

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİNERALLERİN TERMOLÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem ÇİVİCİOĞLU

Anabilim Dalı : Fizik

Programı : Katıhal Fiziği

MANİSA 2010

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİNERALLERİN TERMOLÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem ÇİVİCİOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.07.2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 06.09.2010

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETİN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Nurdoğan CAN

Doç.Dr. M.Müslüm SAÇ

MANİSA 2010

ÖZET

**MİNERALLERİN TERMOLÜMINESANS ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

ÇİVİCİOĞLU ÖZLEM

Yüksek Lisans Tezi, Fizik Bölümü

Tez Yöneticisi: Yrd.Doç.Dr.Ahmet ÇETİN

Bu çalışmada doğal mineraller olarak bilinen Ametist ve Pembe Kuvarsın termolüminesans ve optiksel özellikleri incelenmiş ve bulunan değerler birbiriyle kıyaslanmıştır. Bu amaçla örnekler 3x3 mm boyutlarında kesilmiştir. Bu minerallerin optiksel absorpsiyon spektrumları ve termolüminesans ışıma eğrileri alınmıştır. Termolüminesans ölçümleri öncesinde, minerallerin üzerindeki mevcut radyasyonun etkisini silmek için örnekler ısıtılmıştır. Örnekler farklı dozlarda X-ışınına maruz bırakılmış ve 50-400 °C sıcaklık aralığında farklı ısıtma hızları (5,7 ve 10⁰C/s) kullanılarak TL ışıma eğrileri alınmıştır. Böylece hem ışınlama süresinin hem de ısıtma hızının TL piklerine olan etkisi incelenmiştir.

Termolüminesans ölçümleri için RA'94 Reader –Analyser sistemi kullanılmıştır. Optiksel absorpsiyon spektrumları 200-800 nm aralığında, Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sistemi kullanılarak alınmıştır.

Bilindiği kadarıyla ülkemizde tespit edilen mineraller için henüz bir termolüminesans veri bankası yoktur. Bu nedenle bu çalışmanın böyle bir veri bankasının oluşturulabilmesine bir katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

ABSTRACT**THE INVESTIGATION OF THERMOLUMINESCENCE
PROPERTIES OF MINERALS****ÇİVİCİOĞLU ÖZLEM**

MSc Thesis, Physics Department

Supervisor: Yrd.Doç.Dr.Ahmet Çetin

In this study, thermoluminescence and optical properties of amethyst and rose quartz, known as natural minerals, were examined and compared the values with each other. For this purpose, samples were cut 3x3 mm sizes. The optical absorption spectra and thermoluminescence glow curves of the minerals were measured. All samples were heated before thermoluminescence measurements for disappear the effect of existing radiation on minerals. The samples were exposed to X-ray for different doses and were taken TL glow curves with different heating rates (5, 7 and 10 °C/s) in the 50-400 °C temperature ranges. In this way, effect of the irradiation time and the heating rate on TL peaks were investigated.

The RA'94 Reader-Analyser system were used for thermoluminescence measurements. Optical absorption spectra were taken by using Perkin Elmer Lambda 950 UV / VIS / NIR Spectrophotometer in the range of 50-800 nm.

As far as it is known, there isn't any TL data bank about the minerals obtained from our country. Therefore, this study is to be formed in such a data bank is thought to be a contribution.

TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışmalar sırasında bilgi ve tecrübeleri ile her anlamda bana yardımcı olan, yol gösteren ve destek olan danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETİN'e değerli hocalarım Yrd.Doç.Dr. Rana KİBAR ve Prof.Dr. Nurdoğan CAN' a gönülden teşekkür ediyorum.

TL ölçümlerinin alınması sırasında cihazın çalıştırılması, kullanılması ve alınan ölçümlerin değerlendirilmesinde benden yardımlarını esirgemeyen Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETİN 'e, Yrd.Doç.Dr. Rana KİBAR'a , değerli meslekdaşlarım M.İsmail Katı,Bora Taştekin ve Murat Türemiş'e teşekkürü borç bilirim.

Yine bu çalışmam sırasında bana yardımcı olan ve bilime inanıp, gelişimini destekleyen herkese, lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca beni yetiştiren, üzerimde emeği olan tüm Celal Bayar Üniversitesi Fizik Bölümünde bulunan hocalarıma teşekkür ederim.

Ve ailem... Hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu aşamasında da beni hiç yalnız bırakmayan, maddi ve manevi desteklerini her an yanımda hissettiğim babama, anneme, kardeşime ve eşime sonsuz teşekkürler...

Özlem ÇİVİCİOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
TABLO LİSTESİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Temel Bilgiler	2
1.3 Neden Mineraller?	3
1.4 Termolüminesans İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar	4
2. TEMEL TEORİ	8
2.1 Lüminesans Nedir?	8
2.2 Lüminesans Çeşitleri	10
2.2.1 Yayımlanma Ömürlerine Göre Lüminesans	10
2.2.2 Uyarılma Türlerine Göre Lüminesans	11
a) Fotolüminesans (PL)	11

b) Katodoluminesans (CL)	12
c) Elektrolüminesans (EL)	12
d) Radyoluminesans (RL)	12

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa No</u>
e) Termoluminesans (TL) veya termal olarak uyartılmış lüminesans (TSL)	13
f)Optiksel olarak uyartılmış lüminesans (OSL)	13
g)İyonloluminesans veya iyon demeti lüminesansı	13
h)Triboluminesans	13
i)Biyoluminesans	14
3. TERMOLÜMINESANS (TL) TEORİSİ	15
3.1 Termoluminesans (TL)	15
3.2 Tuzak ve Yeniden Birleşme Merkezleri	20
3.3 Doğrudan ve Dolaylı Yeniden Birleşme	22
4. KRİSTALLER	26
4.1 Kristal Yapılar	26
4.2 Kristal Kusurları	29
a)Noktasal kusurlar	29
b)Çizgisel (doğrusal-bir boyutlu) kusurlar	31
c)Yüzeyssel(iki boyutlu-düzlemsel) kusurlar	31
5. MİNERALLER	32
5.1. Mineral nedir?	33
5.2. Minerallerin Oluşumu	35
5.2.1. Başkalaşım	36
5.2.2. Diagenesis (Yeniden Oluşum)	37

5.2.3.	Aşınma	37
5.2.4.	Kimyasal Çökelme	38
5.3.	Kimyasal Formüller	38
5.4.	Mineral Çeşitleri	39
5.5.	Minerallerin Fiziksel Özellikleri	39
	a)Skaler Özellikler	39
	b)Vektörel Özellikler	39

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa No</u>
5.5.1.	Esneklik 40
5.5.2.	Sertlik 41
5.5.3.	Dilinim, Yarıлма Ve Kırılma 43
	a)Dilinim 44
	b) Kırılma 45
	c)Yarıлма 45
5.5.4.	Özgöl Ağırlık 46
5.5.5.	Renk 47
	a)Renksiz Mineraller 51
	b)Renkli Mineraller 51
	c)Renklenen Mineraller 52
5.5.6.	Renk Oyunu 53
5.5.7.	Cila 54
5.5.8.	Saydırlık 55
5.5.9.	Işık Yayma Özellikleri 55
	a)Lüminesans 55
	b)Floresans Ve Fosforesans 56
	c)Termolüminesans 56
	d)Tribolüminesans 57
6.	KUVARS 58

6.1.	Kuvarstaki Kusurlar	61
	a)E merkezi	61
	b)Yabancı atomların varlığı	61
6.2.	Başlıca Kuvars Türleri	62
6.3.	Pembe Kuvars	63
7.	AMETİST	64
7.1.	Etimolojisi	64
7.2.	Özellikleri	64

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa No</u>
7.3.	Ametist Taşının Metafiziksel ve Psikolojik Etkisi
7.4.	Kültürel ve Tarihi Önemi
7.5.	Ametist Kristallerinin Değerlendirilmesi Ve Yöresel Ekonomiye Katkısı
7.6.	Ametist İçeren Saha Ve Bölgenin Jeolojik Oluşumu Ve Yapısı
7.7.	Ametist Kristalinin Gemolojik İşlenti Aşamaları
7.8.	Ametist Kristalinin Gemolojik İşlenti Mekanları
7.9.	Ametist Kristalinin Bölge Ekonomisine Faydaları Ve Sosyal Getirileri
7.10.	Doğal Ametistin Kirlilik İçeriği Ve Renklenmesi
7.10.1	Doğal Ametistin Renklenmesi
7.10.2.	Doğal Ametistin Kirliliği
8.	DENEYSEL SİSTEMLER
8.1.	Tld Reader-Analyser

8.1.2.	Tld Reader-Analyser Sisteminin Çalışma Prensipli	77
8.1.3.	Temel Özellikleri	78
8.2.	X-Işını Tüpü	79
8.3.	Optiksel Soğurma Sistemi	81
9.	SONUÇLAR VE YORUM	85
10.	KAYNAKLAR ÖZGEÇMİŞ	96

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa No</u>
2.1	Lüminesans işleminin şematik gösterimi.....	8
2.2	Farklı yollarla oluşan lüminesans	9
2.3	Farklı bant boşluğuna sahip malzemelerde lüminesans	10
2.4	Fluoresans ve fosforesans.....	11
3.1.	Termolüminesans mekanizması.....	17
3.2.	Termolüminesans ışıma eğrisi.....	18
3.3.	Yarıiletken ve yalıtkanlarda elektronlar ve deşikler için bazı olası geçişler.....	20
3.4.	Yarıiletken ve yalıtkanlarda elektron ve deşik tuzaklama düzeyleri içeren enerji bant diyagramı.....	22
3.5.	(a) Doğrudan bant aralık geçişi, (b) dolaylı bant aralıklı geçişler.....	23

3.6.	Termolüminesans için basit iki-düzey modeli....	24
4.1.	(a) Düzenli, (b) düzensiz atomlara sahip bir kristal yapısı.....	26
4.2.	Bir birim hücrenin şematik olarak gösterilmesi	27
4.3.	Kristal sistemlerinin gösterimi.....	27
4.4.	Bazı noktasal kusurlara örnekler.....	30
4.5.	(a) Schottky kusuru, (b) Frenkel kusuru.....	30
4.6.	(a) ve (b) kenar kusurları, (c) ve (d) vida kusurları.....	31
4.7.	(a) Tane sınırı kusurları (b) ikizleme sınırı kusurları.....	31
5.1.	Mika.....	40
5.2.	Mohs göreceli sertlik değerleri ile mutlak sertlik değerlerinin karşılaştırılması.....	42

ŞEKİL LİSTESİ (devam)

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa No</u>
5.3.	Dilinim türleri.....	44
5.4.	(a) Bazal yarıлма (piroksen). (b) Romboedral yarıлма (korund)	46
5.5.	Renklerin üç farklı birimle gösterildiği spektrum.....	47
5.6.	Işığın yoğun bir madde ile etkileşmesi sonucunda meydana gelen yansıma, kırılma, yayılma ve emilme (absorbsiyon)	48
5.7.	Florit (CaF_2) yapısının şematik görünüşü.....	50
5.8.	Kuvars yapısının şematik görünüşü.....	51
5.9.	Farklı Mineral renkleri	52
5.10.	Has opalde düzenli bir dizilim ve yakın	

	paketlenme gösteren opal küreciklerinden meydana gelen düzlemlerde ışığın difraksiyonuyla spektral renklerin meydana gelmesi.....	53
5.11.	Has opal.....	53
5.12.	Metalik ve metalik olmayan mineraller	54
6.1.	Şeffaf kuvars kristali.....	58
6.2.	Dumanlı Kuvars.....	58
6.3.	Kuvarsın Türkiye’deki Dağılımı.....	62
6.4.	Pembe Kuvars veya Gül Kuvars.....	63
7.1.	Ametist kristalinin farklı konumlarda görüntüleri.....	64
8.1.	RA’94 TLD Reader-Analyser Sistemi.....	76
8.2.	X-ışını tübü.....	80
8.3.	X-ışını kontrol ünitesi	81

ŞEKİL LİSTESİ (devam)

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa No</u>
8.4.	Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuarında bulunan Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sistemi.....	81
8.5.	Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sisteminin iç yapısının şematik gösterimi.....	83
8.6.	İki farklı tür örnek odasını da içeren Lambda 950 Spektrofotometresi.....	84

9.1.	Ametist ile oda sıcaklığında alınan optiksel soğurma spektrumu.....	85
9.2.	Pembe Kuvars ile oda sıcaklığında alınan optiksel soğurma spektrumu.....	86
9.3.	X-ışını ile ışınlanmış doğal ametist mineralinin termolüminesans spektrumu.....	87
9.4.	10 dk süreyle X-ışınına maruz bırakılmış doğal ametist mineralinin farklı ısıtma hızları altında alınan TL spektrumu.....	88
9.5.	20 dk süreyle X-ışınına maruz bırakılmış doğal ametist mineralinin farklı ısıtma hızları altında alınan TL spektrumu.....	88
9.6.	Farklı sürelerde X-ışına maruz bırakılmış doğal ametist mineralinin ısıtma hızı 5 °C/s seçilerek alınan termolüminesans spektrumu.....	89
9.7.	Farklı sürelerde X-ışına maruz bırakılmış doğal ametist mineralinin ısıtma hızı 7 °C/s seçilerek alınan termolüminesans spektrumu.....	90
9.8.	Farklı sürelerde X-ışına maruz bırakılmış doğal ametist mineralinin ısıtma hızı 10 °C/s seçilerek alınan termolüminesans spektrumu.....	90

ŞEKİL LİSTESİ (devam)

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa No</u>
9.9.	10 dakika boyunca X-ışını ile ışınlanmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 5 °C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu.....	91
9.10.	20 dakika boyunca X-ışını ile ışınlanmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 5 °C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu....	92

9.11.	10 dakika boyunca X-ışını ile ısıtılmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 7 °C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu....	93
9.12.	20 dakika boyunca X-ışını ile ısıtılmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 7°C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu....	93
9.13.	10 dakika boyunca X-ışını ile ısıtılmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 10°C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu....	94
9.14.	20 dakika boyunca X-ışını ile ısıtılmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 10°C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu.	94
9.15.	10 dakika X-ışına maruz bırakılmış doğal pembe kuvars mineralinin farklı ısıtma hızlarında alınan termolüminesans spektrumu.	95
9.16.	20 dakika X-ışına maruz bırakılmış doğal pembe kuvars mineralinin farklı ısıtma hızlarında alınan termolüminesans spektrumu.	95

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>		<u>Sayfa No</u>
4.1.	Yedi kristal sistemi ve bravais örgüleri.....	28
5.1.	Rombusal karbonatlarda, katyonların atom	46

ağırlığı ile birlikte özgül ağırlıkların artışı.....

6.1.	Kuvarsın Özellikleri	59
8.1.	Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sisteminin teknik özellikleri...	82
9.1.	Kimyasal analizler ve XRF, Atomik Absorpsiyon analizleri sonucu elde edilen veriler.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
τ_c	Yayınlanma ömrü
τ	Termodinamik açıdan T sıcaklığında geçen ortalama zaman
p	Tuzaktan kaçma olasılığı
k	Boltzman sabiti
T	Mutlak sıcaklık
s	Frekans faktörü
n	Materyaldeki tuzaklanmış elektron sayısı
n_0	t_0 anında tuzaklanmış elektron sayısı
n_r	Tuzaklanmış yüklerin yoğunluğu
p_r	Tuzaklanmış yüklerin yoğunluğu
A_r^n	Elektronlar için yeniden birleşme katsayısı
A_r^p	Deşikler için yeniden birleşme katsayısı
E	e ile tuzak derinliği arasındaki enerji farkı (aktivasyon enerjisi)
D_c	Elektronlar için dekolaze bant
D_h	Deşikler için delokalize bant
n_h	Tuzaklanmış deşiklerin konsantrasyonu
I_t	Termoluminesans şiddeti

1.GİRİŞ

1.1.Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Ametist ve Pembe Kuvars minerallerinin termolüminesans ve optiksel özelliklerinin incelenmesidir.

Parıldama anlamına gelen lüminesans, herhangi bir radyasyon ile uyarılan malzemeden ışık yayınlanmasıdır. Elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinden yakın kızılötesine kadar olan bölgedeki (200-800 nm) optiksel soğurmasını incelemek amacıyla ametist ve pembe kuvars minerallerinin soğurma spektrumları alınmıştır. Bir malzemede meydana gelen kusurların incelenmesi gerek teknolojik gerekse de bilimsel açıdan son derece önemli olmaktadır [1,5]. Mineraller gibi zengin yapılar çeşitli lüminesansa sebep olan yeni optiksel soğurma bantlarına sahiptir. Dolayısıyla mineraller ile elde edilecek termolüminesans ve soğurma spektrumlarının incelenmesi kusur yapıları hakkında da önemli bilgilerin edinilmesini sağlayacaktır ve böylece gerek teknoloji gerekse bilime önemli katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmada doğal mineraller olarak bilinen ametist ve pembe kuvarsın termolüminesans ve optiksel özellikleri incelenmiş ve bulunan değerler birbiriyle kıyaslanmıştır.

X-ışını, γ -ışını gibi radyasyona maruz kalan minerallerde örgü hataları oluşmaktadır. Yapıda meydana gelen bu değişiklikler SEM ile belirlenebilir. Noktasal hata kombinasyonları hata merkezleri oluşturdukları için minerallerin farklı renkte görünmesine sebep olmaktadır. Bu yöntem kullanılarak mineraller renklendirilmekte ve değerli taşlar olarak kullanılabilir. Bu yöntem kullanılarak mineraller renklendirilmekte ve değerli taşlar olarak kullanılabilir.

Mineraller optiksel yöntemlerle arkeolojik ve jeolojik malzemelerin tarihlenmesinde dozimetri olarak geniş ölçüde kullanılırlar. Optiksel özelliklerin emisyon dalga boyuna ilişkin temel bilgileri, doz cevabı ve farklı optiksel sinyallerin kararlılığı gibi temel problemler hala tam olarak başarılı bir şekilde çözülmemiştir. Bu çalışmada bu ve buna benzer problemlere bir çözüm bulunması hedeflenmektedir.

1.2.Temel Bilgiler

Termolüminesans olayı, katıların band teorisi ile açıklanmaktadır. Katı yapılar içinde bulunan atomlar veya moleküller, kısa mesafede periyodik olarak yerleştiklerinde kristalleri oluştururlar. Kristallerde atomların izinli ve izinsiz(yasak) enerji bandları bulunur. Bunlardan valans (değerlik) elektronlarının yer aldığı enerji bandına valans bandı denir. Kristal yapılı katı maddelerde valans bandında bulunan elektronların, radyasyon etkisiyle uyarılıp iletkenlik bandına geçişleri sırasında, yasak band aralığında tuzak ve potansiyel çukurlarına yakalanırlar. Isısal enerji aldıklarında, tuzaklarda yalıtılmış olarak bulunan elektronlar yeniden iletkenlik bandına çıkabilir ve bir ışık salarak valans bandına dönebilirler. Bu ışık yayılması olayına genel olarak ‘‘Lüminesans’’denir. Mineral yapısında çeşitli nedenlerle tuzaklanmış elektronların ısıyla uyarılarak çıkarılması Termolüminesans (TL) yönteminin temelini oluşturur[2].

Termolüminesans (TL) yöntemi madde içinde depolanan "Uranyum" (U), "Toryum"(Th) ve "Potasyum" (K) gibi uzun ömürlü radyoaktif izotopların bozunması sonucunda ortaya çıkan alfa (α), beta (β) parçacıkları ile gama (γ) ışınları tarafından taşınan enerjinin madde içerisinde birikmesi olayına dayanmaktadır.

Mineralleri oluşturan kristaller, çevrelerinden kaynaklanan ısınımın etkisiyle, bünyelerinde bir miktar enerji depolarlar. Bu enerji depolanması, serbest elektronların, kristal yapı içerisinde bazı nedenlerden dolayı oluşan ve "tuzak" olarak adlandırılan kusurlarda yakalanmasıyla meydana gelir. Bu enerji, kristal yapı içerisinde zaman ilerledikçe birikir.

Termolüminesans (TL), genellikle çalışılan örneğin belli bir sıcaklığa kadar sabit bir hızla ısıtılmasıyla kristal içerisinde bulunan elektron tuzaklarının boşaltılması yoluyla maddede biriken enerjinin serbest bırakılması temeline dayanır. Tuzaklanmış bir elektron kristaldeki ısısal titreşimlerle çıkarılabilir. Sıcaklık miktarı arttıkça daha derin tuzaklardaki elektronların çıkarılma olasılığı artmaktadır.

Elektron tuzaklarının boşaltılması sırasında yayılan lüminesans sinyali sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Karakteristik TL sinyali ‘ışınma eğrisi’ (glow curve) olarak adlandırılır.

Bir TL ışıma eğrisi düzgün; tepesiz devam edebilir. Bunun anlamı, ışıma eğrisinin farklı düzeylerdeki tuzaklardan açığa çıkan elektronların oluşturduğu birbirini örten tepeler içermesidir. Elektronların derin tuzaklardaki ömrü, sığ tuzaklardakinden fazladır. Normalde 200°C'den daha düşük sıcaklıklarda ışıma eğrisi veren tuzaklardaki elektronlar, çevre sıcaklık koşullarında uzun süre kalmaları durumunda bu tuzaklardan çıkabileceklerinden, dozimetrik amaç için uygun değildir (Aitken, 1985). Dozimetrik ölçüm için 300 °C ya da daha yüksek sıcaklıklarda oluşan kararlı ısı eğrileri uygundur (Wintle, 1993) [3].

Günümüzde termolüminesans yöntemi dozimetrik materyallerin incelenmesi, tuzak parametrelerinin belirlenmesi gibi çalışmalarla birlikte tıp alanında teşhis ve tedavide de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Termolüminesans işleminin arkeoloji, jeoloji, katıhal fiziği, biyoloji, organik kimyada çeşitli kullanım alanları vardır. Termolüminesans işlemi ile geçmişte en az 500 °C sıcaklıkta pişirilmiş olan arkeolojik buluntular tarihlendirilebilmektedir.

Termolüminesans tarihlendirme yöntemi birçok örnek tipine uygulanabilir: çanak, çömlek, tuğla, yanmış taşlar, yanmış çakmak taşları ve sarkıt-dikit kalsitleri bunlardan bazılarıdır. Bunların dışında, rüzgarla biriken ve bazı durumlarda su ile biriken yanmamış sedimentler de tarihlendirilebilir.

Termolüminesans ile yapılan çalışmalarla ilk insanın tarihlendirilmesine ve bir ölçüde anatomik olarak modern insanla (Homo sapiens) “Neanderthal man” arasındaki bağıntıyı belirlemede önemli katkılarda bulunulmuştur.

Lüminesans tarihlendirme yöntemi her ne kadar son kırk yıldır geliştirilmiş ise de lüminesansın çalışılması 300 yıldır devam etmektedir [2].

1.3.Neden Mineraller?

Çalışmada kullanılan minerallerden olan kuvars hem doğada kolay bulunabilmesi hem de yapısının uzun zaman yük tuzaklama ve depolamaya uygun olması bakımından çevresel dozimetrede kullanılabilecek mükemmel bir mineraldir. Tarihlleme çalışmalarının yanı sıra radyasyon kazalarında alınan doz miktarının belirlenmesinde bir radyasyon dozimetresi olarak da kullanılır [4,5]. Ayrıca radyasyona maruz kalmış

gıdaların aldığı doz miktarının belirlenmesinde de yiyeceklerin üzerinde bulunan eser miktardaki minerallerin (kuvars, feldspar vb.) tespitinde lüminesans tekniklerinden yararlanılır [5- 8]. Alınan dozu belirleme metotları arasında termolüminesans (TL), optik uyarımlı lüminesans (OSL), elektron paramanyetik rezonans (EPR) ve radyolüminesans (RL) teknikleri de vardır. Ayrıca kuvarsın verdiği spektrumun çok belirgin olması, düşük kayıp vermesi, doza karşı cevabının doğrusal değişmesi ve yeniden üretilebilmesi bakımından bir dozimetrede olması gereken özelliklere sahiptir [5,9]. Kuvarsın birim doz başına lüminesans verimi, yüksek sıcaklıklardaki tavlama ile arttırılabilir [5,10].

Aynı kristal yapısına sahip minerallerde bile ayrıntılı dozimetrik özellikleri kristal örgüsündeki noktasal hatalara bağlıdır. Bununla birlikte hata türünün yapısı ve sayısı örnekten örneğe değişmektedir. Farklı lüminesans spektrumları incelendiğinde, mineralden yayınlanan bu ışığın rengi; mineralin kaynağı, büyüme metodu ve uğradığı ısısal değişimler hakkında bilgi vermektedir [5,11]. Doğada mineraller genellikle saf halde bulunmazlar. Örgüde bulunan safsızlık konsantrasyonları, lüminesans spektrumlarının tipik özelliklerinden (pikin şiddeti ve yeri gibi) bazılarının değişmesine sebep olur [5,12]. Elektronlar veya X-ışını, γ -ışını gibi radyasyona maruz kalan minerallerde örgü hataları oluşmaktadır. Yapıda meydana gelen bu değişiklikler lüminesans spektrumları sayesinde belirlenebilir. Noktasal hata kombinasyonları hata merkezleri oluşturdukları için minerallerin farklı renkte görünmesine sebep olmaktadır. Bu yöntem kullanılarak mineraller renklendirilmekte ve değerli taşlar olarak kullanılabilir [5,13].

Hem doğal hem de çeşitli iyonlarla aşılınmış yapay minerallerin lüminesans ve optiksel ölçümleri bilimsel olarak kullanılmasının yanı sıra endüstriyel ve ticari anlamda da büyük bir önem taşımaktadır[5].

1.4.Termolüminesans İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Cumhur Arıkan, Limyra-Finike seramiklerinin termolüminesans ve optiksel uyarılmayla lüminesans yöntemleriyle tarihlendirilmiştir. Yaşları günümüzden önce 2016 ile 2286 yıl olarak bulmuştur (C. Arıkan, 2000).

Zeynep Atay, Karatepe seramiklerinin termolüminesans ve optiksel uyarılmayla lüminesans yöntemiyle tarihlendirmiştir. Tarihlendirmede kuvars katkı taneciği tekniğini kullanarak yaşları; 2475, 3761, 2955, ve 2120 olarak hesaplamıştır (Z. Atay, 2000).

Hütt ve arkadaşları, kuvars'ın 210°C' deki termolüminesans tepe noktasını kullanarak Somero (Finlandiya) bölgesinde bulunan kiliseden aldıkları tuğla örneklerini tarihlendirmişlerdir. Yaş hesaplamasında kullanmak için iki tip termolüminesans dozimetre dedektöründen ($Al_2O_3:C$) faydalanarak tuğladaki ve bölgedeki yıllık gama doz oranını ve beta doz oranını ölçmüşlerdir. Dört örnek üzerinde yaptıkları çalışmalarda yaşı: 1. örnek için 586 ± 44 , 2. örnek için 430 ± 25 , 3. örnek için 450 ± 45 ve 4. örnek için 640 ± 40 yıl olarak hesaplamışlardır (Hütt ve arkadaşları, 2001).

Yim, Hong Kong uluslararası havaalanından yer kabuğu araştırmaları için açılan 39.52 metre derinlikteki kuyu içerisinden aldığı deniz ve karasal sedimentlerin termolüminesans yaşlarını ve nem içerik dağılımını hesaplamıştır. Aldığı örnekler için termolüminesans tarihlendirmesinde kuvars katkı taneciği tekniğini kullanmıştır. Örneklerden ayırdığı kuvarslardan 5 mg ağırlığında tartarak ölçümlerini yapmıştır ve yaşı 53 ka ile 247 ka arasında bulmuştur (Yim, 2002) [14].

Kırıkkaya (2002), “Kocaeli (Kullar-yaylacık) Fayından Alınan Kuvars Örneklerinin Optik Uyarılmalı Lüminesans (OSL), Termolüminesans (TL) Yöntemleri ile İncelenmesi ve Tarihlendirilmesi” başlıklı doktora tezinde, Kocaeli depreminin oluşturduğu yüzey fayının Kullar-yaylacık bölgesinde açılan bir hendekten alınan sediman örneklerinde, Optik Uyarılmalı Lüminesans (OSL), Termolüminesans (TL) Yöntemleri ile karşılaştırılmalı olarak yaş tayinleri yapılmıştır.

Duran (2002), “Orta Anadolu Floritlerinin Termolüminesans Özellikleri ”adlı yüksek lisans tezinde, Orta Anadolu Pöhrenk, Akçakent, Bayındır, Alişar, Durmuşlu, Eşrefli ve İsa hocalı doğal floritlerinin (CaF_2) granitik masiflerinde görülen damar tipli florit yataklarından alınan örneklerin termolüminesans özelliklerini incelemiştir [2].

Haustein, Orta Avrupa ve Akdeniz bölgesinden aldığı yedi arkeometalurjik mucur üzerine termolüminesans tarihlendirme yöntemini uygulamıştır. Elde ettiği termolüminesans yaşlarının referans verileri ile uygunluk içerisinde olduğunu

göstermiştir. Tarihlendirmede kuvars katkı taneciği tekniğini kullanarak yaşları 540 ± 90 ile 2749 ± 240 yıl olarak bulmuştur. (Haustein, 2003) [14].

Ogundare ve ark., (2003), Nijerya'nın bir bölgesine ait doğal bir florit örneğinin, iki yüksek sıcaklıktaki ışıma tepelerinin kinetik parametrelerini Chen'nin tepe şekli (Peak Shape, PS) başlangıçtaki artış (Initial Rise, IR) yöntemleri kullanılmıştır [2].

