	1.4102	1.4137	0.480	25	36	0.1	2.46

2θ değerleri 2^o ile 70^o arasında olmak üzere, $0{,}020^o$ lik adımlarla ve süre adım başına 4 s seçilerek kemererit için XRD spektrumu alınmıştır. Elde edilen XRD pikleri şekil 7.9 da görülmektedir.

7.1.6 EDX Verileri



Spectrum: Acquisition

Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [wt.%]
Magnesium	K-series	19.06	40.51	47.15	1.1
Aluminium	K-series	4.01	8.52	8.94	0.2
Chromium	K-series	6.54	13.89	7.56	0.2
Iron	K-series	0.92	1.97	1.00	0.1
Silicon	K-series	16.52	35.10	35.36	0.7
	Total:	47.06	100.00	100.00	

Çizelge 7.1 Kemererit için EDX yöntemi ile belirlenen elementler

Kemererit'e ait EDX analizinde , malzemeyi oluşturan Mg, Cr, Al, Fe ve Si elementlerine ait pikler gözlenmiştir. Malzemenin kimyasal formülüyle de örtüşen sonuçlardan anlaşılacağı üzere kemererit minerali yüksek oranda Mg ve Cr ihtiva etmektedir. Kemereritin renklenmesinde Cr önemli bir safsızlık atomudur.

8. TARTIŞMA VE YORUM

Kemererit mineralinin karakterizasyonu ve lüminesans özelliklerinin incelenmesi amacı ile yapılan bu çalışmada numuneye ait termolüminesans (TL) ölçümleri; farklı dozlarda X-ışınına maruz bırakılarak 50-400 ^{o}C sıcaklık aralığında TL spektrumu alınmıştır. Malzemenin dozimetrik özelliğe sahip olup olmadığını görmek için numune 5 ^{o}C/s ısıtma hızı ile 10 dk x-ışınına maruz bırakılarak, birden çok ışınlamayla elde edilen TL eğrileri karşılaştırıldığında numune kararlı bir tekrarlanabilirlik spektrumu göstermemiştir. Bu durum numunenin dozimetrik özelliğe sahip olmadığını göstermektedir. Ancak genel olarak numuneye ait TL spektrumunda 102, 148, 224, 305 ^{o}C de pikler gözlenmiştir.

Kemereritin katodolüminesans (CL) spektrumu 300 K de 24 keV enerjiye sahip elektron demeti kullanılarak 250-800 nm aralığında incelenmiştir.Numuneye ait AC CL spektrumunda elektromanyetik spektrumun kırmızı bölgesinde 698 nm de maksimuma sahip pikin baskın olduğu görülmüştür. Literatür araştırmalarında gözlemlemiş olduğumuz pikin Cr^{+3}'e ait katodolüminesans spektrumlarıyla uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Numuneye ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile 150, 1000, 5000, ve 10000 büyütmeye kadar alınan görüntülerde kemereritin triklinik yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.
X-ışını kırınımı (XRD) spektrumu 2θ değerleri 2^{o} ile 70^{o} arasında olmak üzere, 0,020^{o} lik adımlarla ve süre adım başına 4 s seçilerek alınmıştır Böylece malzemenin örgü parametrelerinin belirlenmesi için gerekli veriler elde edilmiştir.

Kemereritin enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) analizinde malzemeyi oluşturan Mg, Cr, Al, Fe ve Si elementlerine ait pikler gözlenmiş ve kemererit minerali için ihtiva ettiği Cr renklenme için önemli bir safsızlık atomudur.

Yapılan bu analizler sayesinde kemereritin karakterizasyonu hakkında detaylı bilgi elde edilmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında minerallerin karakterizasyon analizlerini içeren bir envantere katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akın, A. “Dy ve Li Katkılanmış CaSo4 ile Dy Katkılanmış CaB4O7 Termolüminesans Malzemelerin Kinetik Paramatrelerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 2009.

Arıcılar, G. “Saf ve Katkılandırılmış $Bi_4Ge_3O_{12}$ Kristalinin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, 2009.

