

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS  
FİZİK ANABİLİM DALI  
KATIHAL FİZİĞİ BİLİM DALI**

**LEPİDOLİT VE TURMALİNİN LÜMİNESANS  
ÖZELLİKLERİNİN VE KİNETİK PARAMETRELERİNİN  
İNCELENMESİ**

**GÜLBERK AKÇAM**

**Danışman  
Prof. Dr. Rana KİBAR**



**MANİSA-2019**

**Gülberk  
AKÇAM**

**Lepidolit ve Turmalinin Lüminesans Özelliklerinin ve Kinetik Parametrelerinin İncelenmesi  
2019**

## TEZ ONAYI

**Gülberk AKÇAM** tarafından hazırlanan “**Lepidolit ve Turmalinin Lüminesans Özelliklerinin ve Kinetik Parametrelerinin İncelenmesi**” adlı tez çalışması 22/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Katıhal Fiziği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

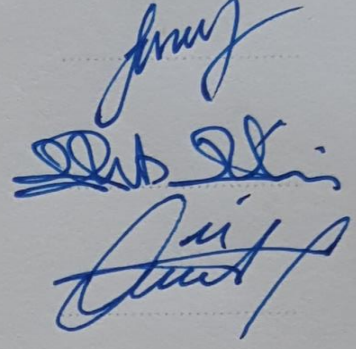
**Prof. Dr. Rana KİBAR**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Ahmet ÇETİN**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

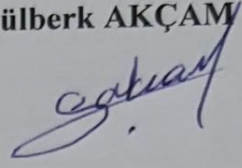
**Dr.Öğr.Üyesi Murat TÜREMİŞ**  
Bursa Teknik Üniversitesi



## TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Gülberk AKÇAM**





## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER .....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
TABLO DİZİNİ .....	VIII
TEŞEKKÜR.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT .....	XI
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Termolüminesans ile İlgili Literatür Özeti .....	1
1.2. Lepidolit ve Turmalin Mineralleri ile İlgili Lüminesans Çalışmaları .....	3
1.2.1. Lepidolit ile İlgili Lüminesans Çalışmaları .....	3
1.2.2. Turmalin ile İlgili Lüminesans Çalışmaları .....	3
1.3. Çalışmanın Amacı .....	4
<b>2. MİNERALLER</b> .....	<b>6</b>
2.1. Mineraloji .....	6
2.2. Kristaller .....	7
2.3. Kristal Yapı .....	8
2.3.1. Kristal Örgü.....	8
2.3.2. Birim hücre .....	9
2.4. Kristal Yapı Kusurları .....	12
2.4.1. Noktasal (Sıfır Boyutlu ) Kusurlar .....	13
2.4.2. Çizgisel (1- Boyutlu) Kusurlar : Dislokasyonlar .....	16
2.4.3. Yüzeysel ( 2-Boyutlu) Kusurlar .....	18
2.4.4. Hacimsel (3-Boyutlu) Kusurlar .....	21
<b>3. MİNERALLERİN ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>22</b>
3.1. Skaler ( yöne bağlı olmayan) Özellikler.....	23
3.2. Vektörel ( yöne bağlı ) Özellikler.....	23
3.2.1. Kohezyon Özellikleri.....	24
3.2.2. Termik – Isı Özellikleri.....	28
3.2.3. Manyetik Özellikler .....	28
3.3. Minerallerin Tanınmasında Yararlanılan Diğer Fiziksel Özellikler.....	30
3.4. Minerallerin Tanınmasında Yararlanılan Kimyasal Özellikler .....	34
<b>4. LÜMİNESANS</b> .....	<b>39</b>
4.1. Ömür Sürelerine Göre Lüminesans Türleri.....	41
4.2. Uyarılma Türlerine Göre Lüminesans.....	42