Mustafa Topaksu, Kubad Abad'a ait Selçuklu seramik ve çinilerine termolüminesans tarihlendirme yöntemini uygulamıştır. Tarihlendirmede kuvars katkı taneciği tekniğini kullanarak yaşları 2417 ± 169 , 619 ± 43 , 1329 ± 93 , 1133 ± 79 , 670 ± 46 , 2370 ± 165 yıl olarak bulmuştur (M. Topaksu, 2004) [14].

Kafadar (2004), “Sentetik Kuvars Kristalinin Dozimetrik ve Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi ” adlı yüksek lisans tezinde $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ (TLD-900) ve sentetik kuvars kristalinin dozimetrik ve termolüminesans özelliklerini incelemiştir.

Ogundare ve ark., (2005), “Isıtma Hızının Floritin Termolüminesans (TL)Üzerindeki Etkileri” başlıklı bildirilerinde, farklı ısıtma hızlarının, bir Nijerya florit örneğinin, iki yüksek sıcaklık ışıma tepesinin TL ışıma tepesi sıcaklığına,yüksekliğine ve integre edilmiş TL yoğunluklarına etkisini incelemişlerdir. Elde edilen verilerden, ışıma tepesi sıcaklıklarının ısıtma hızıyla yükseldiğini göstermişlerdir.

Topaksu ve ark., (2005), “Kubad Abad'a (Konya) ait Selçuklu Seramik ve Çinilerinin Termolüminesans (TL) Tarihlendirilmesi, Yapısının Belirlenmesi ve Teknolojinin Açıklanması” adlı çalışmada; Beyşehir (Konya) gölünün güneybatı kıyısında yer alan Selçuklu sarayı olan Kubad Abad'tan toplanan eski çini seramiklere termolüminesans (TL) tarihlendirilme metodunu kullanmışlardır.

Alçiçek ve ark., (2006), 59.'uncu Türkiye Jeoloji Kurultayı'nda bildirdiklerine göre; güneybatı Türkiye'de, Denizli travertenleri içinde bulunan ilk insan fosili ve yataklık eden travertenler termolüminesans (TL) metodu ile tarihlendirilmiştir.

Topaksu ve Yazıcı (2007), “Doğal CaF_2 'nin Dozimetrik Termolüminesans Işıma Tepelerinin Analizi” adlı bildirilerinde, Orta Anadolu Masifi'nden alınan doğal CaF_2 'nin TL özelliklerini çalışmışlardır. Bu çalışmada, doğal CaF_2 'nin oda sıcaklığında (RT, Room Temperature) beta ışınlamasından sonra TL özellikleri incelenmiştir [2].

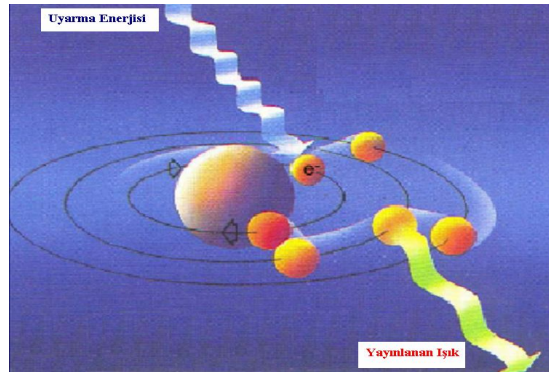
Günümüzde termolüminesans (TL) yöntemi, dozimetrik materyallerin incelenmesi, tuzak parametrelerinin belirlenmesi gibi çalışmalarla birlikte tıp alanında teşhis ve tedavide de yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiziksel bir teknik olarak TL olayının dozimetrik amaçlarla radyasyon işlemlerinde uygulama alanları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

- a) Tıpta, kanserli dokuya verilen soğurulma dozunun doğruluk derecesinin tayininde,
- b) Yıllık çevresel doğal radyasyonun saptanmasında,
- c) Yarıiletken malzeme araştırmalarında,
- d) Arkeolojik ve jeolojik örneklerin yaş tayininde kullanılmaktadır [15,16].

2.TEMEL TEORİ

2.1.Lüminesans Nedir?

Bir malzeme herhangi bir şekilde radyasyona maruz kaldığında gelen enerjinin bir kısmı soğurulur ve daha uzun dalga boylu bir ışık olarak geri yayılır (Stokes Kanunu). Bu işlem lüminesans olarak isimlendirilir[5]. Bu olayın ana prensibi şudur: Gelen radyasyon malzeme içerisindeki atomların valans 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 (yani eski yörüngesine 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 [17].



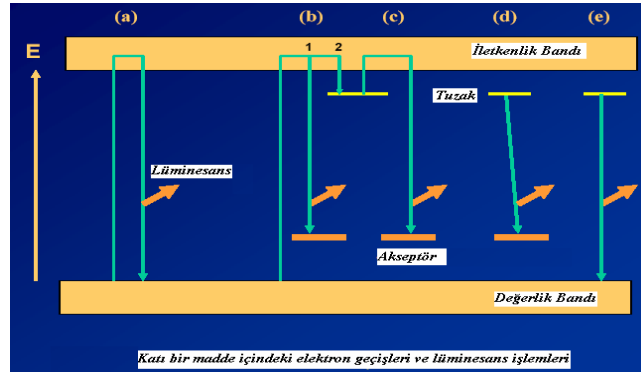
Şekil 2.1. Lüminesans işleminin şematik gösterimi [5].

Radyasyon ile ışınlama boyunca kristal örgüye aktarılan enerji kristaldeki elektronları uyaracak ve lüminesans merkezlerinde tuzaklanmasına sebep olacaktır. Bazı malzemelerde bulunabilecek olası lüminesans merkezleri:

- 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, ...

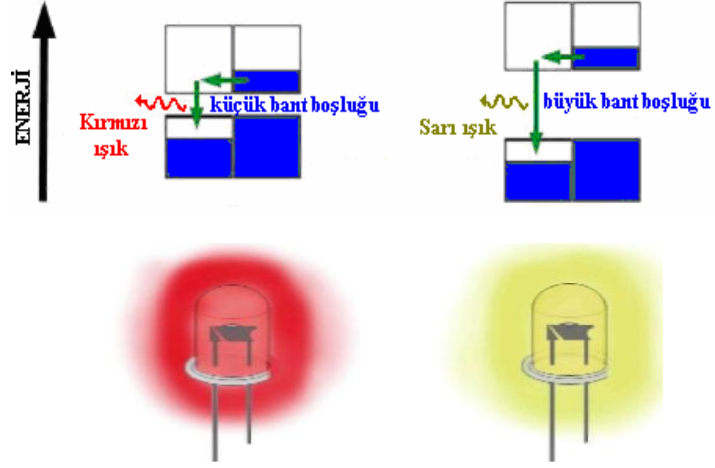
Lüminesans merkezinin türüne ve bulunduğu konuma göre şekil 2.2.deki gibi, farklı yollarla lüminesans oluşabilir.



Şekil 2.2. Farklı yollarla oluşan lüminesans [5].

- Uyarma enerjisinin soğurulması sonucunda elektronun önce iletkenlik sonra da değerlik bandına geçerken oluşan lüminesans
- Uyarılma enerjisinin 1 ve 2 durumlarından yeniden birleşme merkezleri (akseptör) seviyelerine geçişinde ışın yayınlanması
- Tuzak seviyelerinden iletkenlik bandına ve yine oradan yeniden birleşme merkezlerine (akseptörlere) geçişte ışın yayınlanması
- Tuzaklardan akseptörlere geçişte ışın yayınlanması
- Tuzaklardan direkt değerlik bandına geçiş ile oluşan lüminesans [5].

Malzemelerin sahip olduğu bant boşluğuna göre yayınlanan ışığın dalga boyu farklılık gösterecektir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Farklı bant boşluğuna sahip malzemelerde lüminesans [5,18]

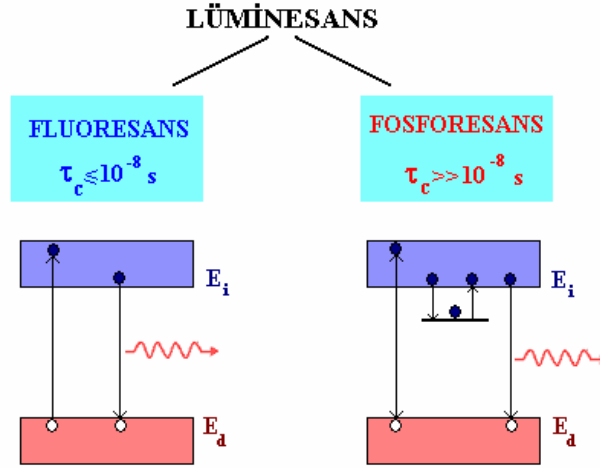
Lüminesans olayı çok geniş nitelikte bir terimdir. Lüminesans sonrasında “Parıldama Eğrisi” ile söz konusu malzemenin aktivasyon enerjisi (Atomdaki bir elektronu koparmak için gerekli olan enerjidir.) tuzak derinliği gibi bazı karakteristik özelliklerini tayin etmek mümkündür. Lüminesans işlemi özellikle malzeme içerisindeki elementlerin enerji seviyeleri hakkında bilgi vermektir. Bu bilgi sayesinde örneklerin kristal yapısı hakkında da bilgi edinilmektedir. Lüminesans atomların uyarıldığı metotlara ve uyarılan seviyelerin ömür sürelerine göre gruplandırılabilir [1,5,17].

2.2. Lüminesans Çeşitleri

2.2.1. Yayınlanma Ömürlerine Göre Lüminesans

Lüminesans süresi elektronların bir seviyeden başka bir seviyeye geçiş süresi ile belirlenir. Yayınlanma ömrü olarak bilinen bu zaman τ_c ile gösterilir ve malzemeye özgüdür. Foton emisyonu uyarılmış bir seviyeden taban duruma olan direkt bir geçişten kaynaklandığında meydana gelen ve 10^{-8} s veya daha kısa süren lüminesans **fluoresans** olarak isimlendirilir. Uyarma durdurulduktan sonra devam eden lüminesans ise

fosforesans adını alır. Bu tür özellik gösteren malzemelere verilen genel isim “fosforlar”dır. Fosforların lüminesansı yaklaşık 10^{-7} s den başlayıp dakikalar hatta saatlerce sürebilir. Dolayısıyla yayımlanma ömrüne göre, şekil 2.4 te gösterildiği gibi, lüminesans ikiye ayrılabilir [5].



Şekil 2.4. Floresans ve fosforesans[5].

$\tau_c < 10^{-8}$ s ise “floresans” ve $\tau_c > 10^{-8}$ s ise “fosforesans” olur. Bundan dolayı floresans, gerçekte uyarılmayla kendiliğinden meydana gelir. Floresans, yayıcı maddenin sıcaklığından bağımsız iken fosforesans güçlü bir şekilde sıcaklığa bağlıdır [1].

2.2.2.Uyarılma Türlerine Göre Lüminesans

a)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 uyarılma 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 tan elde edilen sinyallerin bir alt kümesi olan spektrumu oluşturur [5,17].

b) 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 [1].

c) 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. [5,19].

d) 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 [1].

Radyolüminesans olayında, diğer tekniklerden farklı olarak malzeme, X-ışınlarına maruz bırakılır ve deney boyunca malzemeye gelen radyasyon kesintiye uğramaz. X-ışınları malzemenin tüm yüzeyine nüfus ettiği için bu yöntem bize malzemenin hacimsel kısımları hakkında bilgi verir[17].

Malzemenin X-ışınları ile ışınlanması ile meydana gelen radyolüminesans, aynı zamanda Sr^{90} gibi bir radyoaktif kaynaktan yayınlanan betalar kullanılarak ta elde edilebilir[5].

Radyolüminesansa gelen X-ışını demeti tüm örneği ışınladığı için örneğin tamamı hakkında bir bilgi sağlar. Radyolüminesansa ışına yapan elektronlar sayesinde

kristalin yapısı, bant aralığı, hangi dalga boylarında ışık yayınladığı gibi o kristale özgü bilgiler edinilebilir. Bu sayede kristal hakkındaki bilgiler şekillendirilir [1, 5,20].

e) Termolüminesans (TL) veya termal olarak uyarılmış lüminesans (TSL):

Herhangi bir şekilde ışınlanmış malzemenin ısıtılarak ışık yayınlaması olayıdır [1].

Bu yöntemle malzeme bir X-ışını veya β kaynağı ile uyarılır. Uyarıma sonucunda malzeme içindeki safsızlık atomlarından kaynaklanan tuzaklara elektronlar dolar. Bu yöntemde uyarıma sonrasında malzemeye ısı etki yapılarak ışıma yapması sağlanır [17].

f)Optiksel olarak uyarılmış lüminesans (OSL): Radyasyona maruz kalmış malzemenin UV veya IR ile uyarılmasıyla elde edilen ışık yayınlamasıdır. Malzeme, görünür veya kızıl ötesi (IR) ışığa maruz kaldığında, ışınlama sonucu oluşan tuzaklanmış elektronlar serbest kalırlar [1].

g) İyonlüminesans veya iyon demeti lüminesansı: Malzemenin belli enerjiye sahip iyon demeti ile bombardımanı sonucu oluşur. Bu olayda genellikle 3 MeV'a kadar olan protonlar kullanılır. Derinlik olarak yaklaşık 40 mikrona kadar gidilebilir. Malzemedeki safsızlıkların belirlenmesi için oldukça yararlıdır [1].

h)Tribolüminesans: Bazı malzemelerin basınç ve çok sert bir maddeyle çizilmesi gibi etkilere maruz kalması sonucu açığa çıkan bir ışımadır [1,20,21].

Materyallerin öğütülmesi sırasında, harcanan mekanik enerji uyarım için gerekli enerji sağlar ve karanlık bir ortamda gözlenebilir parıldama oluşur. Bu süreçte elde edilen lüminesans "Tribolüminesans" olarak adlandırılır [22].

Tribo kelimesi Yunanca bir kelimedir ve sürtmek, ovalamak anlamındadır. Kırılarak, esnetilerek veya kopararak ayrılan yüzeylerde, ayrılan yüzeyler arasında ince hava tabakası içinde iki yüzey üzerinde zıt yüklerin üretilmesi nedeniyle bir elektrik boşalması oluşur. Malzemenin parçalanması yöntemi içinde, harcanan mekanik enerji uyarılma enerjisini sağlar ve karanlık içinde gözlenebilen bir kızarıklığa neden olabilir.

Bu işlem “tribölüminesans” olarak bilinir. Bazı yapışkan bantların, karanlık içinde atmosfer azotunun içinde elektrik boşalması nedeniyle mavi bir ışık yayması buna bir örnektir [5,17].

i) Biyölüminesans: Yaşayan veya ölü doğal organik maddelerin lüminesansı kimyasal lüminesans kategorisine girmektedir. Bu süreçte, maddenin havadaki oksijen veya su ile kimyasal reaksiyonu uyartım enerjisi sağlayacaktır. Kimyasal lüminesansın, yaşayan organizmada oluşumuna “Biyölüminesans” adı verilmektedir [22].

3.TERMOLÜMINESANS (TL) TEORİSİ

3.1.Termolüminesans (TL)

Bant modeline göre, radyasyonun soğurulması, elektron-deşik çift oluşumu anlamına gelmektedir. Enerji depolanması özelliği safsızlıklar veya boşluklar gibi kristal kusurlarının varlığından kaynaklanmaktadır. Bu kusurlar; ışınlama sürecinde oluşurlar ve elektronlarla deşikleri yakalayabilir.

Kristali tanımlamak için birim hücre içinde moleküllerin ya da atomların pozisyonları belirlenir ve rasgele seçilmiş merkezli 3 vektör $\vec{a}_i$ ($i=1, 2, 3$) oluşturulur. Kristalin tüm atomları t dönüşümü yapılarak birim hücrenin atomlarından elde edilir.

$$\vec{r} = \sum \alpha_i \vec{a}_i \quad (\alpha_i \text{ tüm pozitif ve negatif tam sayıları temsil eder}) \text{ ile tanımlanan}$$

kristal, idealdir. Isısal titreşimler bu periyodik yapıyı bozar ve denkleme uymak olanaksızlaşır. Bu durumda kristal kusurlu sayılmaktadır. Bir başka sınırlama ise, sonlu kristal boyutudur. Kristaller serbest yüzeylere ve başka kusurlara da sahip olabilmektedir. Alkali asit tuzları (NaCl, CaCl gibi) ve onların kusurları özellikle luminesans olayının anlaşılması için çok uygun olacaktır. Tipik bir kusur, negatif iyonun yer değiştirmesi ile oluşan negatif iyon boşluğunun bir elektron tuzağı gibi davranmasıdır. Elektron tuzaklandıktan sonra, kristal örgünün termal vibrasyonu ile boşaltılabilir. Sıcaklık yükseldikçe bu vibrasyonlar daha kuvvetli olmaya başlar ve dar bir ısı aralığında tuzaklanmış elektronlar çok çabuk serbest kalırlar (Pradhan, 2002). Burada bütün kusurlar, ışınlama sırasında ikincil yüklü parçacıklar tarafından yaratılan yüklü parçacıklar için tuzak gibi davranacaklardır. Bu tip maddelere örnek olarak LiF ve CaF₂ verilebilir.

Kristaller temel olarak 3 farklı tipte kusurlara sahiptirler.

1- Doğal kusurlar: Bunlar genellikle bir atomun yerinden çıkarılması sonucu oluşan kusurlardır.

2- Dış veya safsızlık kusurları: Herhangi bir kristalde kendisine ait olmayan başka X atomlarının eklenmesiyle meydana gelen kusurlar bu tip kusurlar olarak

sınıflandırılmaktadır. Bu tip kusurlar kristal oluşturma sürecinde öz yapının içerisine enjekte edilmektedir.

3- Asit tuzlarında iyonize radyasyonun oluşturduğu diğer kusurlar: Bu kusurlara renk merkezleri denilmektedir. Örneğin negatif iyon boşlukları lokalize olmuş pozitif yük alanlarıdır. İyonize radyasyon sonucunda, kristalde serbest hale gelen elektron lokalize pozitif yüke Coulomb kuvvetiyle çekilir ve boşluklarda tuzaklanabilirler (Furetta, 1998).

Bu sistem veya merkez "F merkez" olarak adlandırılır. Benzer olarak, pozitif iyon boşlukları deşik tuzaklarını temsil eder ve bu sisteme "V merkezi" denir.

Özetle; fotonlar, elektronlar, nötronlar, yüklü ve yüksüz parçacıklar kristalde kusurlar yaratacaktır. Radyasyona maruz bırakıldığında kristal atomları örgü içindeki pozisyonlarını değiştirecektir. Kusurların sayısı ışınlama akısı ve ışınlama zamanı ile orantılıdır. Diğer taraftan uzun süreli radyasyona maruz kalma, oluşan kusurların sayısının azalmasına neden olacaktır. Bunun nedeni ise deşiklerin ve elektronların yeniden birleşme olasılığının yüksek olmasıdır.

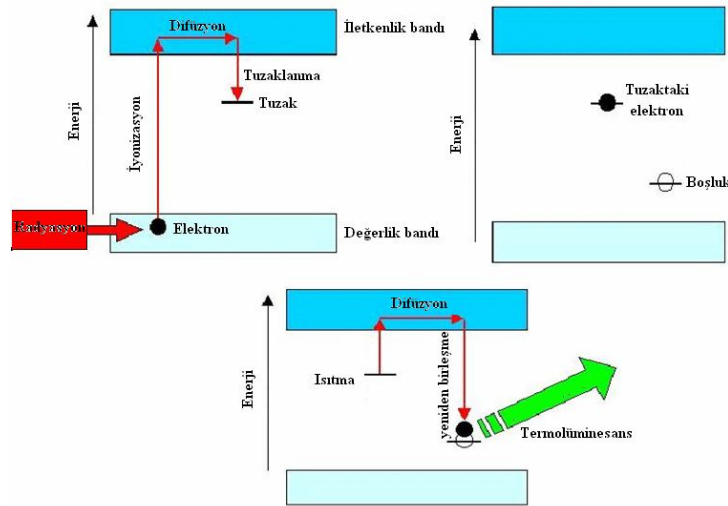
İşinlama aynı zamanda iyonizasyon zararları olarak bilinen negatif iyon boşlukları oluşturur. Bu iyonizasyon mekanizması elektron ve deşiklerin yeniden birleşmeleri ile bağlantılıdır.

Kristaldeki kusurlar eğer yük taşıyıcısını yakalayabilir ve geldiği banda tekrar yayımlayabiliyorsa, bunlar tuzak merkezleri olarak sınıflandırılırlar. Kusurlar zıt yönlü taşıyıcıları yakalar, sonuç olarak elektron-deşik yeniden birleşmeleri oluşuyorsa, bu tip yerlere "Yeniden birleşme merkezleri" denir.

Tuzak merkezleri için sadece merkez ve iletim bandı veya valans bant geçişleri düşünülürken; yeniden birleşme merkezleri için, sadece iletim elektronunun ve valans deşiğinin yeniden birleşme olasılığı düşünülmektedir.

Mineraller X-ışını, ultraviyole, katod ışınlarına veya benzeri iyonize radyasyona maruz kaldıklarında ışınlam yaparlar. Işığın yayılımı radyasyonun soğurulmasından sonra karakteristik τ_c zamanında gerçekleşir ve bu bizim lüminesans sürecini sınıflandırabilmemize yardımcı olur [22].

Bazı maddeler alfa, beta, gama, X-ışını gibi radyasyona maruz kaldıklarında bünyelerinde bir miktar enerji depolarlar. Bu enerjinin soğurulması onların yapısında kararsızlığa neden olur. Bu enerji depolanmasından dolayı, değerlik bandındaki serbest elektronlar, direk olarak iletkenlik bandına geçebilirler. Buradaki elektronlar serbestçe dolaşabilir veya bazı nedenlerle kristal yapı içinde oluşan tuzaklara yakalanabilirler. Tuzaklardan kurtulmak için yeterli enerjiyi bulanlar lüminesans merkezlerinde boşluklarla birleşip fazla enerjiyi UV veya görünür ışığa dönüştürebilirler. Malzemenin belli bir sıcaklığa kadar sabit bir hızla ısıtılmasıyla kristal içerisinde bulunan elektron tuzaklarının boşaltılması sonucu ışık yayınlanmasına termolüminesans (TL) denir (Şekil 3.1). Başka bir deyişle termolüminesans, uyartım kaynağı durdurulduktan sonra ısı uyartımıyla ışık yayılımıdır.

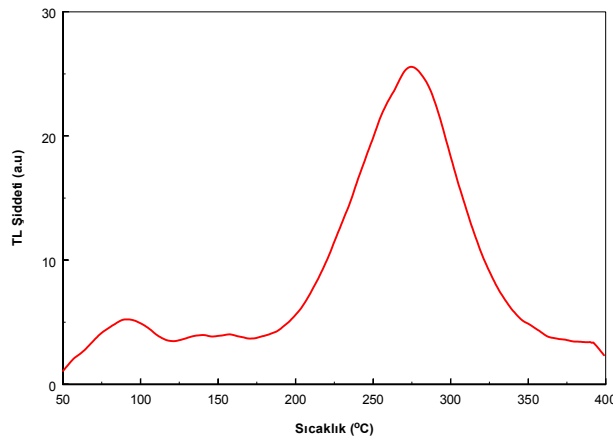


Şekil 3.1. Termolüminesans mekanizması [16].

TL deneylerinde, fosferasansın düşük olduğu sıcaklıklarda ısıtılma yapılır ve bunun ardından fosferasansın parlak olduğu sıcaklık değerine kadar ısıtılır. Isı ile uyartılmış bütün yükler örneği yarı-kararlı düzeylerinin dışına uyarır ve belirli bir süre sonra lüminesans tamamen kaybolur. 300 °C sonra gözlenen ışık şiddeti, örnek ve/veya ısıtıcıdan gelen (kırmızı ötesi) siyah cisim ışımasından kaynaklanmaktadır [16,23].

Tuzaklanmış bir elektron kristaldeki ısısal titreşimlerle çıkarılabilir. Sıcaklık miktarı arttıkça daha derin tuzaklardaki elektronların çıkarılma olasılığı artmaktadır.

Elektron tuzaklarının boşaltılması sırasında yayılan lüminesans sinyali sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Karakteristik TL sinyali “ışınma eğrisi” (glow curve) olarak adlandırılır (Şekil 3.2). Her bir malzemenin ayrı bir parıldama eğrisi vardır. O yüzden parıldama eğrileri malzemeler için karakteristiktir. Yayınlanan ışığın miktarı kullanılan kristalin cinsine, iyonlaştırıcı radyasyondan yayınlanan radyasyon miktarına bağlıdır. Yayınlanan ışık miktarı soğurulan ışık miktarı ile doğru orantılıdır [16].



Şekil 3.2. Termoluminesans ışıma eğrisi

Grafikte pikin en yüksek olduğu noktadaki sıcaklık, tuzak derinliğine (E) 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 sayısı ile 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 °C den düşük ışıma pikleri dozimetre uygulamaları için kullanışlı değildir. Bunun nedeni elektronların çevresel sıcaklıklara maruz kaldıklarında bu tuzaklardan kurtulabilme olasılıklarıdır [16,24]. Dozimetrik ölçüm için 300°C ya da daha yüksek sıcaklıklarda oluşan kararlı ısı eğrileri uygundur [16,25].

TL ölçümlerinde önemli diğer bir sorun ise termal sönümlemedir. Termal sönümlemenin sebebi (yüksek sıcaklıklarda lüminesans verimindeki azalma) ışınlı (radyatif) geçişlerle yarışan ışınlı olmayan (radyatif olmayan) geçişlerin olasılığının artmasıdır. Çünkü ısıtma hızındaki artış TL ışıma pikinin sıcaklığının artması demektir. Sıcaklıktaki bu kaymadan ışınlı olmayan geçişlerin katkıları sorumlu olacaktır. Herhangi bir TL dozimetre materyalinde meydana gelen termal sönümleme yüksek sıcaklıklarda düşük sıcaklıklarda olduğundan daha fazladır [16,26].

Termodinamik açıdan T sıcaklığında geçen ortalama zaman;

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

şeklinde olacaktır. E , e düzeyi ve m (tuzak derinliği) arasındaki enerji farkı, s sabit bir değer ve k ise Boltzmann sabitidir. Sonuç olarak fosforesans süreci sıcaklığa üssel biçimde bağlıdır. Herhangi bir anda fosforesans yayılım şiddeti $I(t)$ yeniden birleşmelerin değeriyle orantılıdır ($e - g$ geçiş değeri).

E termal aktivasyon enerjisi tuzaklanmış yük taşıyıcılarını serbest hale getirmek için gereken enerjidir. Buna “Tuzak derinliği” de denilmektedir. Birim zaman içinde tuzaktan kurtulan tuzaklanmış elektron sayısı başka bir deyişle, tuzaktan kaçma olasılığı;

$$p = s \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (3.2)$$

$E = eV$ olarak tuzak derinliği

$k =$ Boltzmann sabiti

$T =$ mutlak sıcaklık (K)

$s =$ frekans faktörü (s^{-1}), potansiyel kuyu olarak düşünülür. s' nin maksimum değeri örgü titreşim frekansına uygun olarak $10^{12} - 10^{14} s^{-1}$ gibi bir değerdir.

T sıcaklığında yarı-kararlı düzeydeki yük taşıyıcılarının τ ömür süresi

$$\tau = p^{-1} \quad (3.3)$$

Buradaki temel yaklaşım, tuzaktan serbest kalan hiçbir elektronun yeniden tuzaklanmayacağıdır ve bu da birinci dereceden kinetik olarak adlandırılır. Sıcaklık sabit olmak üzere, materyaldeki tuzaklanmış elektron sayısı n , aşağıdaki ifadeye göre zamanla azalacaktır.

$$\frac{dn}{dt} = -pn \quad (3.4)$$

$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n} = \int_{n_0}^n s \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dt \quad (3.5)$$

$$\ln n - \ln n_0 = -s \cdot t \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (3.6)$$

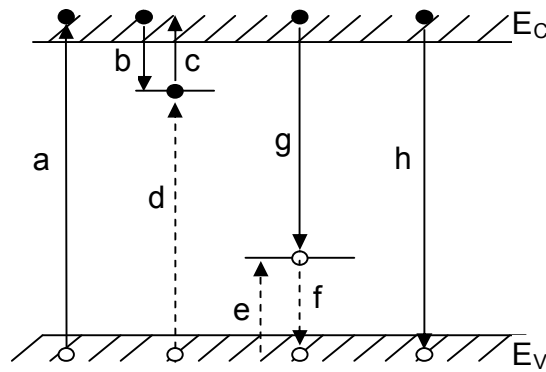
$$\ln\left(\frac{n}{n_0}\right) = -s \cdot t \cdot \exp\left(\frac{E}{kT}\right) \quad (3.7)$$

$$n = n_0 \exp\left[-s \cdot t \cdot \exp\left(\frac{E}{kT}\right)\right] \quad (3.8)$$

elde edilir. Burada n_0 , t_0 anında tuzaklanmış elektron sayısıdır[16].