Becquerel, H. Relations entre l'absorption de la lumiere et l'emission de la phosphorescence dans les composes d'uranium. Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences de Paris 101 (1885) 1252-1256**.**

C. Kittel, “Katıhal Fiziğine Giriş”, Bilgi Tek yayıncılık, İstanbul 1996.

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

Can, N. “ Katıhal Fiziğine Giriş Ders Notları” 2008.

Chen, R. “Glow curves with general order kinetics” J. Electrochem. Soc. 116 1254-1257. 1969.

Chen, R. “On the calculation of activation energies and frequency factors from glow curves” J. Appl. Phys. 40 570-585. 1969.

Chen, R. “Kinetics of thermoluminescence glow peaks. In: Thermoluminescence and Thermoluminescence Dosimetry” Ed. Y.S. Horowitz, Boca Raton, USA:CRC Press. 1984.

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

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

Çivicioğlu Ö. “Minerallerin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, 2010.

Dalman D., P. Duran “Günümüzde minerallerdeki lüminesans çalışmaları” Lümidoz-II Manisa-Haziran 2004.

Daniels J. M., Scholes, G., And Weiss, J., Nature 171 (1953) 1153.

Durukan M. “Minerallerin Optiksel ve Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, 2008

Gürel Ö. “Lityum Florür Fosforunun Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi ve Termolüminesans Dozimetre ile Doz tayini” Yüksek Lisans Tezi, 2003.

Gökçe S. “Termolüminesans Dozimetri” Bitirme Tezi, Ankara Üniversitesi, 2008.

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

Harmanşah C. “Termolüminesans-Optik Uyarımlı Lüminesans Sisteminin Kurulması ve UV Radyasyonun Ölçümünde kullanılması” Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 2006

İflazoğlu S. “Ametist’in Termolüminesans ve Optiksel Özelliklerinin Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, 2010

Katı M.İ. “Kalsit Mineralinin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Lisans Tezi Celal Bayar Üniversitesi 2009

Kılıç N., E. Çalışkan “ICP-OES Cihazı” Bitirme Projesi, Celal Bayar Üniversitesi, 2004.

Kibar R. “Farklı Metal İyonları İle Bombalanan $SrTiO_3$ Kristalinin ve Bazı Minerallerin Nükleer ve Diğer Yöntemlerle İncelenmesi’’ Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 2007.

Luff B.J. “Cathodoluminescence of Oxides” PhD. Thesis, University of Sussex, 1989.
May C.E and Partridge, J.A. “Thermoluminescent kinetics of alpha;-irradiated alkali halides” Journal of Chemical Physics 40(5) 1401-9, 1964.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü "Mineraller" Ankara 2008

Türemiş M. " İyon Aşılanmış ZnO Kristalinin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi Celal Bayar Üniversitesi 2011

Sür A, Sür Ö, Yiğitbaşıoğlu H. “Mineraller ve Kayaçlar” Bilim Yayıncılık
Takeuchi, N., Inabe, K. and Nanto, H. “Effect of iron impurity concentration on kinetics order of thermoluminescent blue emission in MgO single crystals” Solid State Communications Vol. 17 Issue 10 1267-1269, 1975.

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

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

Wintle A. G “Luminescence Dating of Aeolian Sands: An Overview” Geological Society London, Special Publications 72 (1993) 49–58.

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

On Piezoluminescence in Irradiated Alkali Halides, A. Al-Hashimi, A.M. Eid, K.V. Ettinger and J.R. Mallard, Radiat Prot Dosimetry (1983) 6 (1-4): 203-205.