3.2. Tuzak ve Yeniden Birleşme Merkezleri

Bütün lüminesans süreçlerinin temel özelliği, farklı lokalize enerji durumlarının doldurulmasındaki değişimlere dayanmaktadır. Popülasyondaki bu değişimler, bir enerji durumundan diğerine elektronik geçişlerle yapılmaktadır. Şekil 3.3 de bir yarıiletken veya yalıtkandaki elektronlar ve deşikler için bazı olası geçişler gösterilmektedir. Burada, elektronlar $\bullet$, elektron geçişleri $\longrightarrow$ ile; deşikler $\circ$, deşik geçişleri ise $\longleftarrow$ sembolleri ile gösterilmiştir. Ana atomdan değerlik elektronun uyarımla örgü içerisinde yeterli enerjiyle kolayca hareket edebileceği iletim bandına hareketi (a) geçişi ile gösterilmiştir. Bu durum iyonizasyon sürecine uymakta ve radyasyon gibi dış bir kaynaktan enerjinin soğurulmasıyla oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Yarıiletken ve yalıtkanlarda elektronlar ve deşikler için bazı olası geçişler.

İyonizasyon serbest elektron-deşik çiftlerinin oluşmasına neden olur. Serbest elektron-deşik çiftleri kristal yapı içerisinde kusur merkezlerine yerleşirler. Bu durumda elektron ya da deşikler tuzaklanacaktır. Şekil 3.3. de, elektronların tuzaklanması (b) geçişi ile deşiklerin tuzaklanması ise (e) geçişi ile gösterilmiştir.

Yerleşmiş elektronlar ve deşikler, tuzaklarından optiksel ya da termal uyarma sayesinde (c) ve (f) geçişlerini yaparlar.

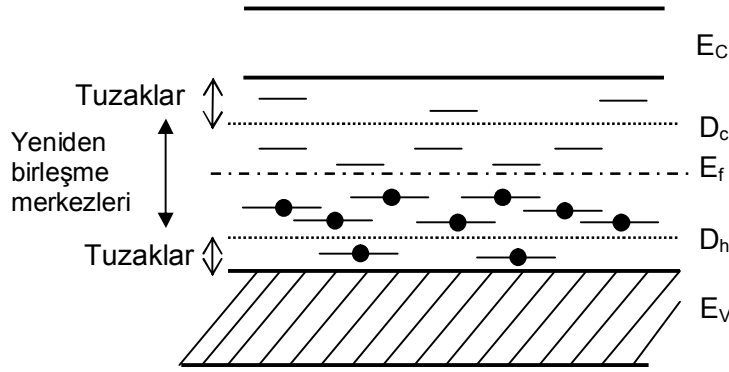
Serbest elektron ve deşik için ikinci bir seçenek ise, ya doğrudan (a-geçişi) ya da dolaylı olarak önceki tuzaklanmış taşıyıcılarla yeniden birleşmedir (d-geçişi ve g-geçişi).

Yeniden birleşme mekanizmalarının her ikisi de, ışığın yayılımı ile (lüminesansla) sonuçlanır.

Lokalize enerji düzeyleri tuzak ya da yeniden birleşme merkezleri gibi davranırlar. Yeniden birleşme merkezini basit bir tuzaktan ayırt etmek mümkündür. Eğer c-geçişi d-geçişinden daha yüksek olasılıkta ise, bu “merkez tuzak” olarak adlandırılır. Buna karşılık eğer d-geçişi daha yüksek olasılıkta ise bu enerji düzeyine “yeniden birleşme merkezi” denir. Benzer olarak, deşik merkezleri için de aynı durumlar geçerlidir (g-geçişi ve f-geçişi).

Bir düzeyin ömrünü veren $\tau = s^{-1} \exp(-E / kt)$ denkleminde görüleceği gibi termal olarak kendi tuzaklarından serbest kalan yük taşıyıcılarının olasılığı E/kT terimine üssel olarak bağlıdır. Verilen bir sıcaklık için, bu küçük E li merkezler, büyük E lilere göre çoğunlukla tuzak olarak davranırlar. Bunun nedeni ise yeniden birleşme merkezlerinin, yasaklanmış aralığın ortalarına doğru yerleşmeleridir. Tuzaklar ise bantların yakınlıklarına doğru yerleşmiştir. Tuzaklama ve yeniden birleşme olasılığı tuzak ve yeniden birleşme merkezi arasındaki mesafeye bağlıdır. Enerji bant diyagramında elektron ve deşik için tuzaklama merkezleri Şekil 3.4 de görülmektedir.

E enerji derinliğinin merkezi, $E < D$ olduğunda burası tuzak olacak iken, $E > D$ olduğunda ise yeniden birleşme merkezi olacaktır. Çünkü tuzakların derinliği lokalize düzey ve bununla ilişkin delokalize bant (elektron için iletkenlik bandı, deşikler için değerlik bant gibi) arasındaki enerji farkını göstermektedir [16,27].



Şekil 3.4. Yarıiletken ve yalıtkanlarda elektron ve deşik tuzaklama düzeyleri içeren enerji bant diyagramı. D_c ve D_h sırasıyla elektronlar ve deşikler için delokalize bant[16].

Yeniden birleşme merkezi ve tuzak arasındaki mesafe, merkezin enerji derinliğine bağlı değildir. Ayırma (sınırları belirleme) düzeyinin tanımlanmasından şöyle yazılabilir:

$$s_e \exp(-D_e / kT) = n_r A_r^n \quad \text{elektron için} \quad (3.9)$$

$$s_h \exp(-D_h / kT) = p_h A_r^p \quad \text{deşik için} \quad (3.10)$$

Eşitliğin sol tarafındaki terim elektron ve deşikin ayırım düzeylerinden, birim zamanda tuzaklanmış elektronun ya da deşiklerin termal uyartım olasılığını göstermektedir. Eşitliğin sağındaki terimler ise, zıt işaretli serbest taşıyıcılarla, tuzaklanmış taşıyıcıların birim zamanda yeniden birleşmelerinin olasılığını temsil etmektedir.

Bu eşitlikte n_r ve p_r tuzaklanmış yüklerin yoğunludur. A_r^n ve A_r^p terimleri elektron ve deşikler için yeniden birleşme katsayısıdır (hacim / birim zaman) [16].

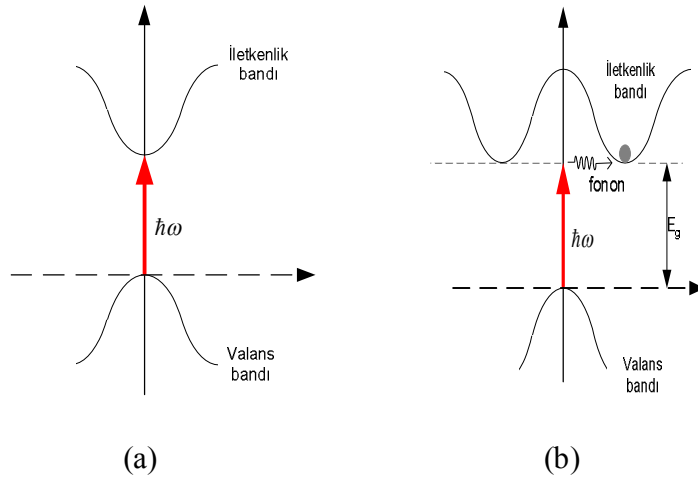
3.3. Doğrudan ve Dolaylı Yeniden Birleşme

Yasak bant aralığını doğrudan geçen serbest elektron ve deşiklerin yeniden birleşmeleriyle oluşan lüminesans çeşitli malzemelerde gözlenmektedir [16,27].

Bant-bant yeniden birleşme iki şekilde gerçekleşecektir;

i- Eğer iletim bandı minimumu ve değerlik bandı maksimumu dalga vektörünün aynı değerinde meydana gelirse geçiş, momentum transferi olmadan gerçekleşir. Başka bir deyişle, süreç daha yüksek olasılığa sahiptir. Bu sürece doğrudan geçiş denilmektedir.

ii- Eğer bant maksimum değerine farklı dalga vektöründe sahip olursa, momentum transferi gerçekleşir yani bant-bant geçişi daha düşük olasılıkla gerçekleşecektir. Bu süreç ise dolaylı geçiş olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.5).



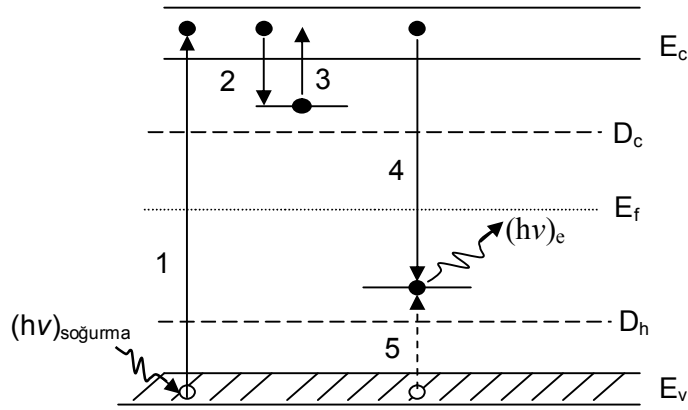
Şekil 3.5. (a) Doğrudan bant aralık geçişi, (b) dolaylı bant aralıklı geçişler.

Bant–merkez yeniden birleşme mekanizması düşük sıcaklıklarda daha etkindir. Dolaylı geçişlerde uyartılmış taşıyıcının enerjisi tamamen fonon etkileşimleriyle yani ışınlı olmayan geçişle sonuçlanır.

Bant-bant	doğrudan yeniden birleşme
Bant-merkez	dolaylı yeniden birleşme

Uyartılmış elektron bant aralığına uygun enerji miktarı kaybetmelidir ve elektronun enerjisini harcamak için birçok fononun aynı anda oluşması gerekecektir. Bundan dolayı, doğrudan geçiş foton yayılımına neden olacağından ışınlıdır.

Dolaylı geçişlerde enerji harcanması bant-aralık enerjisinden çok daha az olacağından enerji gerek ışınlı (foton yoluyla) gerekse ışınlı olmayan (fonon yoluyla) şekilde harcanacaktır. Şekil 3.6 da basit iki-düzey modeli görülmektedir.



Şekil 3.6. Termoluminesans için basit iki-düzey modeli.

Burada izin verilen geçişler; 1 iyonizasyon, 2 ve 5 tuzaklama, 3 termal serbest kalma, 4 ışınlı yeniden birleşme ve ışık yayımıdır.

Elektronlar aktif taşıyıcılar olmakla birlikte benzer durum deşikler içinde söz konusudur. Şekil 3.6 daki enerji band diyagramında, sadece iki lokalize düzey, delokalize düzey ile ayırım düzeyi arasında bir düzey bulunmaktadır (D_c ve E_c yada D_h ve E_h). Diğer durumlar D_c ve D_h arasına yerleştirilmiştir. Böylece bir düzey tuzak gibi davranırken diğeri yeniden birleşme merkezi gibi davranacaktır.

Diyagramda, radyasyonun soğurulmasında önce, tuzak fermi düzeyinin E_f yukarısındadır ve denge konumunda boştur. Bundan dolayı potansiyel bir elektron tuzagıdır. Diğer taraftan yeniden birleşme merkezi, fermi düzeyinin altında olup, tamamen elektronla doludur ve potansiyel bir deşik tuzagıdır.

Soğurulan radyasyon enerjisi $(h\nu)_{abs} > E_c - E_v$ (bant – aralık enerjisinden daha büyük) değelik elektronunun iyonizasyonu sonucunda iletkenlik bandında serbest elektron ve değelik bantta ise serbest deşikler oluşur (Geçiş-1). Yeniden birleşmenin oluşabilmesi için deşikler ilk önce R merkezlerinde tuzaklanmalıdır (Geçiş 5). Yeniden

birleşme serbest elektronun tuzaklanmış deşiklerin anihilasyonu ile gerçekleşir (Geçiş 4). Eğer bu modelde, yeniden birleşme ışınlı olarak kabul edilirse lüminesans oluşur. Serbest elektron T düzeyinde tuzaklanırsa (Geçiş 2), bu durumda sadece yeniden birleşme meydana gelir. Eğer tuzaklanmış elektron, iletkenlik bandına dönüşü için yeteri kadar enerji soğursa, burada yeniden birleşmeler olasıdır. Bu durumda lüminesans, tuzaktaki elektronun τ ortalama ömür geçecek süre kadar gecikir. Bu Arrhenius denklemiyle verilmiştir:

$$p = \tau^{-1} = s \exp(-E / kT) \quad (3.11)$$

p , elektronun birim zamanda tuzaktan serbest kalma olasılığıdır. Denge durumu $E \leq kT$ gibi örneğin T_0 sıcaklığı üzerine çıkarılması ile hızlandırılabilir. Böylece p yeniden tuzaklama olasılığı artacak ve elektron tuzaktan iletkenlik bandına serbest kalacaktır. Termolüminesans serbest elektronun tuzaklanmış deşiklerle yeniden birleşmeleriyle sonuçlanır.

Termolüminesansın şiddeti $I(t)$ herhangi bir anda ısıtma sırasında R düzeyindeki elektron ve deşiklerin yeniden birleşme miktarıyla orantılıdır. Eğer n_h tuzaklanmış deşiklerin konsantrasyonu ise,

$$I(t) = -d_{n_h} / d_t \quad (3.12)$$

olacaktır.

Sıcaklık arttığında; elektronlar serbest kalır ve yeniden birleşmeler tuzaklanmış deşiklerin konsantrasyonunu azaltır ve böylece termolüminesans şiddeti yükselir. Elektron tuzakları gittikçe boşalır ve yeniden birleşme miktarı azalır ve buna bağlı olarak termolüminesans şiddeti düşer. Bu süreç termolüminesans pikinin oluşmasına neden olur.

Genellikle bu tür deneysel çalışmalarda, sıcaklık zamanın lineer bir fonksiyonu olarak $T = T_0 + \beta t$ denklemine uygun şekilde artar. Yayımlanmış ışığın enerjisi $(h\nu)_c$ uyarılmış düzey (burada iletkenlik bandı) ve taban seviye (yeniden birleşme merkezi) arasındaki enerji farkıyla belirlenir [16,23].

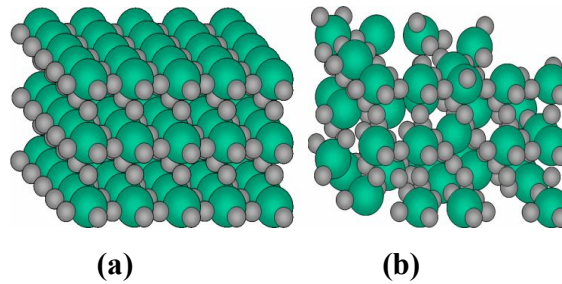
4. KRİSTALLER

Kristallerde daima kusurlar mevcuttur. Bu kusurlar sayesinde kristalden birçok alanda yararlanmak mümkün olmaktadır. Örneğin bir kuvars kristalinin kusurları sayesinde bu malzemeden dozimetre olarak yararlanmak mümkündür.

Atomların yerleşiminin geometrisine bağlı olarak değişen birçok kristal yapı tipi vardır. Katının fiziksel özellikleri genellikle kristalin yapı tipine bağlı olduğundan, bu yapıların bilinmesi önemli olmaktadır[1].

4.1. Kristal Yapılar

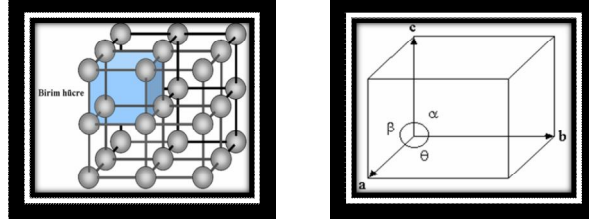
Kristal üç boyutlu uzayda periyodik olarak tekrarlanan atomlardan oluşur. Kristaller gazlardan ve sıvılardan ayrılırlar. Çünkü sıvı ve gazlarda atomların yerleşimi kısa mesafelerde bir düzene sahip iken uzun mesafelerde bu düzen bozulur. Bununla birlikte bütün katılar kristal yapıda değildir. Cam gibi bazı katılar düzensiz (amorf) yapıdadır. Düzensiz katılarda atomların uzun mesafe düzeni olmayıp, kısa mesafeli düzeni söz konusudur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 (a) Düzenli, (b) düzensiz atomlara sahip bir kristal yapısı[1].

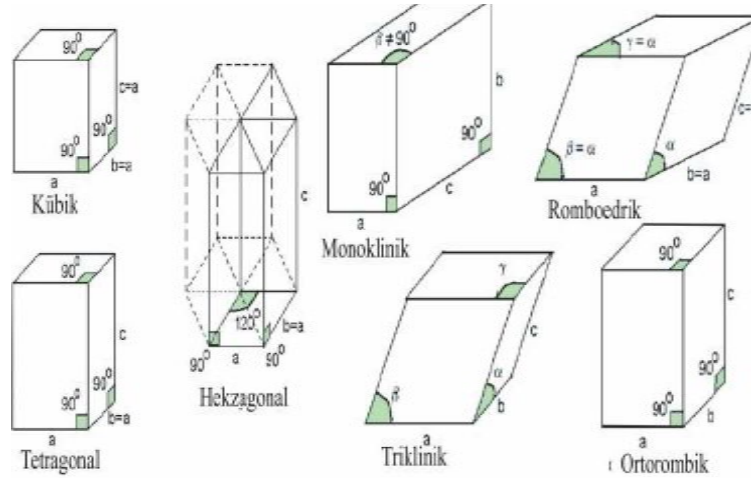
Kristalin tüm özelliklerini taşıyan en küçük yapı taşına birim hücre (örgü) denir. Bir birim hücrenin şekli ve büyüklüğü, orijin olarak alınan köşeden çizilen a, b ve c vektörleri ile belirtilir. Bu vektörler hücreyi temsil eder ve hücrenin kristallografik eksenleri olarak adlandırılır. Bu vektörler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

birim hücre parametreleri olarak adlandırılır. Şekil 4.2' de üç boyutlu birim hücre görülmektedir.



Şekil 4.2. Bir birim hücrenin şematik olarak gösterilmesi [22].

Uzay üç takım düzleme bölündüğünde, bu düzlemleri seçiş şekline göre farklı birim hücreler elde edilebilir. Birim hücre parametrelerinin alabileceği farklı değerlere bağlı olarak, doğada bulunan bütün kristalleri temsil edebilmek için birim hücrelerin yedi farklı şekil ve büyüklükte olduğu görülür. Bunlara yedi kristal sistemi denir.



Şekil 4.3. Kristal sistemlerinin gösterimi [22].

Tablo 4.1' 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 (yüzeylerinde, hacim merkezlerinde) da başka noktaların bulunması ile en fazla ondört

çeşit nokta örgü olabileceğini ispatlamıştır. Bu ondört çeşit nokta örgüye Bravais örgüsü denir.

Bu tabloda:

- 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.

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

Tablo 4.1 Yedi kristal sistemi ve bravais örgüleri (P: İlkel birim hücre, I: Cisim- merkezli birim hücre, F: Yüzey- merkezli birim hücre, C: Kenar- merkezli birim hücre) [1].

Katıları, kristal yapılarına uygun olarak da, gruplandırmak mümkündür. Bu gruplandırmalar sayesinde bütün katıların kristal yapıları belirlenebilir. Belirlenen yapılar artık o kristalin kimliğini ortaya koyar [1, 28, 29, 30].

4.2. 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 ısı, 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 ısı çalkalanma etkisiyle görülen her yerdeğiştirme kristal katıda dalgalar dizisi gibi yayılır. Kristal içinde üretilen dalgaların herhangi bir frekansı yoktur ve bunlar fononlardır.

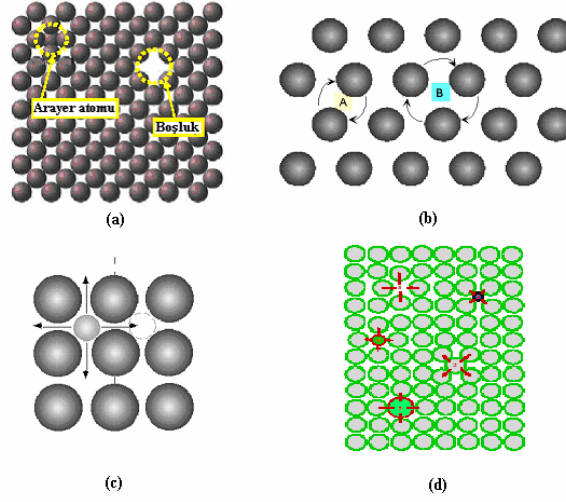
-Elektronlarla ilgili kusurlar üç tiptir; elektron, boşluk ve eksitonlardan kaynaklanan kusurlar. Kimi cisimlerin yarıiletken özelliklerini açıklamayı sağlayan bu kusurlar bir elektronun yüksek bir enerji durumuna gelişinin, aynı anda bir boşluk oluşumuna bağlı olmasına dayanır. Elektron ve buna karşılık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

-Atomsal kusurlar iki tiptir, kimyasal kusurlar ve örgüsel kusurlar. Örgüsel kusurlar; noktasal kusurlar(sıfır boyutlu), çizgisel (doğrusal-bir boyutlu) kusurlar ve yüzeysel(iki boyutlu- düzlemsel) kusurlar olarak sınıflandırılırlar. Kristal kusurları, kristallerin birçok özelliğini etkiler ya da kaynağını oluşturur [1].

a)Noktasal kusurlar: Kristal örgüsünün atom boyutundaki düzensizliklere noktasal kusurlar denir. Bunlar kusurların en basit tipidir ve termodinamik denge şartlarında bulunmaktadırlar. Boşluklar, arayer atomları, katkı atomları ve bunlardan oluşmuş kompleksler, noktasal kusurlar olarak tanımlanır. [31].

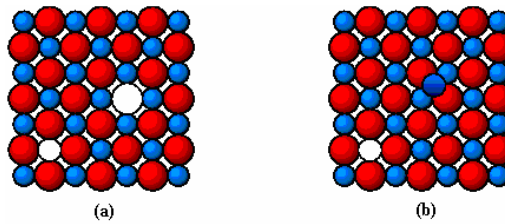
Atom boşlukları (normal olarak dolu olması gerektiği halde boş olan yerler), arayer atomu (normal olarak dolu olan konumların dışında bulunan atomlar ya da iyonlar), ayrılmış arayerler (bir arayer, diğer bir atomun ya da iyonun normal konumunu değiştirdiğinde) görülür.

Bazı noktasal kusurlara ait örnekler şekil 4.4 de görülmektedir.



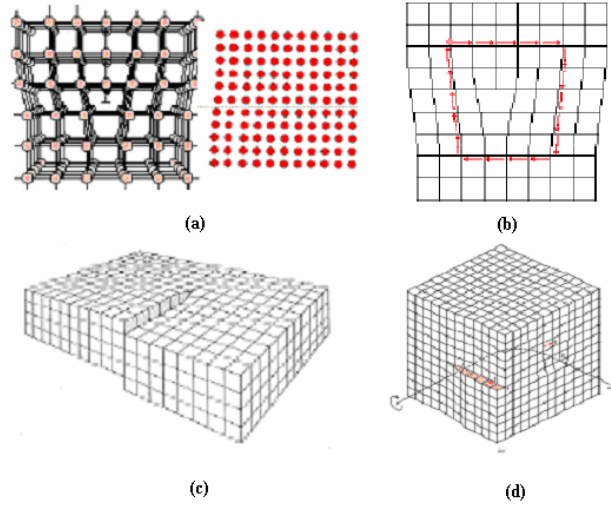
Şekil 4.4. Bazı noktasal kusurlara örnekler (a) örgüden çıkmış veya örgüye farklı bir noktadan katılmış atom (b) atomların kendi arasında yer değiştirmeleri (c) dışarıdan kristal örgüsüne dahil olmuş atomlar (d) örgüdeki atomların farklı atomlarla yer değiştirmesi kusurları.

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 4.5)) oluşur.



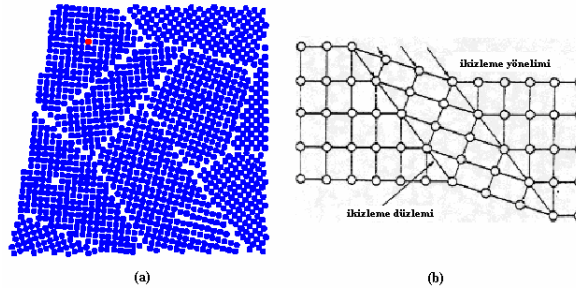
Şekil 4.5. (a) Schottky kusuru, (b) Frenkel kusuru

b)Çizgisel (doğrusal-bir boyutlu) kusurlar; kristalin, gerçek kristale göre bozulduğu alanlarda “kötü kristal” bölgelerin varlığına karşılık gelir. Bu kusurlar metallerin ve alaşımların mekanik özelliğini açıklamayı sağlar. Bu kusurlar kenar ve vida kusurları (Şekil 4.6.) olarak yazılabilir.



Şekil 4.6. (a) ve (b) kenar kusurları, (c) ve (d) vida kusurları.

c)Yüzeyssel (iki boyutlu-düzlemsel) kusurlar; istif 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). Çeperlerdeki dislokasyon istifleri iki bitişik tanenin örgülerini birbirine bağlar (Şekil 4.7) [1,28,29,30].



Şekil 4.7. (a) Tane sınırı kusurları (b) ikizleme sınırı kusurları

5.MİNERALLER

Yan yana eklenerek yerkabuğunu oluşturan kayaların ana maddesi olan mineraller, temelde değişmez ve benzeşik yapıdırlar. Kimyasal bileşimleri belirgin olmasına karşın doğal olarak, bu kuralın da ayrıcısı vardır. Bazı mineraller izomorf(eş biçimli) diziler oluşturlar. Bu dizilerin uç birimleri durumundaki bileşenlerinin değişik oranlarda karışarak (çoğunlukla sürekli) belli yapılar ortaya çıkarmaları olayıdır. Örneğin sürekli bir izomorf dizininin A ve B uç birimleri varsa, bu dizide %100'ü A (1. uç birim); %50'si A, %50'si B ve %100'ü B (2. uç birim) bileşenlerinden oluşmuş minerallere rastlanabilir. Bileşim değişimleri tek bir mineral kristalinde de görülebilir. Çoğunlukla merkezden dışa doğru olan bu değişim, yavaş ya da birden oluşabilir. Değişimin birden oluşması durumunda katmanlı kristaller ortaya çıkar.

Doğal bileşikler, özellikle de silikatlar (silisli mineraller) çok çeşitli olduğundan, minerallerin sayısı da oldukça yüksektir. Ancak, binlerce değişik türün yalnız birkaç düzinesi sık görülür. Minerallerin çoğu doğada pek az görülür. Doğadaki binlerce türle yetinmeyen insanoğlu, birçok bakımdan gerçek minerallere benzeyen, ancak mineral sayılmayan bazı maddeler geliştirmiştir. Cam ve bazı seramik türleri bu maddelere örnek gösterilebilir. Yalnız belli kristal yapıları olan maddeler mineral sınıfı içinde ele alındığından, tüm dünyanın minerallerden oluştuğu söylenemez. Yerkabuğunun altındaki sıvı (örneğin, su ve petrol) ve erimiş kaya (mama) tabakalarının ana maddesi mineral değildir. Yerkürenin 'katı toprak' adı da verilen, katı maddelerden oluşmuş bölümü için durum farklıdır. Sert ya da yumuşak (granit ve kil gibi) tüm kayalar, bir ya da daha çok mineralin birleşimidir. Bazı kireçtaşı ve kuvarsit yatakları, kayatuzu ve kükürt çökeltileriyle grafit gibi, hemen tümü tek bir mineral türünden oluşmuş kayalara ender rastlanır.

Mineraller yalnız dünyada bulunmaz; başka gök cisimlerinin yapıtaşları da minerallerden oluşmuştur. Aydan getirilen kaya örneklerinde mineraller bulunduğu ve bunların Dünyadakilere çok benzediği ortaya çıkmıştır. Bazı türlerse ilk kez bu örneklerde görülmüştür. Söz konusu minerallerin, Aydaki kayaların oluşmasına yol açan koşullarla doğrudan ilişkisi vardır. Genel olarak mineraller oluşum sırasında, bir kristal biçimi alma eğilimindedirler. Bu biçim, kristalin iç yapısıyla uyumludur. Ancak, çoğu

zaman bu sürecin oluşmasına yetecek oylumun bulunmaması nedeniyle gelişme, dolaylı olarak da biçim düzensizdir. Oluşumdan sonra kaya parçacıkları olarak birbirine kenetlenen ya da ayrı kalabilen kristaller, aşınmadan etkilenirler. Bu süreç sonunda, kristallerin tipik biçimi tümünden yok olur. Gerçekte de kristallerin çoğu ilk oluştuklarında ancak mikroskopla görülebilecek büyüklüktedir. Bu nedenlere bağlı olarak kayalar, özgün kristal yapıları olan minerallerden oluştukları izlenimini uyandırmazlar. Bir mineralin kristal yapısının belirginliği, oluşum biçimine ve süresine de bağlıdır. Ağır ağır gelişen kristaller, hızla oluşan kristallere göre genellikle daha belirgin biçimlere sahiptir. Başlıca kristalleşme biçimleri magmanın katılaşması, kimyasal çökeltme, başkalaşım ve bazı elementlerin fazlaca bulunduğu yeraltı sularında görülebilecek türden kimyasal tepkimelerdir [32].

5.1.Mineral nedir?

Mineral, doğada homojen halde bulunan belirli bir kimyasal formülü olan çoğunlukla bir, ender olarak iki kristallik sistemi bulunan, bazen de herhangi bir kristallik sistemi olmayan inorganik bileşiklerin ortak adıdır [5,17].O halde mineraller hakkında şu özellikleri kolayca söyleyebiliriz:

- 1- Doğal halde bulunurlar.(Oluşumları doğaldır.)
- 2- Herhangi bir parçası bütününe özelliklerini gösterir.
- 3- Belli bir kimyasal formülleri vardır.
- 4- Katı halde bulunup nadiren sıvıdır. (Örneğin: civa)
- 5- İnorganiktir. (Yani doğada bulunur.)
- 6- Kristallidir(Kendi iç düzeni vardır.)

Doğada veya deneysel olarak yapılan incelemelerde de gözlendiği gibi, mineraller belirli fizikokimyasal şartlarda (belirli sıcaklık ve basınç altında ve ortamın kimyasal durumu gibi) oluşurlar.

Mineraller belirli bir kimyasal birleşime sahiptirler. Buradan her mineralin belli bir kimyasal formüle sahip olacağı anlaşılmaktadır. Kimyasal formülleri genellikle sabittir. Ancak belli sınırlar içinde belirli kurallarla değişebilir. Çok ender olarak saf elementler

(altın, gümüş, bakır, vs.) şeklinde oluşan mineraller, yerkabuğunda meydana gelen doğal fizikokimyasal olayların ürünleridir.

Minerallerin diğer bir özelliği inorganik olmalarıdır. Yerkabuğunda bulunan petrol, kömür, fosil ve reçine gibi maddeler mineraller sınıfına girmez. Ancak nadir de olsa organik mineraller vardır (örneğin: kehribar).

Minerallerin katı olmaları düzenli bir atomik iç yapıya sahip olduklarını gösterir. Mineral kristallerin dış yapısı incelendiğinde düzgün bir geometrik şekle sahip oldukları görülür. Yine aynı şekilde iç yapılarının da düzgün olduğu görülür. Minerallerin civa gibi sıvı olan tipleri de vardır. Katı mineral kristalleri homojen bir yapıya sahiptirler. Alınan bir mineral örneğinin her zerresi aynı mineralden ibaret olmalıdır. Ancak her mineralde az veya çok yabancı mineral varlığı bulunmaktadır. Yabancı madde oranının fazlalığı, minerallerin özelliklerini değiştirir [17,33].

Mineraller birçok gruba ayrılır.

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

6 ana kristallik sistemde kristalleşir. Bu 6 ana kristallik sistem de daha küçük gruplara ayrılır. Ana kristallik sistemleri şunlardır; kübik, hegzagonal, triklinik, monoklinik, tetragonal, ortorombik. Belirli bir kristallik sistemi olmayan minerallere amorf denir [17,34].

Mineralleri arazide tanımanın yolu fiziksel özelliklerini bilmektir. Ancak şu hatırdan çıkarılmamalıdır: İstisnai haller dışında hiç bir jeolog arazide uzun uzun fiziksel özelliklerini kontrol ederek mineral tayini yapmaz. Minerale şöyle bir bakan tecrübeli jeolog onun ne olduğunu bilir. Çünkü pek çok örneğini daha önce görmüştür. Dolayısıyla arazide başarılı mineral tayininin anahtarı bol bol mineral görmüş olmaktır.

Mineral görmenin iki safhası vardır. Önce iyi örnekleri tek tek görmek, sonra bunları doğal kayaç ortamında görmek [22].

5.2. Minerallerin Oluşumu

Magma: Yerkürenin iç bölümlerinde erimiş halde kaya kütleleri (magma) vardır. Magma, katı haldeki kristalleri de içerir. Sıvı evrede, polimerleşme (zincir oluşturma) yoluyla birbirine bağlanabilen anyon (negatif yüklü tanecikler) ve katyon (pozitif yüklü tanecikler) kümeleri bulunduğu sanılmaktadır. Magmanın asıl bulunduğu yer dünyanın dış çekirdeğidir. Ancak, yerkabuğuna daha yakın olan manto tabakasının bazı bölgelerinde ve yerkabuğunda da magma gözeleri görülür. Bu mağaralardaki erimiş kayalar, dünya çekirdeğindeki magma ile doğrudan bağlantı halindedir. Magma, kanallar ve çatlaklar yoluyla magma gözelerinden yeryüzüne doğru yükselebilir ve bazen de yeryüzüne çıkar. Bu sırada ısının ve basıncın düşmesi, yoğunlaşma, kristalleşme ve daha önce oluşmuş kristallerin ısınarak belli ölçüde erimesi gibi karmaşık değişimlere yol açar.

Lavların yeryüzüne fışkırmasında olduğu gibi soğuma hızlıysa, kristaller biçimlenecek zaman bulamazlar. Böylece, mikroskobik kristalleri olan, çok ince tanecikli hatta camsı kayalar ortaya çıkar. Soğuma yavaş olduğunda, örneğin yerkabuğunun derinlerinde granit ve benzeri kayalar oluşur. Bu kayaların yapısında daha çok kuvars, feldspat ve mika kristalleri vardır. Çapları birkaç milimetreyle bir santimetre arasında değişen bu kristaller oldukça iri kabul edilir.

Magmanın göreceli olarak geniş bir kanaldan yeryüzüne yükselmesiyle çeperlere değerek soğuyan silikatlardan, hem iri hem de küçük kristalleri olan kayalar (porfirler) oluşur. Erimiş silikatların kristalleşmesi sırasında oluşan tepkimeler sürekli ya da evreli olabilir. Sürekli tepkime dizileri sonucunda karışık kristaller oluşur. Örneğin uç birimleri albit (bir sodyum aluminosilikatı) ve anortit (bir kalsiyum aluminosilikatı) olan plagioclase, böyle bir kristaldir. Soğuma yavaş olduğunda önce kalsiyumlu kristaller (anortit) oluşur. Bunlar magma ile tepkimeye girerek, magmanın kimyasal bileşiminin belirleyeceği oranda albitle karışırlar. Evreli tepkime dizilerine örnek olarak da, kristalleşen ilk mineralin magnezyumsilikat forsteriti (Mg_2SiO_4) olduğu forsterit-kristobalit sistemi gösterilebilir. İlk kristalleşmeden sonra magmadaki silis oranı yükselir ve belli bir noktadan sonra da magmadaki forsterit kararlılığını yitirerek tepkimeye girer;

başka bir magnezyum silikatu olan (Mg_2SiO_4) oluşarak, tepkime magmada geriye kalan tüm magnezyumu çeker. Son olarak da, bir tür silis kristali olan kristobalit oluşur. Magmanın kristalleşmesi süreciyle ilgili olarak yapılan birçok araştırmanın sonucunda, Bowen Tepkime Dizileri olarak bilinen model ortaya çıkmıştır. Bu modelle, belli kimyasal bileşimleri olan magmalardan hangi minerallerin, hangi sırayla oluşabilecekleri açıklanabilmektedir. Örneğin, magmadaki silis (SiO_2) oranı düşükse, olivin, piroksen, leusit, nefelin ve alkali feldspat gibi az silisli minerallerden oluşmuş bazaltlar ortaya çıkar. Magmanın SiO_2 oranı yüksekse, oluşan bazaltlar da piroksen ve feldspatın yanısıra kuvars (SiO_2) da bulunur.

Erimiş haldeki silikatların ve diğer kaya magmalarının hemen tümünde, sıvı hallerini uzun süre koruyan elementler vardır. Bu elementler çoğunlukla son aşamada, ince damarlar (pneumatik damarlar) halinde kristalleşirler. Örneğin beril, topaz ve turmalin gibi değerli taşların oluşumları böyledir. En son geriye kalan doygun su eriyiklerinden oluşan hidrotermal tortular da daha çok kuvars bulunursa da, zaman zaman altın, gümüş ve bakır gibi maden filizleri de görülür[32].

5.2.1.Başkalaşım

Kaya kütleleri, çeşitli koşullara bağlı olarak çok yüksek ısı ve basınçların etkisi altında kalabilir. Örneğin, bir kaya kütleğinde derinlere doğru, hem ısı hem de basınç artar; magmanın yükseldiği durumlarda yalnız ısı, dağların çöktüğünde oluşumu sırasında açığa çıkan güçlerin etkisiyle de yalnız basınç yükselir. Bu değişimler, ortamdaki minerallerin kararlılıklarını yitirmelerine yol açabilir. Kimi zaman da, bazı kimyasal maddeler mineral taneciklerinin arasındaki sızıntı sularına karışarak uzaklaşır. Aynı süreç yeni kimyasal maddelerin ortama geçmesine de yol açabilir. Kararsızlaşan minerallerin bir bölümü çözülerek başka minerallerin oluşmasına yol açar. Başkalaşım (metamorfizm) adı verilen bu süreç genellikle 300- 1200 $^{\circ}C$ arasındaki ısıda görülür. Daha yüksek ısılarda kaya kütleleri tümüyle erir (anatexis). Basıncın belli bir yönü varsa, yeni oluşan mineral kristalleri, basıncın en fazla olduğu yönle dik açı oluşturacak

biçimde gelişir. Başkalaşım sonucunda ortaya çıkan minerallerin niteliğini ısı ve basınç dışında, başlangıçtaki kayanın kimyasal bileşimi de belirler [32].

5.2.2.Diagenesis (Yeniden Oluşum)

Özellikle yeraltındaki akarsuların etkisiyle mineraller, düşük ısı ve basınçlarda da çözülerek yeni yapılar oluşturabilirler. Sık görülen diagenesis biçimlerinden biri ‘taşlama’ sürecidir. Örneğin kum zamanla kumtaşına dönüşebilir. Bu olgunun nedeni, kum taneciklerinin arasına genellikle kuvars, kalsiyumkarbonat ya da demiroksitleriyle hidroksitlerin karışımlarından oluşan bir çökeltinin dolmasıdır. Bazı durumlarda bir mineralin yerini başkası alabilir. Örneğin, ortalama magnezyum oranı yüksek olan bir yeraltı suyu varsa, bir kireçtaşı (kalsit) zamanla dolomite ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)$) dönüşebilir. Böyle bir durumda kristalin yapısı değişmeyebilir; kalsiyumun yerini magnezyuma bırakması oldukça yavaş bir süreçtir. Yeni oluşan dolomit kristallerinin dış görünüşleri de, başlangıçtaki kalsit kristallerine benzeyecektir. Başka bir diagenesis türü de, sığ denizlerde görülen mika benzeri yeşil renkli gılokonit mineralinde olduğu gibi, yeni minerallerin oluşmasıdır(authigenesis). Bu, denizlerde bulunan ve oksitlenme sonucu kahverengi bir görünüm alan yeşil kuma tipik rengini veren mineraldir. Sığ denizlerin dibindeki manganez yumruları da authigenesis sonucunda oluşmuştur [32].

5.2.3.Aşınma

Mineraller, iklim koşullarının etkisiyle yeryüzünde de değişim geçirebilirler. Bazı mineraller, örneğin kuvars (SiO_2) aşınmaya karşı daha dayanıklıdır. Öte yanda, örneğin feldspatlar kolaylıkla aşınarak çeşitli kil minerallerine dönüşürler. Sürüklenerek başka yerlerde tortular oluşturan bu kil parçacıkları biraraya geldiğinde sertleşerek katmerli kayalara, basınç yüksek olduğunda da arduvazla (siyah mermer) şistlere dönüşürler [32].

5.2.4. Kimyasal Çökelme

Bazı yörelerde, yeraltı sularına karışmış olan maddelerin yoğunluğu artıp, suyun doyma noktası aşıldığında, birtakım mineraller çökelir. Örneğin, kireçtaşı tabakalarının arasından sızan suların yeryüzüne ulaşip buharlaşmasıyla oluşan çökelme sonucu, mağaralarda sarkıt ve dikitler açık havada traverten katmanları ortaya çıkar. Deniz suyunun buharlaşması sonucunda, tuz oranı gittikçe artan mineral çökeltilerinin önemi daha büyüktür. Bu tür bir buharlaşma sonucunda mineraller belli bir sırayla çökelererek ‘evaporit’ adı verilen tortuları oluştururlar. İlk önce kalsiyum ve magnezyum karbonatları olan kalsit, aragonit ve dolomit çökelir. Bunları suyun üçte biri buharlaştığında sülfatlar (alçıtaşı ve anhidrit) izler. Su buharlaşmayı sürdürerek ilk hacminin 1/10’una düştüğünde, kayatuzu (halit) çökelir. Hacim 1/16’ya düşünce de silvit, kainit ve karnalit gibi önemli potasyum tuzları yoğunlaşır. Son olarak da magnezyumklorid (bisçofit) çökelir [32].

5.3. Kimyasal Formüller

Bir mineralin kimyasal formülünden hem bileşimi, hem de yapısı anlaşılabilir. Örneğin saf kükürt, basit kükürt kristalinde 8 atomun birbirine bağlı olduğunu anlatmak amacıyla S₈ formülüyle gösterilir. Özellikle silikatlarda, SiO₄ ve Si₂O₇ gibi bazı yapılar çok sık görülür.

Mineraller, yapısal formüllerine göre sistemli bir biçimde sınıflandırılabilirler. Günümüzde, James Dwight Dana’nın (1813-95) 19. yy’de geliştirdiği sisteme dayanan bir sınıflandırma uygulanmaktadır. Bu sisteme göre temel ayrım silikat olmayan minerallerle silikatlar arasındadır. İlk grup kendi içinde elementlere, sülfütlere, halitlere, oksitlere, karbonatlara, sülfatlara ve fosfatlara ayrılır. İkinci grup da siklo-, ino-, fillo- ve tektosilikatlar vardır [32].

5.4. Mineral Çeşitleri

Mineraller genellikle inorganik prosesler sonucunda şekillenen; düzenli bir atom dizilişine sahip ve sabit olmayan kimyasal kompozisyonu olan doğal olarak meydana gelen katı maddelerdir [35,36].

Mineral, doğada homojen halde bulunan belli bir kristal formülü olan ve çoğunlukla bir, ender olarak ta iki kristallik sistemi olan; bazen de herhangi kristal sistemi olmayan inorganik bileşiklerin ortak adıdır. Mineraller doğal elementler, sülfidler, sülfatlar, halitler, oksitler ve hidroksitler, arsenatlar, nitratlar, karbonatlar, silikatlar, boratlar, fosfatlar ve vanadatlar olmak üzere birçok gruba ayrılır[5,35]. Belli bir kristallik sistemi olmayan minerallere amorf denir[34,35].

TL ve CL gibi lüminesans teknikleri, özellikle ev sahibi örgüde az miktardaki safsızlıklardan kaynaklanan kusur türlerini ve konsantrasyonlarını, minerallerin karakterizasyonunu incelemek için kullanılır[35,37].

5.5. Minerallerin Fiziksel Özellikleri

Fiziksel özellikler minerallerin kimyasal bileşimleri ve yapılarından kaynaklanırlar. Bunlardan X-ışınları ve optik özelliklerinin değerlendirilmesi, özel inceleme yöntemleri ve genellikle numune hazırlanmasını gerektirir[38].

Minerallerin fiziksel özellikleri, vektörel (yöne bağlı) ve skaler (yöne bağlı olmayan) özellikler olarak ikiye ayrılır.

a)Skaler özellikler: Özgül ağırlık gibi yönlere bağlı olmayan, her yönde aynı olan özelliklerdir. Fiziksel özellikleri yönlere göre değişmeyen minerallere ‘izotrop mineraller’ denir.

b)Vektörel özellikler: Sertlik, dilinim gibi minerallerin yönlere bağlı olan değişen özellikleridir. Özellikleri yönlere göre değişen minerallere ‘ anizotropik mineraller’ denir[5,17].

5.5.1. Esneklik

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

Aniden esneklik sınırını geçerek kırılan minerallere ise kolay kırılan mineral denir. Örneğin Kuvars [22].

Bir başka tanımla bir mineralin, kırılma, öğütülme, bükülme veya yırtılmaya karşı gösterdiği dirence esneklik denir. Esnekliği tanımlamak için aşağıdaki terimler kullanılır.

1. Gevrek: Kolayca kırılan ve toz haline gelen mineral. Başlıca iyonik bağlı mineraller için karakteristik bir özelliktir.
2. Dövülebilme: Bir mineralin çekiçe dövülerek levha haline gelebilmesi.
3. Çekilebilme: Bir mineralin tel haline çekilebilmesi.
4. Kesilebilme: Bir mineralin bıçakla yonga çıkartılarak kesilebilmesi.

2, 3 ve 4 maddelerde tanımlanan özellikler, metalik bağlantılı minerallerde görülür.

5. Bükülebilme: Kuvvet kaldırıldıktan sonra eski haline dönemeyecek tarzda bükülme veya eğilme. Klorit ve talkın dilinim katmanları bükülebilir ancak büküldükten sonra eski haline dönmezler. Meydana gelen deformasyon kalıcıdır.

6. Elastiklik: Kuvvet kaldırıldıktan sonra eski haline gelebilen bükülme veya eğilme yeteneği. Mikalar bu tarzda elastiklik gösterirler[38].



Şekil 5.1. Mika [22]

5.5.2. Sertlik

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 minerallerinde sertlik çok değişkendir (talk: 1, kuvars: 7, topaz: 8...). Öyleyse bu çeşitlilik Si ve O arasındaki bağların değil, mineral yapısındaki diğer bağların bir fonksiyonudur. Bir mineralin sertlik derecesi, bir başka mineral ile çizilip çizilmediğine bakılarak, mukayese ile anlaşılır [22].

Diğer fiziksel özellikler gibi sertlik de mineralin kristal yapısıyla ilgilidir. Plastiklik gösteren metalik bağlı kristallerde çizilme, bir oyuk meydana getirir. Ancak iyonik ve kovalent bağlı gevrek mineraller mikro boyutta kırılarak çizilmeye tepki verirler.

1824 yılında Avusturyalı mineralog F. Mohs, doğada en çok bulunan mineraller arasında on tane mineral seçmiştir. Bu minerallerle karşılaştırma yaparak herhangi bir mineralin göreceli sertliği kolayca saptanabilir. Artan sertliğe göre sıralanmış olan aşağıdaki bu on mineral, *Mohs Cetveli (skalası)* olarak da adlandırılan *sertlik cetvelini* meydana getirirler [38].

Mohs'un sertlik cetveli,

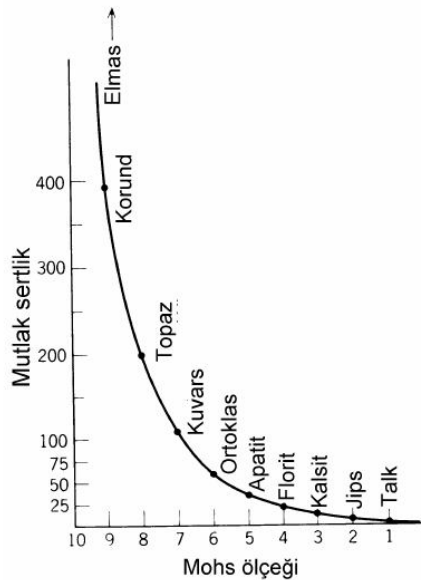
- 1. Talk: Tırnak ile çizilir
- 2 . Jips: Tırnak ile çizilir
- 3. Kalsit: Çakı ile çizilir
- 4. Florit: Çakı ile çizilir
- 5 . Apatit: Çakı ile çizilir
- 6 . Ortoklas: Camı çizer-çelik ile çizilir
- 7 . Kuvars: Camı-çeliği çizer
- 8 . Topaz: Camı keser
- 9 . Korund: Camı keser
- 10. Elmas: Herşeyi çizer.

Bu cetvelde en sert mineral elmas, en yumuşak mineral ise talk'tır. Bunlardan her biri kendinden öncekini çizerek, sonraki tarafından ise çizilir. Diğer minerallerin sertliği bu cetvele göre belirlenir [22].

Yukarıda verilen değerler bu minerallerin göreceli sertlik dereceleri'dir. Aynı minerallerin mutlak sertlikleri göreceli sertliklerinden daha farklı olup aletsel yöntemlerle ölçülürler. Mohs cetvelindeki minerallerin bağıl ve mutlak sertlikleri Şekil 5.2' de verilmektedir. Burada, Mohs Cetvelindeki bağıl sertlik konumlarını korumakla birlikte minerallerin mutlak sertliklerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Örneğin, korund'un mutlak sertliği topazdan iki kat, kuvarstan ise dört kat daha fazladır.

Mohs Cetvelinden yararlanarak bir mineralin sertliğini bulmak için, bu mineralin cetveldeki minerallerden hangisini çizdiğini, hangisini de çizemediğini ortaya koymak gerekir. Bunu yaparken aşağıdaki durumlar da göz önünde alınmalıdır.

Bazen bir mineral daha yumuşak olabilir ve diğerinin üzerine kendi kırıntılarını bırakabilir. Bu da mineralin sertliği hakkında yanılmaya sebep olabilir. Böyle bir iz kolayca silinebilir fakat gerçek bir çizik kalıcıdır. Bozuşma ile bazı minerallerin yüzeyleri daha az sert olan bir malzemeye değişmiş olabilir. Bu nedenle sertlik testini numunenin taze bir yüzeyinde yapmak gerekir.



Şekil 5.2. Mohs göreceli sertlik değerleri ile mutlak sertlik değerlerinin karşılaştırılması [38] .

Bir mineralin fiziksel durumu, sertliğin doğru olarak tayin edilmesini önleyebilir. Örneğin bir mineral toz halinde, taneli veya kıymıklı olursa, kendisinden daha az sert olan bir mineral tarafından çizilebilir. Bunun için sertlik testinin doğru olup olmadığını denetlemek için yöntemi terslemek gerekir. Yani hem *A* mineralini *B* ile, hem de *B* mineralini *A* minerali ile çizerek sertlik denetlenmelidir.

Mohs Cetvelindeki minerallerden başka tımak, bakır para, cep çakısı ve cam da sertliğin tayini hakkında bilgi verirler. Tımağın sertliği 2'nin biraz üzerindedir. Bakır paranın sertliği yaklaşık olarak 3, cep çakısının 5'in biraz üzerinde ve pencere camının ise 5½'tur. Atomları birbirine bağlayan güçler yönler bağli olarak değışebilirler. Bu nedenle sertlik vektöryel bir özellik olup kristaller değışik yönlerde farklı sertlik gösterirler. Birçok mineralde yönler arasındaki sertlik farkı çok az olup, bu farklılık ancak özel yöntemlerle saptanabilir.

Sertlikleri değışik yönlerde belirgin ölçüde farklılık gösteren iki mineral kalsit ve kyanittir. Kyanitin sertliği uzunluğu boyunca 5, buna dik yönde ise 7'dir. Kalsitin sertliği tüm yüzeylerde 3, {0001} yüzeyinde ise 2'dir ve bu yüzeyi tırnakla çizilebilir[38] .

5.5.3. Dilinim, Yarılma Ve Kırılma

Bir maddeye etki eden kuvvetler dilinim, yarılma veya kırılma meydana getirebilirler. Kristalen maddenin dayanımı; bağ türleri, bunların düzenlenme tarzları ve yapısal kusurların varlığına bağlıdır. Mineralin uygulanan kuvvete karşı gösterdiği tepkide bağ türleri büyük bir önem taşır. Ayrıca, bir mineralin belirli düzlemlerinde veya yönlerinde yapısal kusurlar varsa, bu yönler boyunca daha kolay deformasyona uğrar. Meydana gelen gerilim mineralin direnç sınırını aşarsa kırılma meydana gelir. Minerallerin çoğunun yapısında diğer yönlerden daha zayıf olan ve sistematik olarak yer alan düzlemsel yönler vardır. Bunun nedeni, kristalin belirli yönlerinde, diğer yönlerine oranla daha az sayıda veya daha zayıf bağların olmasıdır [38] .

a) Dilinim

Minerallerin atomik düzlemlerine paralel olarak gösterdikleri düz yüzeyli levhalara ayrılma eğilimine dilinim denir. Kristalin iç yapısına bağlı olup sadece atomik düzlemlere paralel olarak meydana gelir.

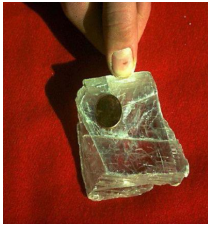
Dilinim, bir grup paralel atomik düzlem arasında bulunan zayıf bağlardan, daha büyük kafes mesafesinden veya her ikisinin varlığından kaynaklanabilir. Dilinim, bazı minerallerde tek yönde olabildiği gibi (mikalar), iki yönde (ortoklas) veya üç yönde de (galenit) olabilir. Bazı minerallerin ise dilinimi yoktur (kuvars)[38] .

Dilinim bazı minerallerde belirgin bazılarında belirsizdir Bazı mineraller birden fazla dilinime sahip olabilir. Dilinim üç türe ayrılır;

Tek yönlü dilinim(mika)

İki yönlü dilinim (Selenit, Bir jips minerali çeşidi, iki yönde gelişmiş dilinimdir

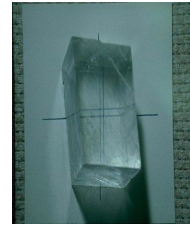
Üç yönlü dilinim (Halit kaya tuzu birbirine dik üç dilinime sahiptir. Kalsit; birbirine dik olmayan üç dilinime sahiptir.) [22] .



SELENİT



HALİT(KAYATUZU)



KALSİT

Şekil 5.3. Dilinim türleri [22] .

b) Kırılma

Bazı minerallerde içyapıyı oluşturan bağların dayanıklılığı her yönde aynıdır; bu nedenle kırılma belli bir kristalografik yönü izlemez. Bir mineralin dilinim ve yarıma yüzeyleri dışında kalan yüzeyler boyunca ayrılmasına kırılma denir. Kırılma, mineraller için önemli ölçüde tanıtıcı olan bir özelliktir.

Mineraldeki klivaj veya ayrılma yüzeyleri gibi süreksizliklere bağlı olmayan bu tür kırılmanın farklı çeşitleri vardır. Farklı kırılma çeşitleri aşağıda verilmektedir.

Konkoidal (midye kabuğu biçimli): Kırık yüzeyi bir midye kabuğunun içini andıran düz, kavisli bir yüzeydir. Tipik olarak cam ve kuarsta görülür.

İğsi (Fibrous and splintery): İnce uzun parçalara ayıran türde kırılmалardır.

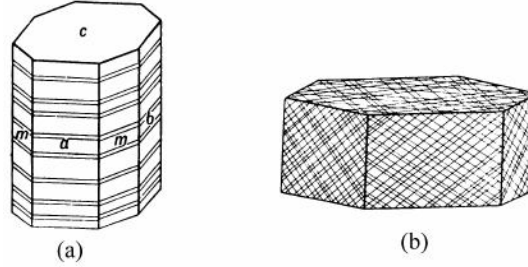
Testere dişi şeklinde (Hackly) Düzensiz (Uneven or irregular): Düzensiz yüzeyler oluşturan kırılmалardır.

Klivaj; Minerallerin içyapılarında 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) [22,38] .

c) Yarıma

Minerallerde zayıf yapısal düzlemler boyunca görülen ayrılmaya yarıma denir. Bu zayıflıklar; basınç, ikizlenme veya eksolüsyonun sonucu olarak meydana gelebilirler ve kristalografik düzlemlere paralel olmaları nedeniyle dilinimi andırırlar. Ancak dilinimden farklı olarak yarıma her numunede görülmez. Sadece ikizlenmiş veya basınçlardan etkilenmiş minerallerde izlenir. Bu minerallerde bile, belirli yönlerde az sayıda yarıma düzlemi bulunur. Örneğin, ikizler; yapışma düzlemi boyunca yarıma, bu düzlemlerin dışında ise düzensiz kırılma gösterirler. Bilinen başlıca yarıma örnekleri,

magnetitin oktaedral yarılmaları, piroksenlerin bazal yarılmaları ve korundun romboedral yarılmalarıdır (Şekil 5.4.) [38] .



Şekil 5.4. (a) Bazal yarılmaya (piroksen). (b) Romboedral yarılmaya (korund) [38] .

5.5.4.Özgül Ağırlık

Bir cismin belli bir hacimdeki ağırlığının, 4⁰ C sıcaklıkta aynı hacimdeki suyun ağırlığına olan oranına özgül ağırlık denir. Özgül ağırlık sadece rakamla, yoğunluk ise gr/cm³ gibi bir birimle gösterilir.

Bir kristalen maddenin özgül ağırlığı (Ö.A.), kendisini meydana getiren atomların türüne ve atomların paketlenme tarzına bağlıdır. Aynı kristal iç yapısına sahip minerallerden “atom ağırlıkları” daha yüksek olan atomlardan meydana gelenlerin özgül ağırlıkları daha büyüktür (Tablo 5.1).

Tablo 5.1. Rombusal karbonatlarda, katyonların atom ağırlığı ile birlikte özgül ağırlıkların artışı.

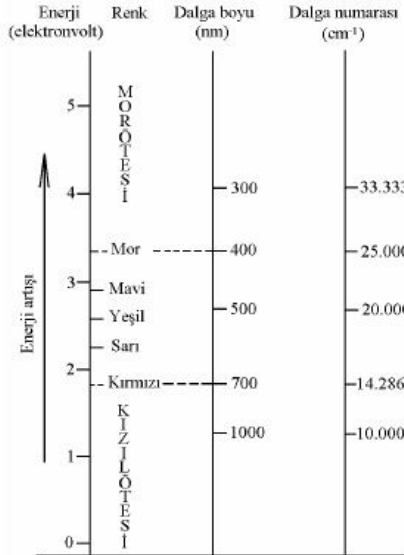
Mineral	Bileşim	Katyonların atom ağı.	Ö.A.
Aragonit	CaCO ₃	40.08	2.94
Stronsiyanit	SrCO ₃	87.62	3.78
Viterit	BaCO ₃	137.34	4.31
Serüzit	PbCO ₃	207.19	6.58

Atomların paketlenme tarzının özgül ağırlığa olan etkisi, polimorfik bileşiklerde açıkça görülür. Bu bileşiklerin kimyasal bileşimleri aynı fakat atomlarının paketlenme tarzları farklıdır. Buna tipik bir örnek, ikisi de karbon bileşimli olan elmas ve grafit'tir. Bu minerallerden elmasta karbon atomları yakın paketlenmiş olup özgül ağırlık 3.5'tir. Grafitin ise karbon atom katmanları gevşek paketlenmiştir ve özgül ağırlığı 2.23'tür [38] .