Grinberg,Marek; Barzowska, Justyna; Shen, Yongrong; Bray, Kevin L. " Inhomogeneous broadening of Cr^{3+} luminescence in doped $LiTaO_3$" APS Journals Phys. Rev. B 63, 214104 (2001)

M. Yamaga B. Henderson and K. P. O’Donnell " Line shape of the Cr^{3+} luminescence in garnet crystals" APS Journals Phys. Rev. B 46, 3273–3282 (1992)

Seiichi Ohyama , Haruo Kishida "XRD, HRTEM and XAFS studies on structural transformation by milling in a mixture of CuO and Cr2O3 as an active catalyst component for low-temperature methanol synthesis" Applied Catalysis A: General 184, 239-248 (1999)

S. Shoval, M. Gaft And G. Panczer "Lumınescence Of Cr3+ In Natural And Calcıned Dıaspore" Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry, Vol. 71, 699.706 (2003)

Url 1) http://dc390.4shared.com/doc/zw-DwNAV/preview.html

Url 2) http://www.cartage.org.lb/en/themes/sciences/physics/solidstatephysics/atomicbonding/crystalstructure/Crystalline/Crystalline.htm

Url 3) http://catalog.flatworldknowledge.com/bookhub/4309%3Fe%3Daverill_1.0-ch12_s04&docid=a9LUtVb0um5S_M&imgurl=http://images.flatworldknowledge.com/averillfwk/averillfwk-fig12_018.jpg&w=1484&h=804&ei=7fUSUN3oJMSK4gSjp4DYCg&zoom=1

Url 4) a- http://www.crystalmaker.com/crystalmaker/action/gallery.html
b- http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/dislocations/printall.php
c- http://www.nature.com/nphys/journal/v5/n4/covers/index.html
d- http://www.physicscentral.com/explore/pictures/twist.cfm

Url 5)
a) http://www.cartage.org.lb/en/themes/sciences/physics/solidstatephysics/atomicbonding/crystalstructure/Crystalline/Crystalline.htm
b) http://preview.omicron.de/index2.html?/products/spm/room_temperature/stm_1/results/direct_imaging_of_the_atomic_s_tructure_inside_a_nanowire_by_scanning_tunneling_microscopy.html~Omicron

Url 6) http://www.msxlabs.org/forum/kimya/255065-mineraller-mika.html

Url 7)
Mika http://www.msxlabs.org/forum/kimya/255065-mineraller-mika.html
Selenit http://www.hexenreich.org/Gluecksteine13.html
Halit http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/images/Rock-salt-crystals.jpg
Kalsit http://skywalker.cochise.edu/wellerr/mineral/calcite/calcite6.htm

Url 8) http://www.theimage.com/mineral/minerals1.html

Url 9)
a) http://sifayen.net/kukurt
b)http://www.exploringthepotteries.org.uk/nof_website1/natural_history_static_exhibitions/identifying_rock_minerals_and_fossils/pages/irmf_pyrite.htm

Url 10) http://www.onlinefizik.com/content/view/836/176/

Url 11) http://www.mrl.ucsb.edu/mrl/centralfacilities/microscopy/index.html

Url 12) http://www.selcukiltek.com/equipment-105-sem-taramali-elektron-mikroskobu.aspx

Url 13) http://ebookbrowse.com/sem-eds-intro2006-ppt-d32707211

Url 14) metalurji.kocaeli.edu.tr/files/lab2/Foy.pdf

Url 15) http://www2.aku.edu.tr/~hitit/DERSLER/GUZ/MALZEME%20(MADEN%20MUH)/MALZEME%20MUAYENESI%5B7%5D.pdf

Url 16) http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/mat/index.php?id=min-pet..

Url 17) http://edergi.sdu.edu.tr/index.php/sdugeo/article/viewFile/2722/2438

Url18) http://80.251.40.59/eng.ankara.edu.tr/koc/pdf_dosyalari/ders_notlari/maden_yataklari_2.pdf

ÖZGEÇMİŞ

ADI SOYADI : İlker Çetin KESKİN

DOĞUM YERİ ve YILI : Keşan–1985

ÖĞRENİM DURU

1991-1996 : Zafer İlkokulu

1996-1999 : Atatürk Ortaokulu

1999-2003 : Keşan Anadolu Lisesi

2004-2009 : Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

2009-2010 : Celal Bayar Üniversitesi Fizik Öğretmenliği Tezsiz Yüksek Lisans

2010-2012 : Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Katıhal Fiziği Anabilim Dalı