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. Örn. Barit 4,5 olan özgül ağırlığı ile kendisine benzeyen kuvars ve kalsitten ayırt edilir[22] .

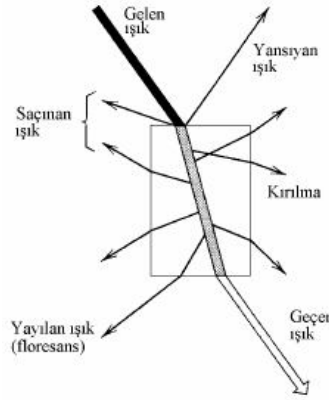
5.5.5.Renk

Renk, minerallerin fiziksel özellikleri arasında ilk başta ve en kolay gözlenen özelliğidir. Ayrıca birçok mineral için karakteristik bir özellik olup minerali tanıtan kriterlerden biridir. Birçok mineralin rengi değişik olabilmektedir.



Şekil 5.5. Renklerin üç farklı birimle gösterildiği spektrum.

Renk, gözümüzün elektromagnetik spektrumdan “görünen ışığı” görebilmesi ile ilgilidir. Görünen ışık, bu spektrumun yaklaşık olarak 350 – 750 nanometre (1 nm = 10 angström) aralığındaki dalga boylarını kapsar (Şekil 5.5.).



Şekil 5.6. Işığın yoğun bir madde ile etkileşmesi sonucunda meydana gelen yansıma, kırılma, yayılma ve emilme (absorbsiyon). Emilen ışığın bir kısmı floresans olarak yeniden yayılabilir.

Beyaz ışık bir mineralin yüzeyine çarptığı zaman; mineralden geçer, saçılır, yansır, kırılır veya mineral tarafından emilir (Şekil 5.6.). Işığın kısmen saçılması ve yansıması, mineralde *cila* özelliği olarak algılanır. Geçen ışık mineral tarafından emilmezse (absorbsiyon) bu mineral yansıyan veya geçen ışıktaki renksiz görünür.

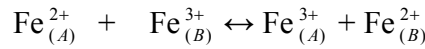
Mineralden geçen ışığın belirli dalgaboyları emilebilir. Geriye kalan ve mineralden geçip göze ulaşan dalgaboylarındaki ışınların kombinasyonu bir renk olarak algılanır. Örneğin beril; bileşimindeki Fe^{3+} ve Cr^{3+} gibi kromofor (renk meydana getirici) geçiş elementleri, H_2O ile CO_2 gibi moleküllerin varlığı ve kristal kafesindeki titreşimlerin neden olduğu absorpsiyonların sonucunda renkli görünür.

Bir atomda farklı kabuklarda ve yörüngelerde bulunan elektronların, birbirinden farklı ve belirli enerji seviyeleri vardır. Elektromagnetik bir ışın bir malzeme ile etkileşince, dalga boyları elektron seviyeleri arasındaki enerji farkına eşit olan ışınlar emilir ve bu elektronlar bir seviyeden başka bir seviyeye sıçrarlar. Renkli minerallerde belirli elektron seviyeleri arasındaki enerji farkı, görünen ışığın dalga boyları aralığındandır. Bu nedenle beyaz bir ışık minerale çarptığı zaman belirli dalga boyları emilir (yani spektrumdan çıkar), bu da elektronların bu seviyeler arasında sıçramasına neden olur. Elektronlarla ilgili olan ve minerallerin renkli görünmesine neden olan

başlıca olaylar; kristal alan geçişleri, moleküler yörünge geçişleri ve renk merkezleri olarak sınıflandırılırlar.

Kristal alan geçişleri, “geçiş elementlerinde” kısmen dolu olan 3d yörüngeleri arasındaki elektron geçişleridir. Bu geçişler genellikle; Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni ve Cu gibi geçiş elementlerinin bulunduğu minerallerde meydana gelirler. Bu elementlerde kısmen dolu olan 3d yörüngeleri görünen ışığın enerjisiyle kolayca uyarılabilirler. Bu tarzdaki elektron geçişleri renk oluşmasının esasını meydana getirirler.

Moleküler yörünge geçişleri, bitişik iyonlar arasındaki valans elektronların ileri geri geçişleri ile meydana gelirler. Bitişik iyonlar tarafından ortak olarak kullanılan bu elektronlar molekülün ortak yörüngesine aittirler. Bunlar, molekülü meydana getiren atomlardan herhangi birinin valans elektronu konumundan çıkmış haldedirler. Moleküler yörünge geçiş örneklerine birçok mineralde rastlanabilmektedir. Örneğin $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ yük transfer geçişinde, *A* konumundaki Fe^{2+} ’den *B* konumundaki Fe^{3+} ’e bir elektron geçer. Böylece



eşitliğine göre *A* konumunda Fe^{3+} , *B* konumunda ise Fe^{2+} meydana gelir.

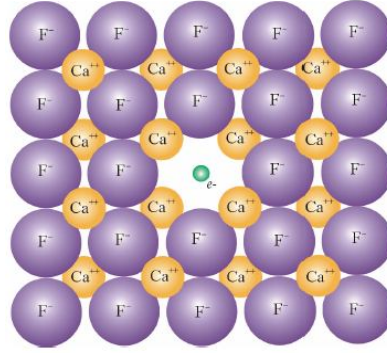
Terslenebilen bu elektron sıçrama hareketlerinin enerjisi genellikle görünen ışığın dalga boylarındadır. Birçok mineralde görülen kuvvetli mavi renk bu geçişlerle ilgilidir. Örneğin, glokofan (mavi amfibol), disten (genellikle mavi) ve safir (korundun mavi renkli mücevher türü) bu duruma ait örneklerdir.

Renk, mineral yapısındaki kusurların bir sonucu olabilir. Bazı yapısal kusurlarda hapsedilen ve herhangi bir birey atoma bağlı olmayan bir elektron, renk meydana getirebilir. Bunun yanında bir elektronun eksik olması, yani bir deliğin varlığı da aynı etkiyi yapar. Bu tipteki yapısal özelliklere renk merkezleri denir.

Lacivert renkli floritin (CaF_2) rengi, yapısındaki kusurlardan kaynaklanır. Şekil 5.7’de, yapısında bir F^- iyonu eksik olan floritin yapısı görülmektedir. F^- iyonları ağında meydana gelen bu kusurlar;

- 1) F^- iyonunu yerinden söküp yapıdaki başka bir konuma yerleştiren yüksek enerjili radyasyon (X-ışınları),
- 2) Floritin aşırı miktarda Ca’un bulunduğu bir kimyasal ortamda büyümesi,

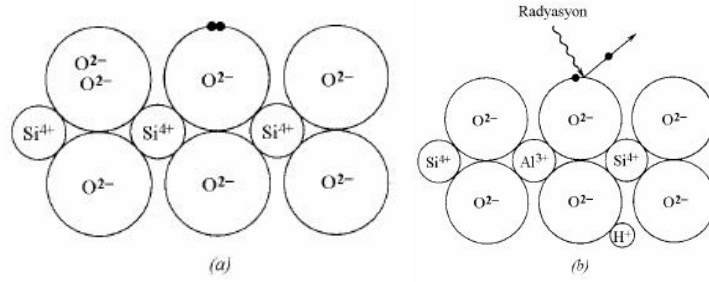
3) Bir elektriksel alan etkisiyle bazı F^- iyonların kristalden çıkartılması gibi sebeplerden kaynaklanır. Ancak yapının nötr kalması gerektiğinden, boş kalan yerde genellikle bir elektron bulunur ve Şekil 5.7’de görülen bir “elektron renk merkezi” meydana gelir. Bu elektron, çevresindeki herhangi bir çekirdeğe bağlı değildir. Elektronun komşu iyonların yörüngeleri arasındaki hareketi, renklenme ve optik floresans meydana getirir.



Şekil 5. 7. Florit (CaF_2) yapısının şematik görünüşü. Yapıdan çıkan bir F iyonunun yerini bir elektronun almasıyla renk merkezi meydana gelir.

Bazı kuvars kristallerinde görülen duman rengi bir “delik renk merkezi” ile ilgilidir. Bu kuvarslarda bir miktar Al^{3+} , Si^{4+} ’un yerini almıştır. Elektriksel nötralizasyonu sağlamak için, kafes içinde bazı Na^+ veya H^+ iyonları da bu yer almaya eşlik ederler. Tetraedral konumdaki Si’un yerine Al’un yer aldığı bu kuvarslar, birkaç dakika şiddetli X-ışınları, gama ışınları veya uzun jeolojik dönemler boyunca düşük dereceli radyasyon etkisi altında kalırlarsa “delik renk merkezleri” meydana gelir. Radyasyon, Al^{3+} iyonuna bitişik olan oksijen atomunun ait elektron çiftinden bir elektronu çıkartır ve yörüngede tek bir elektron kalır (Şekil 5.8.). Eksik elektrona delik denir. Geride kalan elektron da florit örneğinde olduğu gibi komşu yörüngelere sıçramalar yapar.

Bir mineralde renklenme meydana getiren bir başka sebep de minerale mekanik olarak karışan safsızlıklardır. Bu safsızlıklar, aslında renksiz olan bir minerale çeşitli renkler kazandırabilirler. Örneğin, içinde çok ince ve saçılmış durumda klorit içeren kuvars yeşil renkli, mangan oksit veya karbonun varlığı nedeniyle kalsit siyah renkli olabilir. Hematit en yaygın renk verici bir safsızlık olup birçok minerale kırmızı renk verir[38].



Şekil 5.8. Kuvars yapısının şematik görünüşü. (a) Saf SiO_2 'nin normal yapısı. (b) Yapısında Si^{4+} 'un yerine Al^{3+} ve H^+ iyon çiftinin yer aldığı dumanlı kuvarsta radyasyon etkisiyle O^{2-} 'deki elektron çiftinden bir elektronun çıkartılması ve renk merkezinin meydana gelmesi[38].

Mineraller, renk özellikleri dikkate alındığında 3 gruba ayrılırlar:

a)Renksiz Mineraller:

Gelen ışığın dalga boyu ile soğrulan ışığın dalga boyu aynı ise; başka bir deyişle, mineral üzerine gelen ışığın tamamı mineral tarafından soğruluyorsa bu mineral renksiz görünür. Renksiz mineraller şeffaf olurlar. Bu tip minerallere örnek olarak; kayatuzu, kalsit, barit, elmas verilebilir.

b)Renkli Mineraller:

Mineral üzerine gelen ışıkla, soğrulan ışık eşit miktarda olmazsa yani ışığın bir kısmı mineral yüzeyinden yansiyarak göze gelirse, mineral kendine özgü rengini verir. Mineral renkleri, mineralin kendi maddesine veya kimyasal yapısına bağlı olduğundan önemli bir özelliktir. Örneğin; kükürt sarı, zinober kırmızı, malakit yeşil, magnetit ise siyahtır. Renkli mineraller ışığı farklı yönlerde, farklı olarak emiyorsa 'pleokroizma'' denilen çok renklilik ortaya çıkar. Bu optik özellikleri bakımından anizotrop olan renkli veya renklenen mineraller için geçerlidir.



Şekil 5.9. Farklı Mineral Renkleri[22].

c)Renklenen Mineraller:

Mineral bünyesinde bünyesine, renk veren yabancı maddenin (pigment) veya izomorf bir cismin karışması nedeniyle, karakteristik renginden farklı renk gösteren minerallere “renklenen mineraller” denir. Örneğin; saf sfalerit (ZnS) beyaz renklidir. Ancak izomorf Fes etkisi ile koyu renk alır. Renksiz olan kuvars beyaz görülünce “süt kuvars”, mor renkli görüldüğünde ise “ametist” adını alır [5,17].

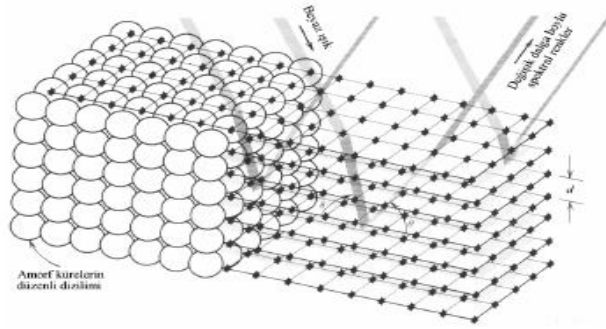
Çizgi rengi: Çok ince toz haline gelmiş bir mineralin gösterdiği renge çizgi rengi denir. Bir mineral değişik renklerde olabilirse de çizgi rengi genellikle sabittir ve mineralin tayini için önemli bir özelliktir. Çizgi rengi, minerali sırlanmamış beyaz bir porselene sürtmekle tayin edilir [38]. Mineral, 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 [22]. Porselen bir levhanın sertliği yaklaşık 7 olup bundan daha sert olan minerallerin çizgi rengi için kullanılmaz [38].

Renk ışığın bazı dalga boylarını yansıtma ve absorbe etme özelliğinden kaynaklanır. Önemli bir ayraç değildir, fakat bazı minerallerin karakteristik bir rengi vardır Örneğin: Kükürt- sarı, Klorit- yeşil, Labrador mineralinin ise ışığa göre rengi değişir Diğer minerallerin renkleri ise kimyasal farklılığa veya mineral içindeki diğer elementlere bağlı olarak değişir [22].

5.5.6. Renk Oyunu

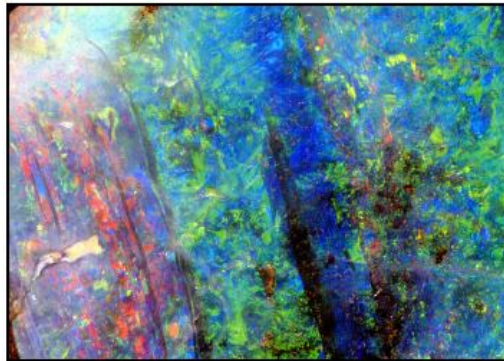
Işık bir mineralin yüzeyinde veya içinde girişim yaparsa, gelen ışığın açısına bağlı olarak bir seri renk meydana gelir. Has opalde olduğu gibi, beyaz veya koyu renkli bir zemin üzerinde meydana gelen çeşitli renklerin çarpıcı parlaltısına renk oyunu denir.

Elektron mikroskobu incelemeleri ile elde edilen bulgulara göre renk oyunu, has opalde eşit büyüklükte olan kürelerin üç boyutlu düzenli dizilimi ile ilgilidir (Şekil 5.10.). Küreler, amorf SiO_2 'ten meydana gelmiş olup az miktarda su içerirler. SiO_2 kürelerinin arasında çimento olarak, farklı miktarda su içeren amorf silis yer alır.



Şekil 5.10. Has opalde düzenli bir dizilim ve yakın paketlenme gösteren opal küreciklerinden meydana gelen düzlemlerde ışığın difraksiyonuyla spektral renklerin meydana gelmesi. Düzlemler arasındaki mesafe d ile gösterilmektedir.

Has opalde aynı tarzda paketlenen kürelerin meydana getirdiği düzenli kesimler, 1 mm'nin altından başlayıp 1 cm'yi aşkın büyüklüklere ulaşır (Şekil 5.11) [38].



Şekil 5.11. Has opal [38].

5.5.7. Cila

Bir mineralin yüzeyinin, yansıyan ışıktaki genel görünüşüne cila denir. Cila, metalik cila ve metalik olmayan cila olmak üzere iki tiptedir. Aralarında keskin bir sınır olmadığı için zaman zaman yarı metalik cila terimi de kullanılır.

Metal cilalı terimi, bir metalin parlak görünüşünü gösteren mineraller için kullanılır. Bu minerallerin ışığı geçirmeme özellikleri çok yüksek olup çizgi renkleri koyudur (galenit, pirit ve kalkopirit gibi).

Metalik olmayan cilalı mineraller, genellikle açık renkli olup ışığı en azından ince kenarlarından geçirirler. Bu mineraller renksiz veya çok açık çizgi renklidir.



Metalik olmayan mineral



Metalik mineral

Şekil 5.12 Metalik ve metalik olmayan mineraller [22].

Mineral cilası, kristal yüzeyinde görülen parlaktır. Bir mineralin parlaklığı genellikle rengine bağlı değildir. Parlaklık daha çok mineralin yüzeyinden yansıyan ışınların kalite ve miktarına göre değişir. Parlaklığın şiddeti mineralin saydamlık ve yansıtma derecesine ve kristal yapısına bağlıdır. Diğer bir deyişle kristal yüzeylerinin veya dilinim düzlemlerinin düzgünlüğü ve pürüzsüz olması parlaklığı etkilemektedir.

Minerallerde en çok görülen cila tipleri şunlardır:

- 1. Metalik cila:** Galen, pirit, kalkopirit,
- 2. Elmas cilalı:** Elmas, korund, Elmas gibi müstesna parlaklıktaki cila, mineralin olağanüstü yüksek kırılma indisi ile ilgilidir. Örneğin, serüzit ve anglezit gibi bileşimlerinde kurşun içeren saydam mineraller de elmas cilalıdır.
- 3. Cam cilalı:** Camın gösterdiği cila. Örneğin, kuvars, turmalin, topaz, barit, fluorit,.
- 4. Reçine cilalı:** Reçine gibi cila gösterenler. Örneğin, sfalerit ve kükürt.

5. Sedef cilalı: Sedefe benzer cilalı. Bu tarzdaki cila, dilinim yüzeylerinde görülür. Örneğin, apofillit'in bazal düzlemi ve talk'ın dilinim yüzeyi.

6. İpek cilalı: İpeğe benzer. Işığın ince lifsel ve paralel agregatlardan yansımalarının bir sonucudur. Örneğin, lifsel jips, malakit, krizotil, silisleşmiş krosidolit olan "kaplangöz", asbest.

7. Yağ cilalı: Yüzey, ince bir yağ katmanı ile kaplanmış gibi görünür. Bu tarzdaki cila mikroskopik boyutta pürüklü olan yüzeylerden ışığın saçılması sonucunda meydana gelir. Örneğin, nefelin, bazı sfalerit türleri, kuvars, kükürt, kasiterit, zirkon, kordierit [5,38].

5.5.8. Saydamlık

Saydamlık, bazı minerallerin ışığı geçirme özelliğini belirtir. Işığı geçirme dereceleri aşağıdaki terimlerle ifade edilir.

Saydam: Bir mineralden bakıldığında, altındaki nesnenin biçim ve sınırları görülebiliyorsa buna saydam mineral denir.

Bulanık (yarı saydam): Bir mineral yukarıda tanımlandığı gibi saydam olmaz fakat sadece ışığı geçirirse buna bulanık veya yarı saydam mineral denir.

Opak: En ince kenarlarından bile ışığı geçirmeyen mineraller için opak mineral terimi kullanılır [38].

5.5.9. Işık Yayma Özellikleri

a) Lüminesans

Bir mineralin, akkor hali ile doğrudan ilgili olmaksızın yaydığı her hangi bir ışığa *lüminesans* denir. Bu durum, aktivatör denen safsızlıkları içeren minerallerde sıkça gözlenir ve çeşitli tarzlarda oluşabilir. Lüminesans, çoğunlukla zayıftır ve sadece karanlıkta görülür.

b) Floresans Ve Fosforesans

Ultraviyole ışığı, X-ışınları veya katot ışınları altında tutulan bir mineralin ışık yaymasına *floresans* denir. Işık yayma, uyarıcı etki yapan ışınların kesilmesinden sonra da devam ederse buna *fosforesans* adı verilir.

Floresansın sebebi renk oluşturan sebeplere benzer. Geçiş elementlerinin iyonları floresansta da etkin aktivatör rolündedirler. Kısa dalga boylu radyasyon ile uyarılan elektronlar, daha yüksek enerji seviyelerine sıçrarlar. Bu elektronlar ilk konumlarına dönerken aynı dalga boyunda bir “görünen ışık” yayarlar. Uyarılan bu elektronlar, uyarılma durumu ile ilk durumları arasındaki bir ara konuma da düşebilirler. Bu durumda bir foton veya daha düşük enerjili bir ışık yayarlar. Fosforesans’ta ise uyarılan elektronların daha yüksek bir enerji seviyesine yükselmeleri ile başlangıç durumlarına dönmeleri arasında bir oyalanma süresi vardır.

Minerallerin, belirli dalga boylarındaki ultraviyole ışınlarını emme yetenekleri farklıdır. Bazıları sadece kısa, bazıları sadece uzun, bazıları da hem uzun hem de kısa dalga boylarındaki ultraviyole ışınlarının etkisinde floresans gösterirler. Yayılan floresan ışığının rengi, büyük ölçüde ultraviyole ışığın dalga boyuna veya ışık kaynağına bağlıdır. Sentetik fosforun elde edilmesiyle floresans, floresant lamba, boya, elbise ve bantlarda yararlanılan olağan bir özellik haline gelmiştir. Minerallerin floresans özelliği, pratikte cevher arama ve hazırlamada da uygulama alanı bulmaktadır.

Taşınabilir bir ultraviyole lamba ile geceleyin mostralarda ve yeraltı işletmesinde örneğin, floresant özelliği olan şeelit minerali izlenebilir ve miktarı tahmin edilebilir.

c)Termolüminesans

Akkor halinden daha düşük sıcaklıklarda ısıtılan bir maddenin görünen ışık yaymasına *termolüminesans* denir. Bu özellik en iyi, safsızlık (impürite) olarak aktivatör içeren minerallerde görülür. Termolüminesant bir mineral 50-100⁰ C arasında ısıtılırsa, başlangıçta genellikle zayıf bir ışık yayar ve bu ışık genellikle 475⁰ C üzerinde kesilir.

Bu özellik genellikle kalsit, apatit, skapolit, lepidolit ve bazı feldspat minerallerinde görülür.

d)Tribolüminesans

Öğütülen, çizilen veya ovulan bir mineralin ılık yayma özelliğine *tribolüminesans* denir. Bu özelliği gösteren minerallerin çoğu “metal olmayan mineraller” olup iyi dilinim gösterirler. Tribolüminesans gösteren minerallere örnek olarak florit, sfalerit ve lepidolit mineralleri gösterilebilir [38].

6.KUVARS



Şekil 6.1. Şeffaf kuvars kristali [35].

Silisyumdioksit formüllü ve trigonal sisteme bağlı saydam bir süstaşıdır; ancak bazı türleri fazlaca radyasyona maruz kaldığından saydamlığını yitirmiştir (örn: dumanlı kuvars). İçindeki yabancı maddelerin cins ve miktarına göre, saydam, renkli ya da yarı saydam durumdadır. Magmatik, metamorfik ve tortul kökenli yataklarda bulunur. Dünya genelinde yaygın bir ağa sahiptir. Kuvars'ın, Kaya kristali, Ametist, Dumanlı Kuvars, Sitrin, Pembe Kuvars, Mavi Kuvars, Kedigözü Kuvars, Kaplangözü Kuvars, Avantürün, Rutilli Kuvars gibi birçok çeşidi bulunmaktadır [35, 39].



Şekil 6.2. Dumanlı Kuvars [35].

Özgül ağırlığı $2,65 \text{ g/cm}^3$, sertliği 7 olan kuvarsa doğada çok rastlanır. Heksagonal sistemde kristalleşen kuvars, doğada kristal ya da amorf halde bulunabilir. İçindeki yabancı maddelerin cins ve miktarına göre, saydam, renkli, ya da yarı saydam durumdadır. Kumlarda bolca bulunan kuvarsin saf olmayanları içinde demir vardır. Beyaz kum olarak bilinen oldukça saf kuvarslar camcılıkta kullanılır. Kuvars kristali mor-ötesi ve kızılaltı ışınımına saydamdır; bu yüzden morötesi lambaların yapımında kullanılır. Piezoelektrik özelliğinden dolayı elektronik sanayinde osilatör olarak kullanılır. Eritilen kuvarstan, ısınınca genleşme oranı çok düşük olan bir cam elde edilir.

Ani sıcaklık değişikliklerinden etkilenmesi istenmeyen malzemelerin yapımında da kuvarstan yararlanılır [5, 40, 41].

Kuvars çevresel dozimetre olarak kullanılabilecek mükemmel bir kristaldir, çünkü hem doğada kolayca bulunabilir hem de yapısı uzun süre yük tuzaklamaya ve depolamaya uygundur. Ayrıca radyasyon dozimetresi olarak kullanılarak radyasyon kazalarında alınan doz miktarının belirlenmesinde de önemli rol oynar [4, 35].

Kimyasal Özellikleri	
Formül	SiO ₂
Element	Si, O
Genel safsızlıklar	Fe, Ti, Mn, Al,...
Fiziksel Özellikleri	
Parlaklık	Camsı
Geçirgenlik	Geçirgen
Renk	Renksiz, Mor, Pembe, Siyah, Sarı, Kahverengi, Yeşil, Turuncu,...
Sertlik	7
Kristal Yapısı	
Kristal sistemi	Trigonal
Örgü parametreleri	a = 4.9133 Å, c = 5.4053 Å
Oran	a:c = 1 : 1.1
Birim hücre hacmi	V=113.00 Å ³
Optik Özellikleri	
Türü	Tek eksenli (+)
RI değerleri	n _o = 1.543 - 1.545 n _e = 1.552 - 1.554
Çift kırılım	δ = 0.009 
Yüzey kabarıklığı	Düşük

Tablo 6.1.Kuvarsın Özellikleri [5].

Kuvars'ın kimyasal bileşimi SiO_2 'dir. Kristal sistemi trigonal olup, kristal biçimi altıgen prizmalar şeklinde kristalli, prizma yüzeyleri kristalin uzun kenarlarına dik yönde çiziklidir. Camsı bir parlaklığı vardır. Kristal şekli, camsı görünüşü, sertliği ve konkoidal kırılması ayırıcı özelliğidir [35,42].

Kuvarsın sertliği 7 olduğundan doğal etkenlere karşı dayanıklıdır, zor ayrıştır, dilinimi yoktur, kırılma yüzeyi genellikle midye kabuğu şeklindedir. Kitle halinde iken yağ parlaklığı, kristal halinde cam parlaklığı gösterir. 1700°C derecede ergir [43].

$\alpha - \beta$ geçişi bağ yapısında herhangi bir değişiklik olmaksızın atomik pozisyonlarındaki küçük değişikliklerdir. Bu değişiklik tersinir olup soğuma ile bir önceki atomik yapısını alır.

SiO_2 deki Si-O bağlarının doğası ~40% iyonik ve ~60% kovalent yapı olarak tanımlanır. Kuvarsın sert yapısı kovalent kısmından gelir [44, 45, 46].

Kuvars ince kesitlerde renksiz ve saydamdır. Çok defa düzensiz ince çatlakları vardır. Kırılma indisi zayıf, çift kırması da zayıftır. Optikçe pozitifdir.

Kristal sınırları düzensizdir ve korrozyon gösterir. Bazen ikizleri görülür. Dilinimi yoktur(=Çok zayıf) Tektonik etkenlere karşı çok hassastır. Optik eksenlerin sapması sonucunda aynı tanede çeşitli sönmeler olur ve dalgalı sönmeye gösterir. Gene basınç sonucunda taneler birbiri içine girer ve aynı taneden birçok tanelerin oluşması sonucunda Mörtel dokusu meydana gelir [43].

Kuvars uyarım sistemi ısı ve optik olan lüminesans (TL ve OSL) çalışmalarında kullanılan en önemli yapay ve doğal kristallerden biridir ve aynı zamanda tarihi yapı ve kalıntılarda bulunduğu kalıntının yaş tayininin belirlenmesinde kullanılır. Doğal kuvars mineralleri yer kabuğunda, tarihi kalıntılarda ve meteorlarda yüksek miktarda bulunur. Kuvars zehirli olmayıp, gıda teknolojisinde kullanımı sağlık konusunda zararlı bir etkisi yoktur [44,47].

Kuvars'ın fiziksel özellikleri bilimsel araştırmalardan ticarete kadar birçok alanda kullanılır. Yaş tayini ve dozimetreler buna verilebilecek örneklerden sadece ikisidir. Kuvars teknoloji açısından çok önemli bir materyaldir. Silikon yapılı olduğundan iyi bir yalıtkan olup, optiksel aletlerde kullanılır [44,48]. Bunların yanı sıra

materyal mühendisliği, biyolojik ve kimyasal cihazlarda farklı uygulamalar için iyi bir tabandır [44].

6.1.Kuvarstaki Kusurlar

Kuvars boşluk ve yabancı atomlar içerir ve bunlarda hole ve elektron tuzaklarını oluşturur.

a)E merkezi: Oksijen boşluğu ile ilişkilendirilen E merkezleri kuvarsta en çok bilinen tuzaklardan biridir. Boşluklar dışında kırılan silikon ve oksijen bağları da önemli kusurlar arasındadır. Bunlara iyonlaştırıcı radyasyon neden olur ve E merkezleri gibi hole tuzaklarıdır.

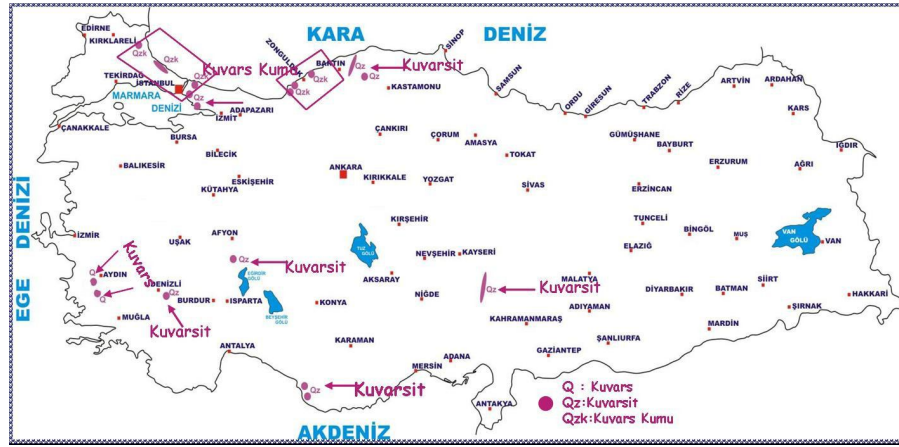
b)Yabancı atomların varlığı: Yabancı atomların SiO_2 ' e eklenmesi yeni soğurma bantlarının oluşmasına sebep olur. Doğal kuvars özellikle aliminyum, germanyum, titanyum ve alkali metaller(lityum, potasyum ve sodyum) gibi çeşitli yabancı atomlar içerir.

Atomik boyut olarak Si^{+4} ' e çok benzeyen Al^{+3} bu atomun yerini alarak kuvarsta en çok bilinen yabancı atomu oluşturur. Al^{+3} atom silikonun yokluğundan dolayı oluşan eksik bir değerlikli pozitif yükün telafisi için tek değerlikli alkalilerle bağ kurar. Bunlar Li^+ veya Na^+ iyonları veya H^+ protonlarıdır.

Germanyum artı dört değerlikli bir atom olup SiO_2 örgüsünde Si atomu ile yer değiştirir. Germanyum yabancı atomu derin ve güçlü bir tuzak olup özellikle alfa-kuvarslarda sık bulunur [44].

6.2. Başlıca Kuvars Türleri

- * Saydam yada renkli dağ kristali (necef taşı)
- * Kahverengi dumanlı kuvars
- * Sarı renkli sitrin
- * Portakal renginde medeira sitrini
- * Yeşil renkli kloritli kuvars
- * Menekşe renkli mor necef (ametist)
- * Kan renginde yemani
- * Pembe kuvars
- * İçinde mika bulunan kırmızı renkli yıldız taşı (avantürin)
- * İçinde tutam halinde rutil iğneleri bulunan venüs saç
- * İçinde amyant lifleri bulunan kedigözü [49].



Şekil 6.3. Kuvarsın Türkiye’deki Dağılımı (Harita MTA’nın web sitesinden alınmıştır.).

6.3.Pembe Kuvars



Şekil 6.4. Pembe Kuvars veya Gül Kuvars [5].

Oksit grubundan, trigonal kristalik sisteme sahip, kimyasal formülü SiO_2 , sertliği 7, özgül ağırlığı 2,65 olan gül, pembe ve şeftali renklerinde bulunan bir kuvars türüdür.

Pembe Kuvars sınıfındaki ender çeşitlerden bir tanesidir. Rengini mineralin kristal yapısında bulunan titanyum oksit ya da manganez oksitten alır. Şeffaf veya yarı şeffaftır. Şeffaf olanları daha iyi kalite olarak tanımlanabilir. Pembe Kuvars minerallerin oksit gurubunun bir üyesidir. Silikon oksididir ve üç rengini içindeki titanyum oksit ya da manganez oksit kirliliklerinden alır. Aksi takdirde kuvars tamamen renksiz olacaktır. Pembe Kuvars donuk ya da yarı şeffaf kalitelerinin sebebi minerallerin kristalik yapısını etkileyen “yabancı” maddelerden kaynaklanır. Kuvars, silikon ve oksijenden meydana gelir. Pembe Kuvars serttir, camsı bir parlaklığı vardır. Isıtıldığında rengini kaybeder ve X-ışınlarına maruz kaldığında siyaha dönüşür.

Pembe Kuvars da diğer tüm kuvars çeşitleri gibi tortul kayalarda, özellikle nehir ve kumsal tortularındaki kum kalıntılarında görülür. En kaliteli Pembe Kuvarslar Brezilya, Hindistan, Madagaskar, A.B.D, Maine ve Kuzey Dakota’dan gelmektedir. Küçük parçalar ise Almanya, İtalya, İrlanda ve İskoçya da çıkmaktadır [50].

7. AMETİST



Şekil 7.1. Ametist kristalinin farklı konumlarda görüntüleri [51].

7.1. Etimolojisi

Ametistin adını Yunanca *a*, "değil" (olumsuzluk eki) ve *methuskein*, "sarhoş etmek" kelimelerinden aldığı söylenir. Bunun nedeni eski zamanlarda yaygın olan taşın sahibini sarhoşluktan koruduğuna dair inançtır. Ametistten yapılmış bir kase veya kupadan şarap içmenin kişiyi sarhoş etmeyeceğine inanılıyordu. Yine de taşın isminin, taş için Doğu'da kullanılan bir ismin dejenere olmasından türemiş olabileceği de düşünülmektedir [51].

7.2. Özellikleri

20.yüzyılda ametistin rengini sahip olduğu manganezden aldığı düşünülmüştür. Fakat, bazı otoriteler rengin organik bir kaynağı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ferrik tiyosiyanat önerilmiş ve mineralde kükürdün saptandığı belirtilmiştir. 2005 yılından itibaren, ametistin renginden yabancı (katışkı) atomların sorumlu olduğu düşünülmektedir.

Isıya maruz kaldığında, ametistin rengi sarıya döner. Genel olarak sarı kuvars cevherlerinin (sitrin, dumanlı kuvars ve diğerleri) *yanmış ametist* olduğu söylenmektedir. Kayacın yeryüzüne çıkmış uzantılarında, ametist damarlarının renklerini kaybetmeleri muhtemeldir. Ametistin sertliği 7'dir.

Popüler bir değerli taş olan ametistin çeşitli renklerine farklı tanımlar verilmiştir. Örneğin, "*Rose de France*" genellikle açık pembemsi lavanta veya leylak gölgeye sahiptir. En değerli rengi ise kırmızı parıltılara sahip koyu menekşe rengi olanıdır; bu

renkteki ametist "*Sibiryalı*" olarak adlandırılır. İsminden de anlaşılacağı gibi bu renkteki ametist genellikle Sibirya' dan çıkarılsa da, Sibirya dışında Uruguay ve Zambiya başta olmak üzere başka bölgelerden de çıkarılmaktadır.

Ametist ABD'de birçok yerde bulunsa da bunlar mücevherlerde kullanabilecek kadar güzel ve değerli değildir. Ametist Brezilya, Uruguay, Bolivya, Arjantin, Zambiya, Namibya ve diğer Afrika ülkelerinde çıkarılır. "En kaliteli kristalli ametistler genellikle Hindistan, Brezilya ve Uruguay'daki volkanik kayaların içindeki gaz boşluklarında (jeodlarda) oluşur [51,52]. Ayrıca Türkiye'de Balıkesir - Dursunbey ilçesinde, Erzincan ve Ordu'da da ametist yatakları olduğu bilinmektedir [51].

Ametist Kristalinin Bazı Mineralojik Özellikleri [22].

Süstaşı İsmi: Ametist (Amethyst)

Mineral: Kuvars (Quartz)

Kimyasal Formül: SiO_2

Renk: Mor ve tonları

Mohs Sertliği: 7

Özgül Ağırlığı: 2.65

Kırılma İndisi: $N_u = 1.54$ - $N_e = 1.55$

Optik Karakter: Anizotrop - Tek optik eksenli - Pozitif (Uniaxial (+))

Çift Kırılma: 0.009

Dilinim: Yok

Kristal Sistemi: Trigonal

Pleokroizması: Yok

7.3. Ametist Taşının Metafiziksel ve Psikolojik Etkisi

Bulunduğu çevredeki olumsuz enerjileri temizleyip dönüştürür. Sadece odanın herhangi bir yerinde durması bile olumsuz enerjileri toplayıp pozitif enerjiye dönüştürmesi için yeterlidir.

Depresyona karşı faydalıdır. Enerji dolu bir taş olduğu için çoğu insan üzerinde canlandırıcı bir etkisi vardır. Sürekli üzerinizde taşıyabileceğiniz bir taştır. Yaydığı enerji her zaman size fayda sağlar ve olumsuzluklardan korur. Özellikle düşman tavırlı insanların arasında bulunacağınız zamanlarda bu taşı üzerinizde bulundurmaya gayret edin. Böylece sadece pozitif enerji alacağınızdan emin olabilirsiniz. Enerjisi huzur vericidir. Yaydığı enerji doğrudan sinir sistemini etkiler. Fazla çalışmaktan ve stresten kaynaklanan zihinsel yorgunluğu giderir. Enerjisinin odaklandığı kişide uyum ve denge oluşturur. Ancak ciddi bir kişilik bozukluğuna sahip insanlar bu enerjiyle uyuşamayarak, onu rahatsız edici bulabilir. Kişiyi iç huzuru vererek karar verme yeteneğini güçlendirir.

Kişiyi rahatsız eden takınaklı düşünceleri uzaklaştırıcı ve yatıştırıcı bir etkiye sahiptir. Koyu mor ya da çok açık renkli, özellikle de berrak olan ametistler en güçlü enerjiye sahip olan ametistlerdir. Pembe kuvars ile birlikte kullanıldığında akli güçlendirdiği ve kalbi koruduğu söylenir.

Uykusuzluk çekenlere iyi gelir. Eğer uykusuzluk sorunu yaşıyorsanız; ametisti yatmadan önce bir süre elinizde tutun ve sonra yastığınızın altına koyarak yatın. Sorununuzun nasıl düzeldiğini göreceksiniz. Uyku sorunlarına iyi geldiği gibi kâbus görmeyi de engeller.

Taşınızı toplayacağı negatif enerjilerden arındırmak için; ilk iki hafta kullanımda her gün suyun altında tutarak temizleyin. Daha sonra standart temizleme yöntemiyle kullanmaya devam edebilirsiniz [22].

7.4. Kültürel Ve Tarihi Önemi

Ametist taşı birçok farklı kültür ve bölgede kraliyet aileleri tarafından sevilmiştir. Mısır kraliyet hanedanları tarafından sevilen ametist, Mısır'da genel olarak oymalarda kullanılırdı.

Leonardo Da Vinci ametistin şeytani, günahkar düşünceleri dağıttığı ve zekayı canlandırıldığını yazmıştır. Bu büyük ihtimalle o zamanlarda var olan yaygın bir kanıydı. Ayrıca, eski zamanlarda ametist dindarlığın ve bekaretin sembolü olarak görülürdü. Bu nedenle Orta Çağ boyunca Katolik Kilisesi ve diğer dini grup ve kiliselerde, özellikle oymalarda fazlasıyla kullanılmış ve değer verilmiştir. Yine aynı nedenlerle taş

piskoposlar için özel bir önem arz etmiştir. Bugün hâlâ birçok piskopos ve diğer bazı din görevlileri ametist taşlı yüzükler takar.

Ametist Şubat ayının doğum taşıdır. Ayrıca Balık, Koç, Kova ve Yay takımyıldızlarıyla bağdaştırılmıştır. Ayrıca, Tibette ametist taşı kutsal sayılır. Eski zamanlarda en değerli taşlardan (elmas, safir, yakut ve zümrüt) sayılan ametist daha sonraları bu değerini ve önemini yitirmiştir. Bunun en büyük nedeni, Brezilya gibi, bazı bölgelerde büyük yatakların keşfedilmesidir [51].

7.5. Ametist Kristallerinin Değerlendirilmesi Ve Yöresel Ekonomiye Katkısı

Balıkesir-Dursunbey- Güğü köyü yakınlarında, Asar Tepe eteklerinde ekonomik rezervde ve süstaşı kalitesinde ametist örneklerine rastlanır. Ametistler, Akdağ (Karaboldere) Volkanitleri olarak adlandırılan. Miyosen-Pliyosen yaşlı andezitik ve dasitik kayalar içerisinde bulunurlar. Ametist kristalleri arazide, tek yönde boşluk çeperinden merkeze doğru büyümüş düzgün yüzeylere sahip küçük dişler, ya da som yapıli kökler halinde gözlenir. Siyahımsı mordan menekşe rengine, yüzeyde güneş ışınlamına maruz kalanlar ise beyazımsı renklere sahiptir. Ametist ve diğer silisli oluşuklar genelde jeod yapısında bulunurlar. Ametist kristallerinin çıkartılarak aynı bölgede kurulacak işleme atölyelerinde mücevher taşı olarak mamul hale getirerek yapılacak ürünlerin geliri ile bu yöre insanların ekonomik refah düzeyleri yükselecektir. Ametist kristallerini süstaşı olarak kullanabilir bir obje haline getirmek için, sırasıyla aşağıdaki işlemleri takip etmek gerekir;

1. Ana kayadan ametist kristalleri zarar vermeden toplanır ve daha sonra hammadde stoklarında en ideal konumda depolanır.

2. İşlenecek ya da koleksiyon olarak ayrılacak örnekler, boyutlarına ve şekillerine göre sınıflandırılır.

3. Bunlar ultrasonik yıkayıcılar ve kimyasal çözeltiler ile temizlenir.

4. Temizlenen ametist parçaları, malzemenin güzelliğini ortaya çıkarmak için uygun süstaşı işleme teknikleri (kabaşon veya faset) ile mücevher taşı haline getirilirler.

5. İşlem görmüş ametist örneklerinden bir kısmı, altın ya da gümüş metaliyle montürlenirler.

Türkiye doğal taş potansiyeli içerisinde henüz ekonomik getirisi yeterince fark edilmemiş birçok kaynak vardır. Doğal taş sektörü için alternatif olabilecek önemli bir potansiyel de süstaşlarıdır. Anadolu'ya bakıldığında birçok yörede süstaşı çıkarılan ocaklar olduğu görülür. Bunlardan bazıları yalnızca jeolojik değişimlerin bazı özel koşullarının etkisi altında kalan belirli bölgelerde bulunur ve bulundukları yörenin dünyaca tanınmasını sağlayan doğal bir elçi olurlar. Buna göre çalışmanın başlıca amacı, hazırlanan bir proje kapsamında, Dursunbey (Balıkesir) yöresinde bulunan süstaşı kalitesindeki Ametist (kristalin kuvars türü-SiO₂) kristallerinin çıkartılarak aynı bölgede kurulacak işleme atölyelerinde mücevher taşı olarak mamul hale getirmek, bunları takı üretiminde kullanmak, özellikle kırsal kesimde dar gelirli çiftçi ailelerine mesleki eğitim vermek ve böylece bu yöre insanları için hem karlı bir iş olanağı açmak hem de ekonomik refah düzeylerini yükseltmektir. İkinci olarak, ülkemizin başka yörelerinde bulunan, süstaşı yataklarına sahip olduğu halde ekonomik nimetlerinden yararlanamayan diğer köy veya kasabalar için de örnek olacağı düşünülmektedir. Ametist örneklerine, Balıkesir ilinin, Balıkesir-Kütahya karayolu üzerindeki Dursunbey ilçesinin güney doğusundaki Güğü köyü yakınındaki Asar Tepe eteklerinde rastlanır. Güğü Köyüne, Dursunbey'in İstasyon Mahallesinden orman ürünleri işletmesinin yanındaki tali yoldan geçilerek ulaşmak mümkündür. Alaçam Dağları içerisinde bulunan bu bölgenin ormandan sonra en ekonomik doğal getiri malzemesi olarak düşünülmelidir.

Ametist ismi; Grekçe, "sarhoşluğa iyi gelir (not drunken)" anlamındadır. Ancak burada vurgulanan sarhoşluk alkolün verdiği sarhoşluk olmayıp, vücudun enerjik sarhoşluğudur. İnsan vücudunda düzenli bir elektrik dağılımı vardır. Buna pozitif enerji denilmektedir. Ancak bazen, nedeni tam olarak bilinmeyen, insan vücudunun salgıladığı bir enzim bu düzenli elektrik dağılımını bozarak vücudun negatif enerji ile yüklenmesine sebep olmaktadır. Fizyolojik bir rahatsızlığı olmamak kaydıyla, negatif enerjili bir insanda gözlenen semptomlar halsizlik, keyifsizlik, asabilik, huysuzluk gibi olumsuz davranış ve hareketlerdir. Bu durumun diğer bir adı da enerjik sarhoşluğudur. İşte bu durumdaki bir vücudun herhangi bir bölgesine "ametist" kristali değerse, vücuttaki negatif enerjiyi nötralize ettiğine ve böylece vücudun şifa bulduğuna inanılmaktadır. Bu inanış, ametist kristalinin, modern tıbbın dışında, yaklaşık 4 bin yıldır mistik tedavide

kullanılmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla ametist kristalinin böyle bir enerjik özelliği olduğu geçmişten günümüze farklı uygarlıklar tarafından benimsenerek, mineralojik isminin dahi bu özelliğine atfen verilmesini doğurmuştur [22].

7.5. Ametist İçeren Saha Ve Bölgenin Jeolojik Oluşumu Ve Yapısı

Dursunbey (Balıkesir) ametist sahasında, Miyosen ve Pliyosen'e (Tersiyer) ait volkanik birimler yaygın yüzlekler vermektedir. Petrografik incelemeler bu kayaların genelde andezitik, daha az dasitik, daha az da riyodasitik karakter sunduğunu göstermektedir. Ametist kristallerinin içerisinde yataklandığı bu volkanik birimleri bazı araştırmacılar, Akdağ Volkanitleri (ya da Karaboldere Volkanitleri genelinde ve Alt-Orta Miyosen yaşlı Tafak Formasyonu ile Orta-Üst Miyosen yaşlı Odaköy Formasyonu, özelinde isimlendirilmişlerdir. Bölge oluşum modeli için daha geniş kapsamlı düşünüldüğünde, Balat Çayı çöküntü havzasını oluşturan bu bölgede Tersiyer boyunca volkanizmanın aktif olduğu görülmektedir. Tersiyer volkanizmasının Kuzeybatı Anadolu'da Eosen, Üst Oligosen, Miyosen ve Pliyosen dönemleri olmak üzere farklı dört grupta toplanabileceği yapılan jeokimyasal araştırmalarda Miyosen yaşlı lavların (andezitik, dasitik, riyaodasitik) tamamen kalkalkalin nitelikte olduğu kabuksal köken özelliği taşıdıkları ve kompresyonel tektonik rejimlerde oluşan orojenik volkanitler grubuna girdikleri söylenmektedir. Bununla birlikte Oligosen genel anlamda karasal aşınmayı simgeler. Bölgede muhtemelen Paleosen-Eosen yaşlı granit-granodiyorit (Eğrigöz Graniti) ile başlayan istifin, Orta-Üst Miyosen yaşlı kireçtaşı-kiltaş ve tuf aralanması ile bunlar üzerinde yer aldığı düşünülen andezit-dasit-riyodasit türü volkanitler (Tafak ve Odaköy Formasyonları) ile devam ettirildiği ve Üst Pliyosen'de gölseyel ortam ürünleri olan kireçtaşı-kumtaşı- çakıltaşı ürünleri ile sonlandığı söylenebilir. Batı Anadolu'nun bu bölgesini oluşturan volkanitlerin, grabenleşmeye bağlı levha içi volkanitleri olduğu görüşü benimsenmiştir. Bu tektonik hareketlerin ortaya çıkardığı çanaklarda hem Orta-Üst Miyosende tortulları çökelmiş, hem deepirojenik eğimlenmeler, çarpılmalar kırılanmalar ve bunlarla ilgili bir volkanik faaliyet oluşmuştur. Volkanizmanın çöküntü havzası niteliğindeki gölseyel ortamda geliştiği bu karakterdeki volkanizmanın Orta-Üst Miyosende başlayıp Pliyosen sonuna kadar etkili

olduğu ve volkanitlerin kabuk kökenli olduğu, bu kabuk ergimesini sağlayan ısı kaynağının grabenler altına yerleşen konveksiyon akımları olduğu, söylenmektedir.

Bu yüzden denilebilir ki, volkanik kayalar Anadolu'nun batısında geniş alanlar kaplayan kabuk kalınlaşma ürünü andezitik-dasitik kalkalkalin birliğin bir üyesi olarak düşünülmelidir. Bölgeyi etkileyen hidrotermal alterasyonu doğuran jeotermal akışkanın doğubati uzantılı ana tektonik hatlara diyagonal gelişen çatlak ve tali faylardan geldiği, tektonik yapının da kuzey-güney ve kuzeybatı-güneydoğu yönlü kuvvetlerin etkisi ile oluştuğu özelliği, sahanın güney ve güney doğu kesimlerinde yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır. Ametist içeren sahada ise, kuzeydoğu-güneybatı yönünde gelişen eğim atımlı esas fay boyunca gelişmiş genelde damar ve mercek şeklinde yapılar yaygındır. Özellikle andezitlerin yükselmesini sağlayan tektonik olaylar sonucu gelişen doğrusal kırık sistemleri ve değişik süreksizlik yüzeylerinin, sahada ametist oluşumları için uygun ortam hazırladığı söylenebilir. Ayrıca, bölgesel ölçekte birbirini takip eden faylanmaların kırık hatlar boyunca yüzeye kadar uzanan yer yer genişlikleri 30-40 metreyi bulan tümüyle çevreleyen kayacın parçalarını içeren breşik zonları da oluşturduğu, ilaveten bu tür ezik zonların gelişmesinde birbiri ile kesişen fayların ve fay zonlarının birinci derecede sorunlu olduğu, belirtilmektedir. Bölgede Orta Mıyosen'i de içeren istifler az çok kuzey-güney yönlü bir sıkışma sistemi içerisinde, geniş dalga boylu kıvrımlarla kıvrımlanmış, yersel olarak kapalı kıvrımlar ve ters faylar da gelişebilmiştir [22].

7.7. Ametist Kristalinin Gemolojik İşlenti Aşamaları

- Ametist kristallerini süstaşı olarak kullanabilir bir obje haline getirmek için aşağıdaki aşamaları uygulamak gerekir;
- Ametist kristallerinin araziden kristallere zarar vermeden, en güzel örneklerini bilinçli olarak toplamak
- Toplanan örneklerin kristallerini kırmadan, çatlatmadan paketleyerek işleme atölyesine kadar sağlıklı bir şekilde getirmek. Hammadde stoklarında en ideal konumda depolamak.
- İşlenecek yada koleksiyon olarak ayrılacak örnekleri boyutlarına ve şekillerine (kök yada dişli kristaller) göre sınıflandırmak.

-Kristallerin yüzeyinde ve kristal aralarında bulunan toprak yada pekleşmiş kalıntıların fiziksel ve kimyasal yöntemlerle (basınçlı suyla yıkayarak-tel fırçalarla fırçalayarak-çeşitli asitlerde ve bazlarda bekleterek ultrasonik temizleyicilerde yıkayarak) temizlemek.

-Temizlenen örnekleri işleme tekniklerinden (kabaşon-faset-plaka-takozboncuk) hangisine uygun olduğunu tespit ederek ona göre işleme bölümlerine vermek.

-Taş işleme atölyesinde işlenerek (kolye-küpe-yüzük-broş-anahtarlık tespih v.b taşlar halinde) mamul hale getirilen ametist örneklerini altın yada gümüş metaliyle montürlemek üzere kuyum atölyesine göndermek [22].

7.8. Ametist Kristalinin Gemolojik İşlenti Mekanları

Ametist kristallerini değerlendirmek için kurulması gerekli mekanlar:

- 1-) Süstaşı işleme atölyesi
- 2-) Metal işleme (kuyum) atölyesi
- 3-) Kimyasal işlem laboratuvarı
- 4-) Hammadde ve malzeme deposu
- 5-) Yönetim ve dinlenme salonları
- 6-) Satış yen ve sergi salonu
- 7-) Takı tasarım odası

ile bunlar için gerekli harcama kalemleri yaklaşık olarak aşağıda sunulmuştur: Taş işleme atölyesi makine ve yardımcı malzemeleri olarak; otomatik büyük kesme makinesi, manuel küçük kesme makinesi, otomatik çok bıçaklı kesme makinesi, polisaj makinesi, döner veya titreşimli tambur, otomatik kabaşon işleme makinesi, manuel kabaşon işleme makinesi, sulu, devir kontrollü polisaj motoru, otomatik süstaşı tornası, muhtelif boyutlarda silisyum karbür (SiC) parlatma tozları, muhtelif kimyasal cila oksitler (seryum oksit, alüminyum oksit).Kuyum atölyesi makine ve yardımcı malzemeleri olarak; 6 kişilik standart kuyumcu masası, plaka ve tel çekme haddesi, vakumlu cila makinesi, elektrikli eritme fırını, kaynak tüpü ve şakımaları, eritme tüpü ve şalomaları [22].

7.9. Ametist Kristalinin Bölge Ekonomisine Faydaları Ve Sosyal Getirileri

Ametist kristallerini aşağıda bahsedilen ürün gruplarında işleyerek uygun bir sergi salonunda ve/veya yurt içi ve/veya yurt dışı ihtisas fuar ve sergilerinde yapılacak satışlarla elde edilecek ciro, en düşük değerler göz önünde alınsa bile yaklaşık 500 Milyar TL/yıl'dır (1\$=1.400.000 TL). Temizlenmiş özgün yapılı koleksiyonluk ametist kristallerinin piyasa değeri yaklaşık 50-300 Milyon TL'dir. Bu kristallerden yılda 100 tanesi kolaylıkla alıcı bulabilecektir. Temizlenmiş ve belirli formlarda kesilmiş dişli ametist örnekleri fason ve toptan satışta yaklaşık 500 Bin TL/gr fiyatından alıcı bulabilmektedir. Bu şekilde işlenen kristallerden her yıl yaklaşık toplam 50-80 Kg.lık yarı mamul fason ürün satışı yapılabilecektir. Ametist köklerinden yapılan kabaşon işlenmiş ürünlerin yaklaşık değeri 1 Milyon TL/gr'dır. Bu şekilde işlenmiş ürünlerden de yılda yaklaşık 20-50 Kg satılabilecektir. Ametist köklerinden kırılan düzensiz parçaların tamburlama yöntemiyle işlenip ortalarının delinmesiyle oluşturulan işlenmiş parçaların yaklaşık değeri 800 bin TL/gr'dır. Bu şekilde işlenmiş ip ya da misinaya dizilmiş ürünlerden yılda yaklaşık 10 Kg satılabilecektir. Ametist köklerden faset işleme ile yapılmış mücevher taşlarının değeri yaklaşık 5 Milyon TL/gr'dır. Bu tür örneklerden de yılda yaklaşık 10-20 Kg satılabilecektir. Ametist köklerden kesilmiş kenarları doğal formu plakaların değeri yaklaşık 50 bin TL/gr'dır. Böyle kesilmiş ve parlatılmış ametist plaka örneklerinden de yılda yaklaşık 5-10 Kg satılabilecektir. Ametist köklerinden yapılan dekoratif kullanımlı ürünlerin değeri yaklaşık 200 Bin TL/gr'dır. Bu tür ürünlerden de yılda yaklaşık 15-25 Kg satılabilecektir. Yukarıda bahsedilen bazı işlenti ürün tiplerinin kuyum atölyesinde gümüş metali kullanılarak yapılacak kolye, küpe, yüzük, broş, bileklik vb. takıların değeri tipine ve modeline göre 5-80 Milyon TL/parça'dır. Bu tür takılardan da yılda yaklaşık 500-800 adet (parça) satılabilecektir. Bu çalışma gerçekleştirildiğinde, Dursunbey yöresinde herhangi bir becerisi olmayan çok sayıdaki insan eğitilerek bir meslek sahibi olacak ve böylece bu kişilerin açacakları ev ve işyeri atölyelerinde elde edecekleri gelir ile, hem yöre halkına istihdam alanı açılacak, hem de ilave ekonomik gelir sağlanabilecektir. İlaveten, etkili bir tanıtım ile Dursunbey yöresinin süstaşı toplama ve işleme merkezi olduğu duyurularak buraya yerli ve yabancı turistlerin hem ametist kristalini toplama turları, hem de işleme merkezini gezme turları

şekline getirilmesiyle yöre ekonomisine katkı sağlanabilecektir. Ayrıca bu konuyu öğrenen insanların, yeni süstaşlarının bulunmasına ve ülkemiz ekonomisine kazandırılmasına şüphesiz katkıda bulunacaklardır [22].

7.10. Doğal Ametistin Kirlilik İçeriği Ve Renklenmesi

7.10.1. Doğal Ametistin Renklenmesi

Doğal ametist ve renksiz kuvarsların absorpsiyon spektraları analiz edilmiş ve bunlar kuvarsın yapısında yer alan demir, manganez ve antimon gibi kimyasal kirliliklere göre kıyaslanmıştır. Bu elementlerden ve doğal radyoaktivitenin 5500 Å° absorpsiyon bandının ve doğal ametist kuvarsın renklenmesinde önemli rolü olduğu gözlenmiştir.

Ametist kuvarstaki mor renge, genellikle demir kirliliği ile ilgili renk merkezlerinin neden olduğu belirtilmiştir dalga boylarındaki absorpsiyon bandlarının, kuvarsın yapısında bulunan, ne oldukları bilinmeyen kimyasal kirliliklerden kaynaklandığı sonucuna varmıştır. Lehmann ve Moore (1966), elektron veya boşluk kapanımı ile Fe^{+3} iyonun atomlar arasında yer alan Fe^{+3} çiftiyle birlikte oluşturduğu yeni EPR spektrası olan S2 f nin, yapay ametist kuvarstaki renkle çok yakından ilişkili olduğunu bulmuştur. Bu S2 merkezi, daha önce komşu atomlar arası boşlukta yer alan alkali metal iyonu ile yük dengelemesi yapan ornatmalı Fe^{+3} iyonundan kaynaklandığı bilinen S1 merkezinin dönüşümünden elde edilebilir. Buna karşın, doğal ametistler içerisinde bulunan S1 merkezi S3 merkezine dönüşmemektedir. Buradan, doğal ametistlerdeki merkezlerin farklı miktarlarda veya tipteki yük dengeleyicileri ile ve/veya ek elektron veya boşluk kapanımlarından kaynaklanabileceğine işaret edilmiştir. Her şeye rağmen demir, doğal ve yapay ametist kuvarstaki karakteristik optik bandlarla ilişkili olan anahtar kirlilik olarak önerilmiştir (Senle singer ve Cohen1966), Si^{+4} atomunun yerini alan Fe^{+3} iyonu ile atomlar arası boşlukta bulunan Fe^{+2} iyonlarından oluşan bir model ametist merkezleri için uygun bir model olarak önerilmiştir (Lehmann, 1971; Lehmann ve Bambauer,1973). Buna karşın Cohen ve Hassan (1974), +8 iyonunun

yerini alan Fe^{+3} iyonu ile atomlar arası boşlukta bulunan Fe^{+3} iyonunun,. iyonize radyasyon uygulamasından sonra ametist rengin oluşumu ile ilgili olduğunu kanıtlamıştır. Bu çalışmalar demirin, ametisteki mor renge olan katkılarını göstermesine karşın, diğer elementlerin, manganez ve antimon gibi, katkıları hakkında hiçbir araştırmadan söz edilmemiştir. Bu araştırma demir ile birlikte manganez ve antimonun doğal ametist kuvarsın mor rengine olan katkısını göstermektedir [22].

7.10.2 Doğal Ametistin Kirliliği

Doğal ametist kuvarstaki 5500 $\text{\AA}$ absorpsiyon bandının demir, antimon ve manganez kirlilikleri tarafından kontrol edildiği ortaya çıkar. Daha önceki çalışmalarda, Fe^{+3} mor rengin nedeni olarak belirtilmiştir (Lehmann ve Moore, 1966; Schlesinger ve Cohen, 1966; Cohen ve Hassan, 1974).

Buna ek olarak Lehmann ve Bambauer (1973) mor rengin ancak, Fe^{+3} iyonunun tetrahedrik simetrisi olan atomlar arası boşlukta yer aldıkları zaman oluşabileceğine işaret etmişlerdir. Demir miktarı ile ametisteki mor rengin şiddeti arasında tam olmayan ilişki demirin kafes yapısında farklı yerlerde bulunduğu dayandırılmıştır. Yani, yapıdaki demir her zaman uygun kafes yerinde, uygun yük dengeleyicisi ile birlikte bulunmaktadır (Lehmann ve Bambauer 1973). Bu da yapıda demir olsa bile renk merkezi oluşturacak kafes yerinde olmadıkça mor rengin oluşamayacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca Fe^{+3} den başka hata oluşturacak başka yük dengeleyicilerinin de söz konusu olabileceği de belirtilmiştir (Lehmann, 1975), Sb^{+5} ve Mn^{+3} iyonlar atomik çap ve yükleri bakımından kuvarsın yapısında hem Si^{+4} yerine, hem de atomlar arası boşluğa yerleşebilecek özellikleri taşımaktadır (Müller ve Royf 1974), 5500 $\text{\AA}$ absorpsiyon bandının renk merkezi konsantrasyonu manganez ve antimon konsantrasyonları ile arttığına göre ametisteki mor renklenmenin yalnızca demir kirliliğine bağlanamayacağı ortaya çıkmaktadır. Manganez ve antimon da demire paralel olarak bu renge, diğer bir deyişle 5500 $\text{\AA}$ absorpsiyon bandına katkıda bulunmaktadır. Bu elementlerin miktarları ve oranları da ametist kuvarsın alındığı yere göre değişebilir. Bu elementlerden birisi, kafeste uygun yere oturarak diğerine baskın olabilir ve mor rengin şiddeti kontrol

edebilir: Mn^{+3} hem fiziksel hem de elektronik konfigürasyon özellikleri bakımından Fe^{+3} çok benzediğinden bu banda olan katkısı kesindir. Ancak Sb^{+5} için Elektron Paramanyetik Rezonans(EPR) ölçümleri yapmak gerekir. Aynı örnekler üzerinde yapılan termoluminesans ölçümleri Q-N-2O dışında bütün mor renkli kuvarsların dış kökenli bir doğal radyasyonla doygun olduklarını göstermiştir, Q-N47 ile Q-N-2O arasındaki diğer örneklerde ise doğal eşdeğer radyasyon 3-10 dakika arasında değişmektedir. Yapay olarak kirlilik katkısı ve radyasyonla mor renk elde edilmesine karşın (Cohen ve Hassan, 1974: Nassau ve Preseott, 1977) ametist kuvarsların doğal radyasyonla ilişkili olduklarından daha önce hiç söz edilmemiştir. Buradan bütün mor renkli kuvarsların doğal radyasyon aldıkları gözlenmiştir ve radyasyonun da mor renkle ilişkili olduğu anlaşılmıştır [22].

8.DENEYSEL SİSTEMLER

Bu çalışmada esas amaç, pembe kuvars ve ametist minerallerinin lüminesans özelliklerinin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda kullandığımız deneysel sistemler aşağıda tanıtılmaktadır.

8.1.TLD READER-ANALYSER

RA94 TLD Reader-Analyser (Şekil 8.1.) 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 laboratuvarındaki rutin işlemler için veya TL etkilerinin bilgisayar destekli analizleri için kullanılabilir.



Şekil 8.1.RA'94 TLD Reader-Analyser Sistemi

1. Kontrol düğmeleri
2. Isıtma levhası, kontrol ışık kaynağı ve ısıtma güç birimi içeren çekmece.
3. LCD 4 haneli ekran
4. Mod kontrolü ve programlama anahtarları
5. İnert gaz akışı ayarları için kullanılan rotametre
6. Ölçüm alınacak numunenin konulduğu numune ısıtma levhası.

8.1.2. TLD READER-ANALYSER SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

- 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 ısıtma eğrisi bilgisayara kaydedilir. Pulsların toplam sayısı ve sıcaklık LCD ekranda da görülür.
- Sistem termoelektrik sistemin hassasiyetinin kararlılığını sağlamak için bir soğutucu, TL malzemelerinin düşük şiddetli sinyalleri için inert gaz akış devresi ve karanlık akımı azaltmak için otomatik olarak kontrol edilen PM karanlık akım kompensasyonu içermektedir.
- Isıtma levhaları için kullanılan özel bir platin alaşım çoklu ısıtma devrelerinden sonra kararmaz.
- Yüksek hassasiyetli düşük TL şiddetlerinin ölçülmesi için, %0.1 den daha az oksijen içeren sıkıştırılmış inert gaz (nitrojen veya argon) tüpü gerekir.
- RA94 TLD Reader-Analyser ın eşsiz özelliği ölçülen TL şiddetine karşılık değişebilir akustik bir sinyal üretilmesidir. Bu özellik özel uygulamalar için önemli bir amaç olduğunu kanıtlar.

8.1.3. TEMEL ÖZELLİKLERİ

1. Duyarlık: Referans ışık kaynağı ile programlanabilir.

2. Hassasiyet : $\pm$ %2 S.D. (bir pelletin multiple sonucu için)

3. Kararlılığı: 8 saat çalışması boyunca $\pm$ %2 den daha iyi

4. Okuma zamanı:

READER modunda	: 3-180 s
ANALYSER modunda	: 25-4000 s
XREADER modunda	: max toplam zaman 45 s

5. Üç Adımlı Isıtma: 20-400 °C arasında ayarlanabilir sıcaklıklar

Her bir döngü zamanı 1-60 s arasındadır.

6. Max. Isıtma Sıcaklığı: 400 °C ye kadar ayarlanabilir.

7. Lineer Isıtma Hızı: Saniyede 0.5-10 (6) °C arasında ayarlanabilir.

8. Veri Çıkışı: LCD ekran

Paralel CENTRONICS çıkış (yazıcıya)

Seri RS-232 (bilgisayara)

9. Ölçüm Aralığı: Elle ayarlanabilir modda 7...

10. Yüksek Güç Kaynağı: Otomatik ayarlama

11. Isıtma Levhası: Dayanıklı ve sağlam platin alaşım

12. TL Dedektör Büyüklüğü: 12 mm den küçük

13. Güç Kaynağı Gerilimi: 230 V / 60 Hz

14. Güç Tüketimi: max 0 V A

15. Ortam Sıcaklığı: 10-28 °C (Güneş ışığına maruz bırakmayınız ve herhangi bir ısıtıcının yakınına yerleştirmeyiniz)

16. Boyutları: 365x155x372 mm

17. Ağırlığı: Yaklaşık olarak 14 kg.

8.2. X-IŞINI TÜPÜ

Basitleştirilmiş bir X ışını tüpünde temel olarak vakumlanmış bir cam tüp içerisinde katot ve anot olarak isimlendirilen iki elektrot bulunur. Katotta bir ampulünkine benzeyen ve akkor haline geldiğinde elektron bulutu salan tungstenden yapılmış bir flaman vardır. Anot genellikle bakır gibi ısıyı iyi ileten bir malzemeden yapılır ve ucunda farklı bir malzemeden yapılmış genellikle X-ışını hedefi olarak adlandırılan bir bölüm bulunur.

X-ışınları tüpü ile, Bremsstrahlung (frenleyici) ve karakteristik olmak üzere iki farklı X-ışını üretilir. Bremsstrahlung radyasyonu elektronlar ile hedef atomların çekirdeği arasındaki etkileşimlerden kaynaklanır. Her etkileşimde, sıfır ile anot ve katot arasına uygulanan gerilim ile belirlenen bir değer arasındaki enerjiye sahip olan X-ışını üretilir. Örneğin, üzerinde 100 kV gerilim olan bir tüp, enerjileri 0 ile 100 keV arasında değişen X-ışınları üretecektir.

Hedefe çarpan hızlandırılmış elektronlar, hedef atomların iç yörüngelerinden (K yörüngesi) elektron sökerler ve geride bir boşluk kalır. Daha sonra üst yörüngelerden birinden (genellikle L yörüngesinden) bir elektron K yörüngesindeki bu boşluğu

doldurur ve bu esnada X- ışını oluşur. Bu X ışını, enerjisi hedef elemente özgü olduğu için Karakteristik X-ışını olarak adlandırılır.

Tanısal radyolojide kullanılan X-ışınlarının çoğu Bremsstrahlung olup, kullanılan X-ışınlarının küçük bir yüzdesi karakteristik radyasyondur (örneğin 100 kV de %15). Elektronların kinetik enerjisinin yaklaşık %99'u termal enerjiye (ısı) dönüşür ve tüpün soğutulması gerekir. Bu nedenle X-ışınlarının üretim veriminin ancak %1 olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada TL ölçümleri öncesinde örnekleri ışınlamak amacı ile Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan radyolüminesans sistemine ait X-ışını tüpü (Şekil 8.2.) kullanılmıştır[16].



Şekil 8.2. X-ışını tübü

Sistemde kullanılan X-ışını tüpü (Şekil 8.2.) su soğutmalı tek fazlı Machlett OEG-50A lik bir tüptür. 0,1 mm alüminyum filtreli 1 mm berilyum pencereci olup tungsten hedeften ibarettir. Şekil 8.3 de gösterilen kontrol ünitesi sayesinde, maksimum 50 kV luk gerilim ve 20 mA lik akım sağlanabilmektedir. Bununla birlikte yapılan deneysel çalışmalarda uygulanan voltaj 30 kV ve akım 15 mA dir. Sussex Üniversitesinde yapılan hesaplamalarına göre, bu değerler ile elde edilen doz hızı (10 cm uzakta) ~30 Gy/dak dır. Bu değerler hem olası elektriksel boşalımla tüpe zarar vermemek hem de güvenli çalışma doz seviyesini aşmamak amacıyla seçilmiştir. Tüp su ile soğutulmaktadır ve herhangi bir şekilde suyun kesilmesinde veya suyun akış hızı 4 litre/dak altına düşmesinde sistem otomatik olarak kendini kapatmaktadır. Bu amaçla su akış hızı sisteme bağlı bulunan bir *flowmeter* ile kontrol edilmektedir. Bunun yanı sıra, güvenlik amacıyla örneği istenmeyen ışımadan korumak için, X-ışını tüpünün önüne elle

kumanda edilen ve örnek tutucuda sabitlenen bir kurşun kapak yerleştirilmiştir. Böylece çalışanların kaza ile X-ışını tüpü açıkken odacığı açıp örnek değiştirmeleri engellenmiştir.



Şekil 8.3. X-ışını kontrol ünitesi

8.3. OPTİKSEL SOĞURMA SİSTEMİ

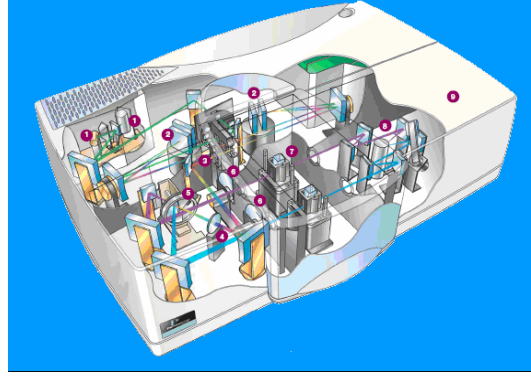
TBAG-2324 (103T048) nolu proje kapsamında TUBİTAK desteği ile alınan Perkin Elmer Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresi ile farklı malzemelerin optiksel özellikleri incelenebilmektedir (Şekil 8.4.).



Şekil 8.4. Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sistemi

<i>Teknik Özellik</i>	<i>Açıklama</i>
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)
Detektör	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).
Ayırma Gücü	UV/VIS için ≤ 0.05 nm NIR için ≤ 0.20 nm
Dalgaboyu doğruluğu	+/- 0.08 nm UV/VIS +/- 0.30 nm NIR
Dalgaboyu Tekrarlanabilirliği	UV/VIS (Döteryum Lamba Çizgileri) ≤ 0.020 nm NIR (Döteryum Lamba Çizgileri) ≤ 0.080 nm UV/VIS için 10 ölçümün standart sapması: ≤ 0.005 nm NIR için 10 ölçümün standart sapması: ≤ 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 °C

Tablo 8.1 Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sisteminin teknik özellikleri



Şekil 8.5. Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR 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 8.5. de 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 8.5.de görüldüğü gibi lambalardan çıkan ışık demeti ayna sistemi ile monokromatöre gelir (Şekil 8.5.de 2-3). Böylece demetin dalgaboyu belirlenir. Ardından monokromatörden çıkan ışık demeti yine ayna sistemi yardımıyla “depolarizöre” aktarılır (Şekil 8.5.de 4). Lambda 950 spektrometresi kristaller ve lazer uygulamalarında kullanılacak malzemeler için polarizasyona bağlı geçirgenlik ve yansıtma ölçümleri için kullanılabileceği gibi, polarizasyondan bağımsız ölçümler için depolarize sisteminin kullanılması da gerekmektedir. Depolarizörden çıkan ışık demeti demet kesiciye (chopper) gelir (Şekil 8.5.de 5). Demet kesici 47 Hz lik bir frekansla dönen, yansıtıcı ve geçirici kısımları olan ve dört parçalı olarak düzenlenmiş bir disktrir. 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 8.5.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 8.5.de 7 ile gösterilen referans ve örnek odalarından geçerek detektöre ulaşır. Sistemde

detektör olarak UV/VIS aralığı için R6872 fotoçoğaltıcı tüpü ve NIR için Peltier soğutuculu PbS detektörü bulunmaktadır (Şekil 8.5.de 8). 185 nm altında ölçüm yapabilmek için N₂ soğutması gerekmektedir Detektörde her dalgaboyu için referans ve örnek odalarından geçen ışığın karşılaştırılmalı ölçümü elde edilir. Şekil 8.5.de 9 ile gösterildiği gibi, sisteme ikinci bir örnek odası daha yerleştirme imkanı vardır. Bu şekilde toplam ve difüz geçirgenlik ölçümü yapmayı sağlamanın yanı sıra içerdiği 60 mm veya 150 mm lik küre ile son derece yüksek kararlılıkta yansıma ölçümleri yapmayı sağlamaktadır (Şekil 8.6.).

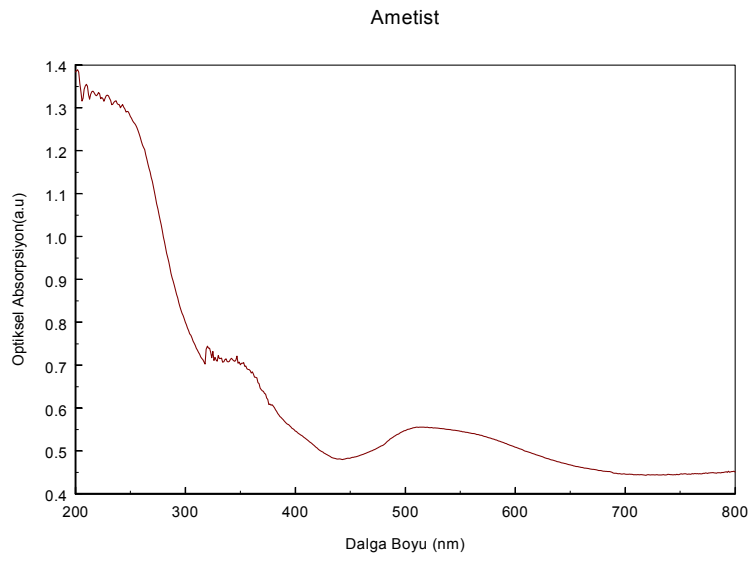


Şekil 8.6. İki farklı tür örnek odasını da içeren Lambda 950 Spektrofotometresi

Kullanılan optiksel soğurma sistemi bu çalışmada kullanılan malzemelerden çok daha büyük malzemeler için düzenlendiğinden, yaklaşık 5 mm genişliğe sahip küçük malzemelerin ölçülebilmesi için, yeni bir 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 [5].

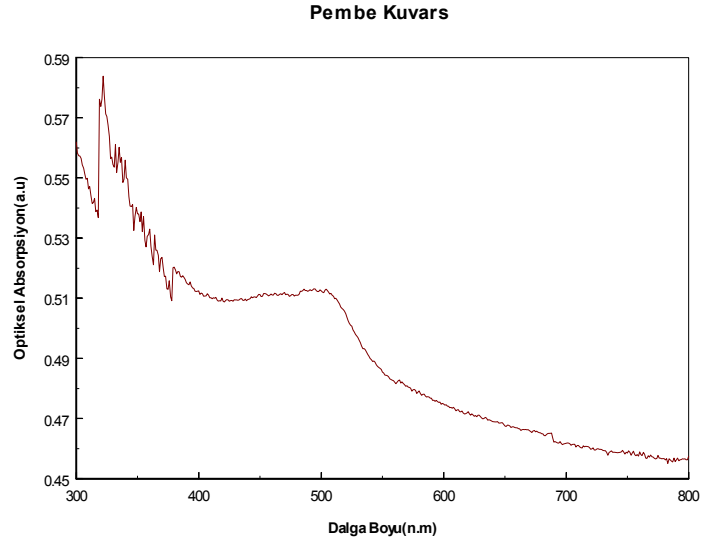
9.SONUÇLAR VE YORUM

Bu çalışmada ametist ve pembe kuvars minerallerinin TL spektrumları incelenmiştir. Şekil 9.1 ve şekil 9.2 de görüldüğü gibi önce Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresi ile oda sıcaklığında ametist ve pembe kuvars minerallerinin optiksel soğurma spektrumları alınmıştır.



Şekil 9.1. Ametist ile oda sıcaklığında alınan optiksel soğurma spektrumu

Ametistin oda sıcaklığındaki optiksel soğurma spektrumuna bakıldığında 500 nm civarında bir soğurma bandı görülmektedir.



Şekil 9.2. Pembe kuvars ile oda sıcaklığında alınan optiksel soğurma spektrumu

Pembe kuvarsın optiksel soğurma spektrumuna bakıldığında yaklaşık olarak 500 nm de bir soğurma bandı görülmektedir (Şekil 9.1 ve şekil 9.2). Bu “dumortierite”den elde edilen spektrum ile aynıdır [53]. Dumortierite genelde hidrotermal çevrelerdeki kuvars ile ilgilidir ve rengi içindeki Fe ve Ti safsızlıklarından kaynaklanmaktadır [54]. Ignatov ve ark. [55] Fe^{2+} - Ti^{4+} IVCT ile “dumortierite”nin soğurma spektrumunda bulunan 500 nm deki soğurma bandına yorum getirmişler ve kendi pembe kuvars örneklerinin rengi ile pembe kuvarstaki dumortierite nin rengi arasında bağlantı kurmuşlardır. Bu çalışmada elde edilen spektrum kuvarstaki pembe rengin oluşumu ile ilgili yukarıda yapılan yorumlar ile oldukça uyumludur [5].

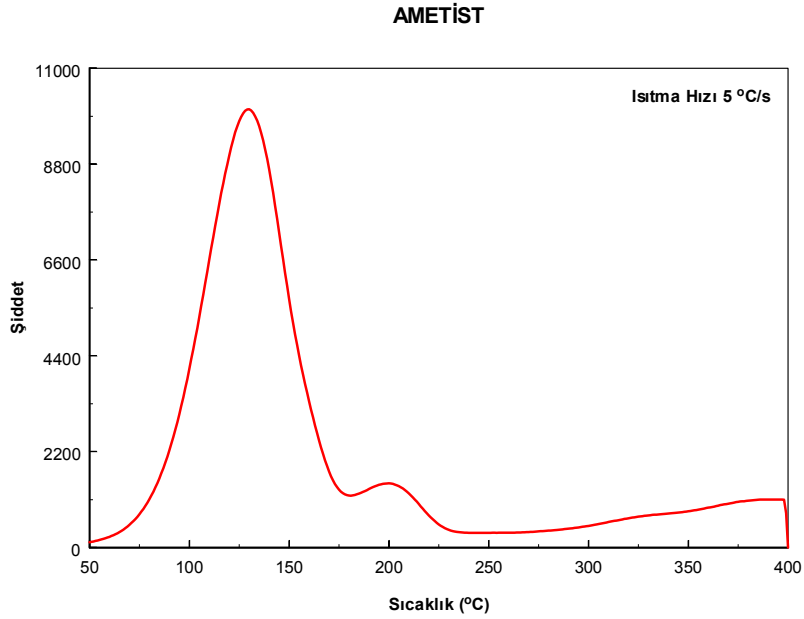
Pembe kuvars için yapılan kimyasal analizler ve XRF, atomik absorpsiyon analizleri ile elde edilen sonuçlar tablo 9.1. de verilmektedir[5].

SiO₂	%99,47	K₂O	%0,01
Al₂O₃	%0,39	P₂O₅	%0,01
Fe₂O₃	%0,02	B₂O₃	%0,02
CaO	%0,08	Li, Cl, Cr, Cs, Ba, Cd, Sn, Zr	

Tablo 9.1. Kimyasal analizler ve XRF, Atomik Absorpsiyon analizleri sonucu elde edilen veriler.

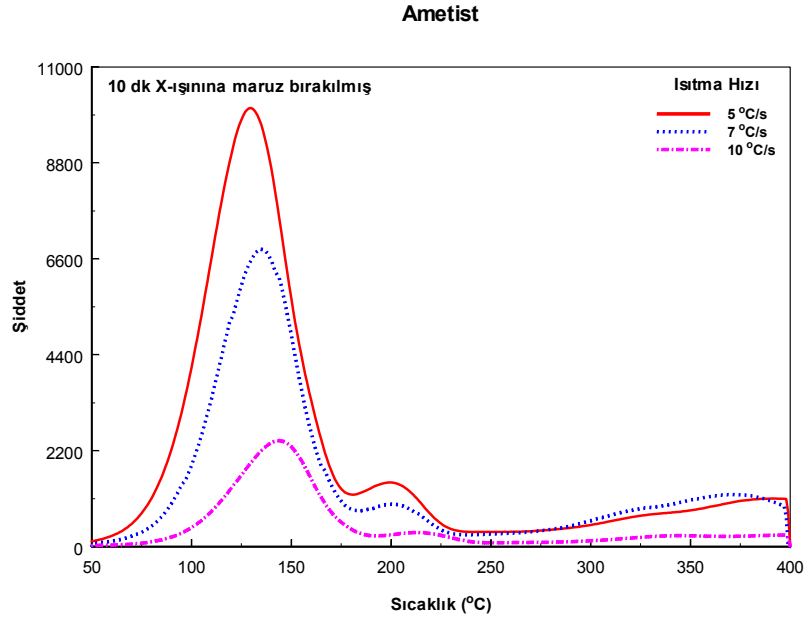
Julia S.Goreva ve ark. [56] da pembe kuvars için yaptıkları deneylerde 500 nm de bir soğurma bandı elde etmişlerdir. Bu veriler bizim bulduğumuz sonuçlar ile uyumludur.

Bu çalışmada doğal ametist mineralinin termolüminesans spektrumları alınmıştır. Bu amaçla örnekler öncelikle 10, 20 ve 30 dk süreyle X-ışınına maruz bırakılmıştır. Tüm ışınlamalar karanlık ortamda gerçekleştirilmiştir. Işınlanmış örnekler TL sistemine götürülürken, dışarıdan ışık almaması için siyah kap içinde taşınmıştır. Işınlama işlemi için kullanılan X-ışını tüpü su soğutmalı tek fazlı Machlett OEG-50A lik bir tüptür. X-ışını ile ışınlanan örneklerin bölüm 8 de bahsedilen RA'94 Reader-Analyser sistemi sayesinde termolüminesans spektrumları alınmıştır. Spektrumlar ısıtma hızı 5, 7 ve 10 °C/s seçilerek taranmıştır. Böylece ametist mineralinin termolüminesans spektrumlarında hem ışınlama süresinin hem de ısıtma hızının etkisi incelenmiştir.

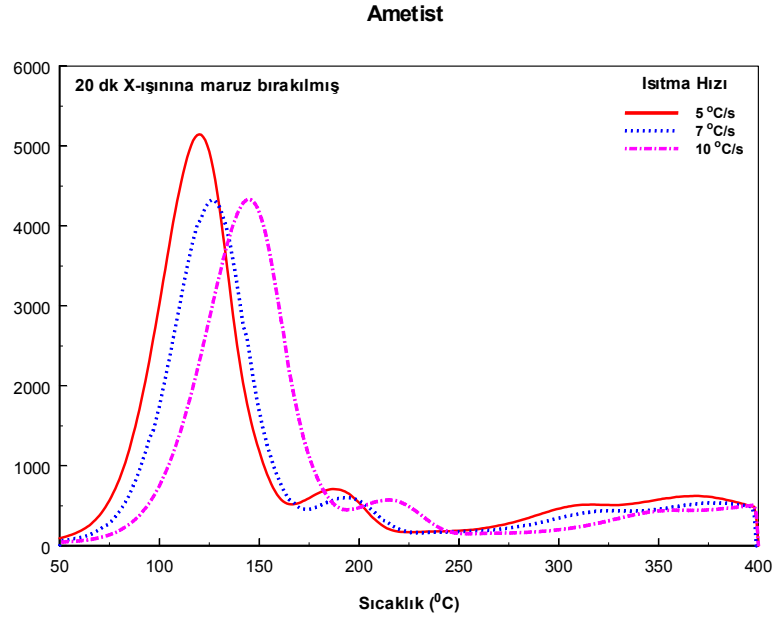


Şekil 9.3. X-ışını ile ışınlanmış doğal ametist mineralinin termolüminesans spektrumu.

Şekil 9.3 de belli bir süre X-ışını ile ışınlamış doğal ametist mineralinin termolüminesans spektrumu görülmektedir. 50-400 °C arasında alınan bu ölçümde ısıtma hızı 5 °C/s olarak seçilmiştir. Elde edilen spektrumda ametist minerali için 121 °C ve 188 °C olmak üzere iki tane TL piki gözlenmiştir.



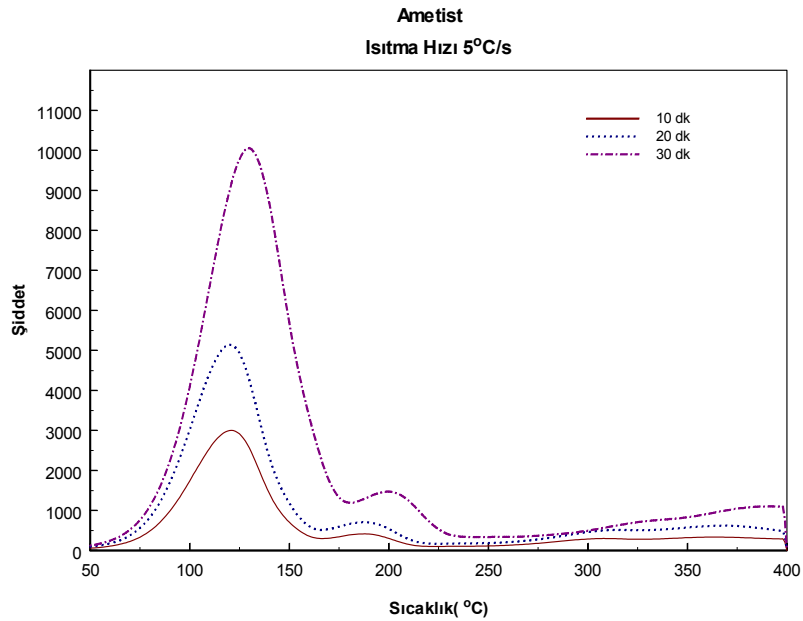
Şekil 9.4. 10 dk süreyle X-ışınına maruz bırakılmış doğal ametist mineralinin farklı ısıtma hızları altında alınan TL spektrumu.



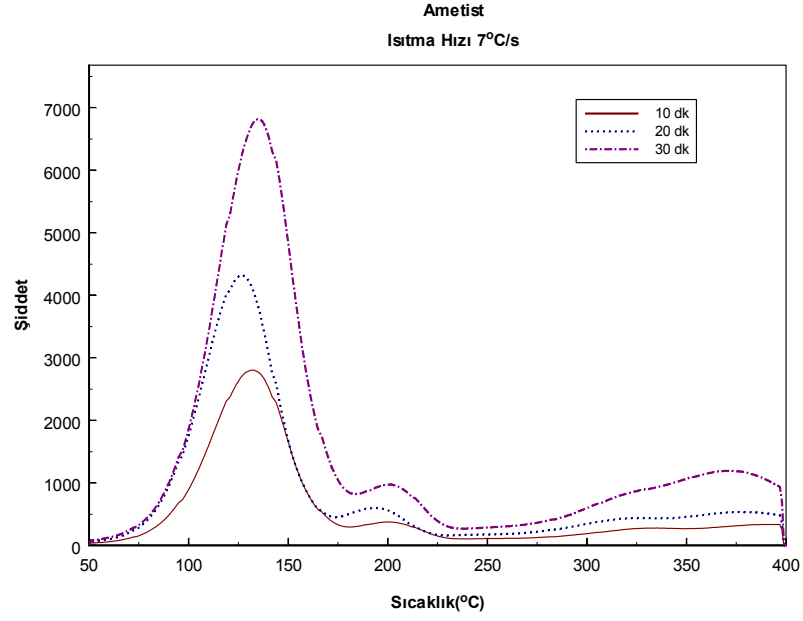
Şekil 9.5. 20 dk süreyle X-ışınına maruz bırakılmış doğal ametist mineralinin farklı ısıtma hızları altında alınan TL spektrumu

Şekil 9.4 de 10 dk ve şekil 9.5 te 20 dk süreyle X-ışınına maruz bırakılmış ametist mineralinin farklı ısıtma hızları ile alınan termolüminesans spektrumları verilmiştir. Buradaki amaç sabit ışınlama süresi altında ısıtma hızının artması ile birlikte spektrumun değişimini incelemektir. Her iki spektrum da incelendiğinde, ısıtma hızının artması ile birlikte elde edilen piklerin daha yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı görülmektedir. Bunun sebebi örneğin üzerine yerleştirildiği örnek taşıyıcı ile örnek arasında meydana gelen sıcaklık gecikmesi (thermal lag) dir.

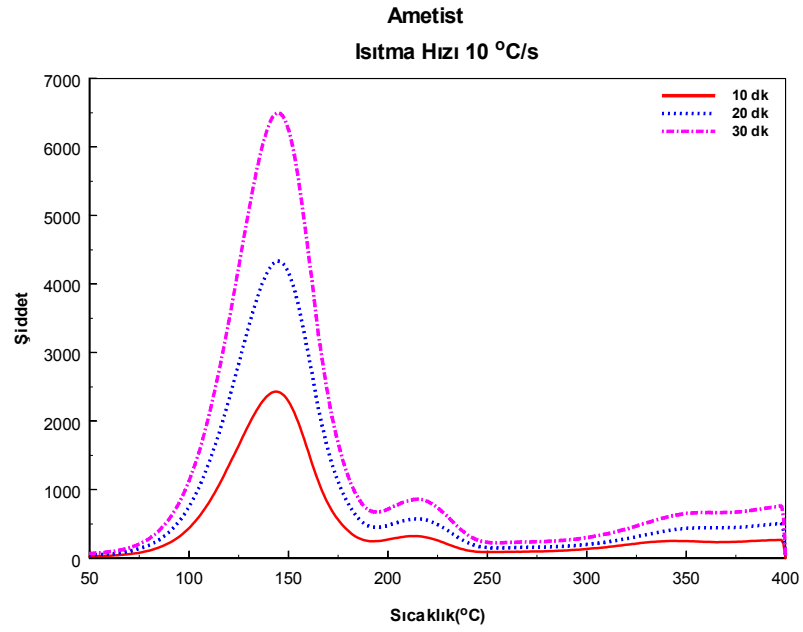
Ametist mineralinin termolüminesans spektrumu ısıtma hızı sabit tutulup ışınlama süresi değiştirilerek de incelenmiştir. Bu amaçla 10 dk, 20 dk ve 30 dk boyunca X-ışını ile ışınlamış örneklerin TL spektrumu alınmıştır. Şekil 9.6 , 9.7 ve 9.8 de sırasıyla ısıtma hızı 5 °C/s, 7 °C/s ve 10 °C/s olarak seçilmiştir. Tüm ısıtma hızları için ışınlama süresi arttıkça elde edilen TL piklerinin şiddeti artmıştır.



Şekil 9.6. Farklı sürelerde X-ışına maruz bırakılmış doğal ametist mineralinin ısıtma hızı 5 °C/s seçilerek alınan termolüminesans spektrumu.



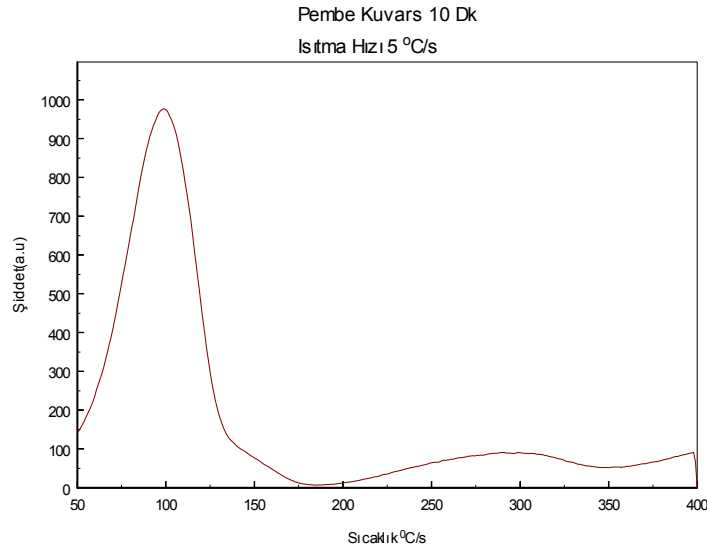
Şekil 9.7. Farklı sürelerde X-ışına maruz bırakılmış doğal ametist mineralinin ısıtma hızı 7 °C/s seçilerek alınan termolüminesans spektrumu.



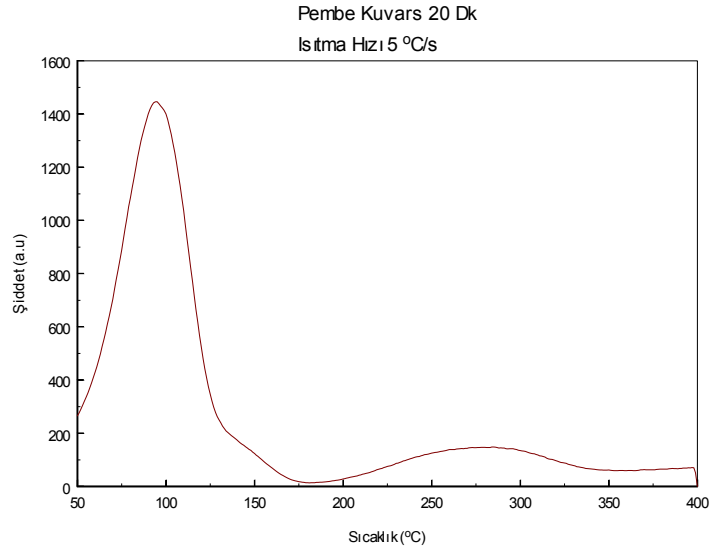
Şekil 9.8. Farklı sürelerde X-ışına maruz bırakılmış doğal ametist mineralinin ısıtma hızı 10 °C/s seçilerek alınan termolüminesans spektrumu.

Şekil 9.6.da ısıtma hızı 5 °C/s, şekil 9.7.de 7 °C/s, şekil 9.8.de 10 °C/s seçilerek 10,20,30 dk X ışınına maruz bırakılmış ametist mineralinin termolüminesans spektrumları gösterilmiştir. Bu üç grafiği incelediğimizde ısıtma hızı sabit tutulup X ışınına maruz kalma süresi arttıkça oluşan piklerin şiddetinin arttığı söylenebilir. Şekil 9.6 da ısıtma hızı 5 °C/s seçildiğinde 10 dk, 20 dk, 30 dk için 120 °C ve 200 °C civarında iki ana pik gözlenmiştir. Bu deneyde alınan sonuçlar Felicia D.G.Rocha ve arkadaşlarının [12] makalesindeki ametistin TL ölçümünde oluşan pikler ile uyumludur. Buradaki farklar bizim ışınlama kaynağı olarak X ışınını, Felicia D.G.Rocha ve arkadaşlarının [12] ise ^{60}Co ' ı kullanmalarından kaynaklanmaktadır.

Pembe kuvars mineralinin de termolüminesans spektrumları alınmıştır. Bu amaçla örnekler ısıtma hızı 5, 7 ve 10 °C/s seçilerek 10 ve 20 dk süreyle X-ışınına maruz bırakılmıştır. Kullanılan AXUM programı ile pembe kuvars mineralinin TL grafikleri çizilmiştir. Böylece pembe kuvars mineralinin termolüminesans spektrumlarında hem ışınlama süresinin hem de ısıtma hızının etkisi incelenmiştir.



Şekil 9.9. 10 dakika boyunca X-ışını ile ışınlanmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 5 °C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu.

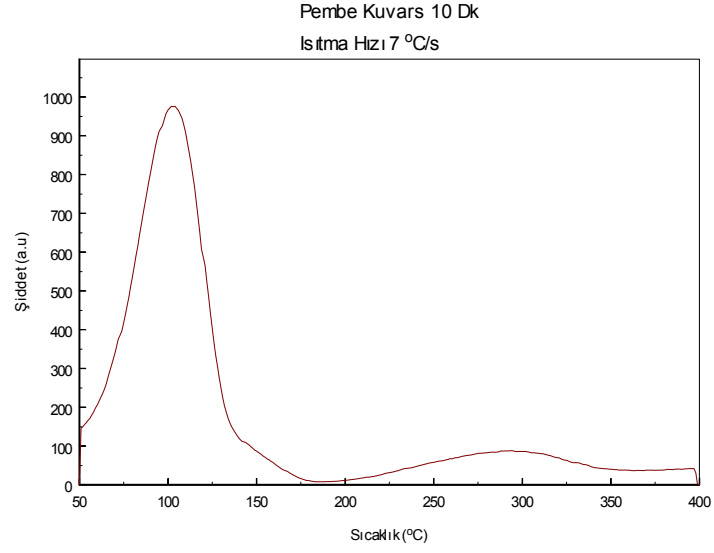


Şekil 9.10. 20 dakika boyunca X-ışını ile ışınlanmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 5 °C/s seçilerek oluşan termoluminesans spektrumu.

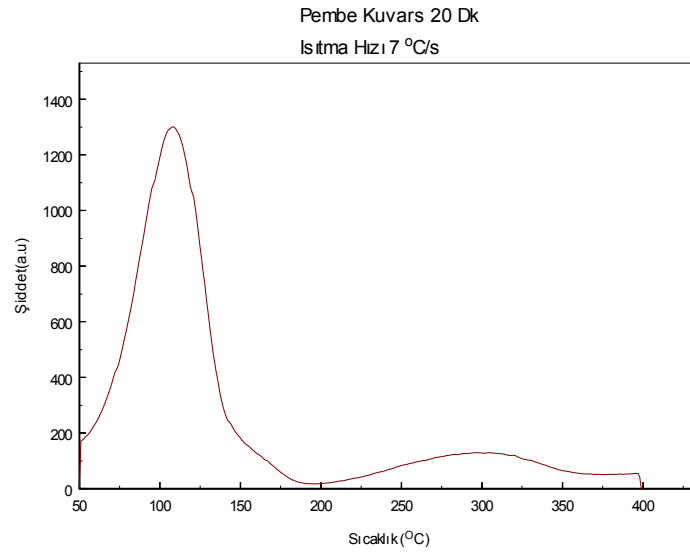
Şekil 9.9 da 10 dakika X ışınına maruz bırakılmış pembe kuvars mineralinin 50-400 °C sıcaklık aralığında ısıtma hızı 5 °C/s olarak seçilerek oluşturulan termoluminesans spektrumu görülmektedir. Şekil 9.10 da ısıtma hızı 5 °C/s olarak bırakılıp sıcaklık aralığı yine 50-400 °C arasında seçilip 20 dakika X ışınına maruz bırakılarak pembe kuvarsın TL ölçümleri alınmıştır. Elde edilen spektrumlarda 100 °C ve 300 °C civarında iki tane TL piki gözlenmiştir. Bu iki grafik karşılaştırıldığında daha fazla X ışınına maruz kalan pembe kuvars mineralinde daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek ışıma şiddetine sahip pikler oluştuğu görülmektedir.

Şekil 9.11 ve şekil 9.12 de ısıtma hızı 7 °C/s , şekil 9.13 ve şekil 9.14 de ısıtma hızı 10°C/s seçilerek 10 dakika ve 20 dakika boyunca X ışını ile ışınlanmış doğal pembe kuvars mineralinin termoluminesans spektrumları oluşturulmuştur. 10 dakika da alınan grafikler ile 20 dakikada alınan grafikler Axum programında birleştirilerek şekil 9.15 ve şekil 9.16 grafikleri elde edilmiştir. Böylece doz miktarı sabit tutulduğunda farklı ısıtma

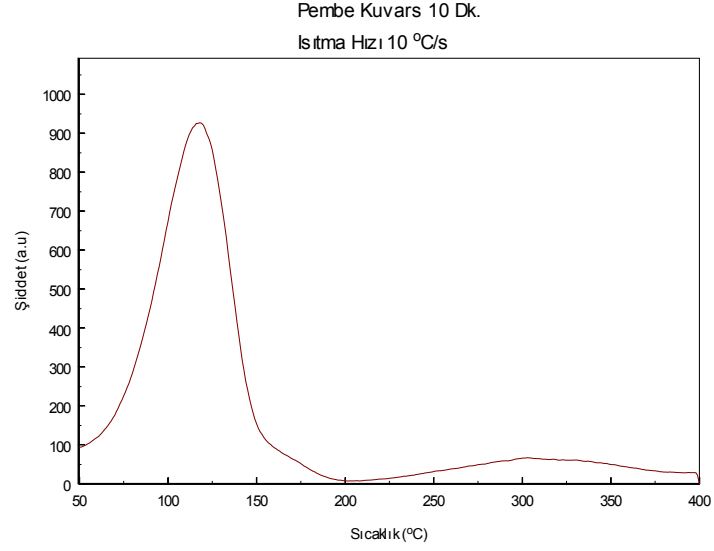
hızlarında oluşan piklerin sıcaklık ve şiddetleri karşılaştırılmıştır. Buna göre ısıtma hızları arttıkça piklerin şiddeti düşmekte, piklerin oluştuğu sıcaklık ise artmaktadır.



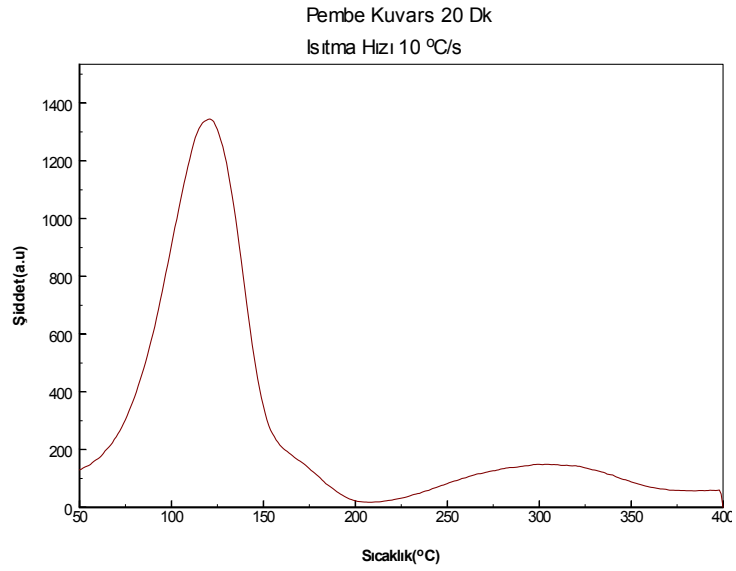
Şekil 9.11. 10 dakika boyunca X-ışını ile ışınlanmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 7 °C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu.



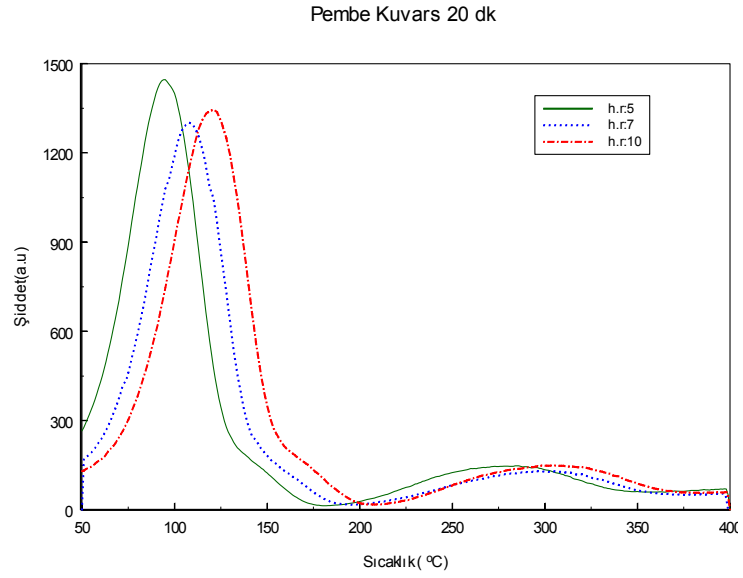
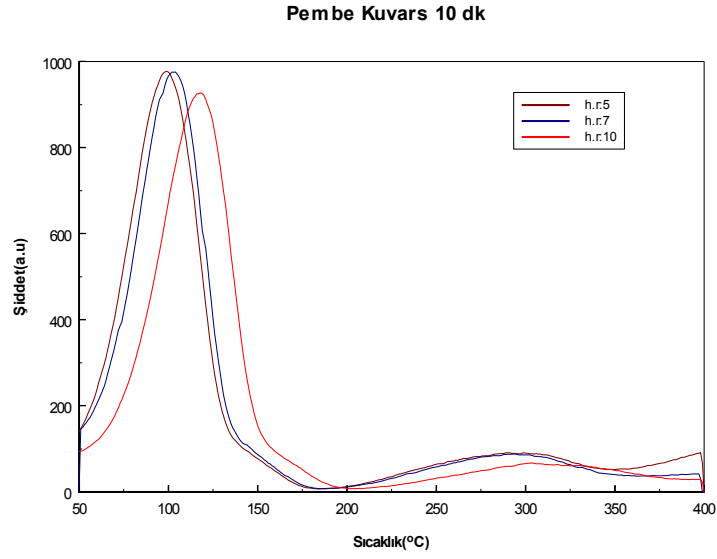
Şekil 9.12. 20 dakika boyunca X-ışını ile ışınlanmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 7°C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu.



Şekil 9.13. 10 dakika boyunca X-ışını ile ışınlanmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 10°C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu.



Şekil 9.14. 20 dakika boyunca X-ışını ile ışınlanmış doğal pembe kuvars mineralinin ısıtma hızı 10°C/s seçilerek oluşan termolüminesans spektrumu.



10.KAYNAKLAR

- [1] A. Çetin “Farklı Metalik İyonlarla Bombalanan ZnO Örneklerinin Fiziksel ve Yapısal Özelliklerinin Nükleer, Lüminesans ve Diğer Teknikler Kullanılarak İncelenmesi” Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 2007.
- [2] C. Habiboğlu “Akçakent Floritlerinin Termolüminesans Özelliklerine Tuzak Parametrelerinin Çalışılması” Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2008.
- [3] M. Yüksel “Orta Anadolu Fluoritlerinin (CaF₂) Termolüminesans (TL) Işıma Tepelerine Tavlamanın Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2008.
- [4] T. Schilles, N.R.J. Poolton, E. Bulur et. al. “A Multi-Spectroscopic Study of Luminescence Sensitivity Changes in Natural Quartz Induced by High-Temperature Annealing” J. Phys. D: Appl. Phys. 34 (2001) 722-731.
- [5] R.Kibar “Farklı Metal İyonları İle Bombalanan SrTiO₃ Kristalinin ve Bazı Minerallerin Nükleer ve Diğer Yöntemlerle İncelenmesi”Doktora Tezi,2007.
- [6] M. Heinz Anderle “Dedection of food Irradiation with Luminescence Methods” PhD. Thesis, Vienna, 1997.
- [7] C. Soika, H. Delince “Thermoluminescence Analysis for Dedection of Irradiated Food-Effect of Dose Rate on The Glow Curves of Quartz” Lebensm.-Wiss.u. Technol 33 (2000) 440-443.
- [8] C. Soika, H.Delincee “Thermoluminescence Analysis for Dedection of Irradiated Food-Luminescence Characteristics of Minerals for Different Types of Radiation and Radiation Doses” Lebensm.-Wiss.u. Technol 33(2000) 431-439.
- [9] V. Correcher, J. Garcia-Guinea, L. Sánchez-Muñoz et. al. “Effect of Dopants in The Luminescent Properties of Synthetic Quartz for Dosimetric Purposes” J. Mat. Proc. Techn. 143-144, (2003) 871-874.
- [10] M.L. Chithambo “Time-Resolved Luminescence from Annealed Synthetic Quartz Under 525 nm Pulsed Green Light Stimulation” Rad. Meas. 38 (2004) 553-555.
- [11] Grzegorz Adamiec, “Properties of The 360 and 550 nm TL Emissions of The 110 °C Peak in Fired Quartz” Radiation Meas. 39 (2005) 105-110.

- [12] D. Felícia, G. Rocha, L. Mércia et. al. “Properties of Sintered Amethyst Pellets as Thermoluminescent Dosimeters” *App. Rad. and Isot.* 58(1) (2003) 85-88.
- [13] G.O. Sawakuchi, E. Okuno “Effect of High Gamma Ray Doses in Quartz” *NIM B* 218 (2004) 217-221.
- [14] M.Güldürek “Amik Ovası Tell Atçana Höyüğü Sur Dibi Seramiklerinin Termolüminesans Yöntemiyle Tarihlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2006.
- [15] Ö.Gürel “Lityum Florür Fosforunun Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi ve Termolüminesans Dozimetre ile Doz tayini” Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- [16] G.Arıcılar “Saf Ve Katkılandırılmış $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ Kristalinin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Manisa,2009.
- [17] M. İ. Katı “Kalsit Mineralinin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Lisans Tezi, Manisa, 2009.
- [18]<http://www.utdallas.edu/~jblee/EE3310/Luminescence.pdf> (Erişim Tarihi: Ocak 2010)
- [19] N.CAN, “Studies Of Ion Implantation Into Insulators Using Nuclear Methods, Luminescence And Waveguide Techniques”, PhD. Thesis, The University of Sussex, UK, 1995.
- [20] T. Karalı “Luminescence Studies of rare Earth Doped Dosimeters” PhD. Thesis, University of Sussex, 1999.
- [21] D.R. Vij “Luminescence of Solids” Plenum Press, New York,1998.
- [22] Bora Taştekin, “Ametist Mineralinin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Lisans Tezi, Manisa,2009.
- [23]C.Harmanşah “Termolüminesans-Optik Uyarımlı Lüminesans Sisteminin Kurulması ve UV Radyasyonunun Ölçümünde Kullanılması” Doktora Tezi, 2006.
- [24] AITKEN, M.J., Recent Advances in Thermoluminescence Dating, *Radiation Protection Dosimetry* 6 (1985) 181-183.
- [25] A. G Wintle “Luminescence Dating of Aeolian Sands: An Overview” *Geological Society London, Special Publications* 72 (1993) 49–58.

- [26] A. S Pradhan “Effect of Heating on The Responces of $\text{CaF}_2\text{:Cu}$, $\text{CaF}_2\text{:Tm}$, $\text{CaF}_2\text{:Dy}$ and $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ ” Radiation Protection Dozimetry, 100 1-4, (2002) 289-292.
- [27] S.W.S. McKeever 1985 “Thermoluminescence of Solids” Cambridge University Press.
- [28] N.W. Ashcroft, N.D. Mermin “Solid State Physics” W.B. Saunders Company, New York, 1976.
- [29] C. Kittel, “Kathal Fiziğine Giriş”, Bilgi Tek yayıncılık, İstanbul 1996.
- [30] J.R. Hook, H.E. Hal ”Kathal Fiziği” Wiley, Literatür yayıncılık, 1999.
- [31] T.Caferov, “Yarı İletken Fiziği-1” Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, 1998.
- [32]<http://www.baulive.com/live/index.php?s=a571da61c3dd1dfe5bb8c73f1f0f7a31&showtopic=34683&pid=457074&st=0&#entry457074> (Erişim Tarihi:Ocak 2010)
- [33] www.ebilge.com (Erişim Tarihi:Ocak 2010)
- [34] www.yeryuzu.com (Erişim Tarihi:Ocak 2010)
- [35] M.Durukan “Minerallerin Optiksel ve Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, 2008.
- [36] Dalman D, Duran P, “Günümüzde Minerallerdeki Lüminesans Çalışmaları, Manisa- Haziran 2004.
- [37]Q.Zhang, B.Yang, R.A.Wood et. al. ‘ Thermoluminescence Spectra of Amethyst’ Rad. Meas.23 (1994) 423-431.
- [38] M. Yenyol, Genel Mineraloji, Fiziksel Özellikler Bölüm 6, <http://www.istanbul.edu.tr/eng2/jeoloji/akademik/mp/myenyol/mineraloji/fiziksel.pdf>, (Erişim Tarihi: Ocak 2010)
- [39]<http://www.ms-gateway.gen.tr/forum/topic/multiple-sklerose-sustaslari-ve-faydalari-gemstones-21994.htm> (Erişim Tarihi: Ocak 2010)
- [40] www.mindat.org (Erişim Tarihi:Ocak 2010)
- [41] www.mineralgalleries.com (Erişim Tarihi:Ocak 2010)
- [42] <http://cevreyapi.com/mineraller/minerallerk.htm#KUVARS> (Erişim Tarihi: Ocak 2010)

- [43]<http://www.1bilgi.com/maden/5436/tas-yapan-mineraller.html> (Erişim Tarihi: Ocak 2010)
- [44] H.Toktamış, Isıtma Oranı Metodunu Kullanarak Tavlamanın Maksimum Tepe Sıcaklıkları Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, http://nukleer.ege.edu.tr/download/LMDZ3_PPT/28_SEP_09/toktamis.ppt (Erişim Tarihi: Ocak 2010)
- [45]Evans, R. C. (1966). *An introduction to Crystal Chemistry*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [46]Paradysz, R. E. and Smith, W. L. (1975). Crystal Controlled Oscillators for Radiation Environments. *Radiat. Effects*, 26, 213-218.
- [47] Khan, H.M. and Ehlermann (1993). Food irradiation dosimetry using thermoluminescence of quartz sand *D.A.E* ,16, 76-81.
- [48] Leite, R.C.C., Szulc, A., Lemos, C.R., Machado, E., Arcoverde, W.L. (1992). *Quartzo: Da Magia Pas Fibras M Opticas* – Livraria Duas Cidades, SP.
- [49]<http://tr.wikipedia.org/wiki/Kuvars>.(Erişim Tarihi: Ocak 2010)
- [50]<http://www.rainbowstone.org/documents/37.html>. (Erişim Tarihi: Ocak 2010)
- [51]<http://tr.wikipedia.org/wiki/Ametist>. (Erişim Tarihi: Ocak 2010)
- [52]R. F. Symes, "Taşların Dünyası" (*Eyewitness Rock and Mineral*), Çeviren: Gürol Seyitođlu, Tübitak Popüler Bilim Kitapları, Başvuru Kitaplığı 9, (1988).
- [53] X.H. Yang and S.W.S. McKeever “The Pre-Dose Effect In Crystalline Quartz”. *J. Phys D*. 23 (1990) 237-244.
- [54] V.D. Alexander, D.T. Griffen and T.J. Martin “Crystal Chemistry of Some Fe- and Ti-Poor Dumortierites” *Amer. Miner.* 71 (1986) 786-794.
- [55] S.I. Ignatov, A.N. Platanov, V.S. Sedenko et.al. “Rose Color of Quartz Caused by Dumortierite Microinclusions” *Dop. Akad. Nauk- Ukrain. RSR Seriya B* 7 (1990) 23-27.
- [56]Julia S.Goreva, Chi Ma, And George R.Rossman, ‘Fibrous nanoinclusions in massive rose quartz: The origin of rose coloration’ *American Mineralogist*, Volume 86, (2001) 466–472.

ÖZGEÇMİŞ

ADI SOYADI : Özlem ÇİVİCİOĞLU
DOĞUM YERİ VE YILI : İZMİR, 1978
ÖĞRENİM DURUMU :
 2008-2010 : Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri
 Enstitüsü, Fizik Yüksek Lisans
 1996-2000 : Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi
 Fizik Bölümü
TEZ BAŞLIĞI : Minerallerin Termoluminesans Özelliklerinin
 İncelenmesi