4.2.1. Fotolüminesans (PL) .....	43
4.2.2. Katodolüminesans (CL) .....	44
4.2.3. Radyolüminesans (RL) .....	46
4.2.4. Tribolüminesans .....	47
4.2.5. Elektrolüminesans (EL) .....	48
4.2.6. Sonulüminesans .....	49
4.2.7. Kemilüminesans .....	49
4.2.8. Biyolüminesans .....	50
4.2.9. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) .....	50
4.2.10. İyolüminesans .....	51
4.2.11. Piezolüminesans .....	51
4.2.12. Termolüminesans (TL) .....	51
<b>5. TERMOLÜMINESANS KİNETİKLERİ</b> .....	<b>56</b>
5.1. Birinci Derece Kinetikler .....	56
5.2. İkinci Derece Kinetik .....	58
5.3. Genel Derece Kinetik .....	61
<b>6. DENEYSEL SİSTEMLER</b> .....	<b>64</b>
6.1. TLD Reader-Analyser Sistemi .....	64
6.1.1. TLD Reader-Analyser Sisteminin Çalışma Prensibi .....	65
6.1.2. Sistemin Temel Özellikleri .....	66
6.2. X-Işını Tüpü ve Radyolüminesans (RL) Sistemi .....	67
6.3. Optik Soğurma Sistemi .....	69
6.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) .....	73
6.4.1. SEM'in Çalışma Prensibi .....	74
6.5. X-Işını Kırınımı .....	75
6.6. Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) .....	77
<b>7. MATERYAL VE YÖNTEMLER</b> .....	<b>80</b>
7.1. Giriş .....	80
7.2. Kullanılan Mineraller ve Özellikleri .....	80
7.2.1. Lepidolit .....	80
7.2.2. Turmalin .....	83
<b>8. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>85</b>
8.1. Element Analizi Sonuçları .....	85
8.2. Termolüminesans Verileri .....	89
8.2.1. Lepidolitin Termolüminesans Verileri .....	90
8.2.2. Siyah Turmalinin Termolüminesans Verileri .....	98
8.3. Radyolüminesans Verileri .....	102

8.3.1. Lepidolitin RL verileri .....	102
8.3.2. Turmalinin RL verileri.....	104
8.4. XRD Ölçümleri .....	105
8.4.1 Lepidolitin XRD Ölçümleri .....	105
8.4.2. Turmalinin XRD Ölçümleri.....	107
8.5. SEM Görüntüleri .....	108
8.6. Optik Soğurma Ölçümleri .....	110
8.7. FT-IR Analiz Sonuçları .....	113
8.7.1.Lepidolitin FT-IR Sonuçları .....	113
8.7.2. Turmalinin FT-IR Sonuçları .....	114
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>116</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>120</b>





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>TL</b>	Termolüminesans
<b>RL</b>	Radyolüminesans
<b>XRD</b>	X-Işım Kristalografisi
<b>SEM</b>	Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>FT-IR</b>	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
<b>CL</b>	Katodolüminesans
<b>ICDD</b>	Uluslararası Kırınım Verileri Merkezi
<b>UV</b>	Morötesi
<b>PM</b>	Foto Çoğaltıcı
<b>NIR</b>	Yakın kızılötesi
<b>IR</b>	Kızılötesi
<b>ICP-MS</b>	İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Pembe turmalinin Doz- TL değişimi .....	4
Şekil 2.1. Düzenli-düzensiz (amorfl) atomlara sahip bir kristal yapısı.....	8
Şekil 2.2. Bir birim hücrenin şematik olarak gösterimi(url 1) .....	9
Şekil 2.3. Kristal sistemleri ve Bravais örgülerinin gösterimi (url 2).....	10
Şekil 2.4. Fe kafesindeki C atomları.....	13
Şekil 2.5. AuCu <sub>3</sub> katı çözeltilisine ait örgü yapısı .....	14
Şekil 2.6. Kafesteki ara yer ve boş yer gösterimi .....	15
Şekil 2.7. Frenkel ve Schottky kusurlarının gösterimi.....	15
Şekil 2.8. (a) Kenar dislokasyonu, (b) Kenar dislokasyonunda Burgers Vektörü, (c) Oluşan kristal basamak, (d) Burgers Vektörü dislokasyon eksenine diktir.....	17
Şekil 2.9. (a) vida dislokasyonu, (b) Vida dislokasyonunda Burgers Vektörü. ...	18
Şekil 2.10. Karışık dislokasyon.....	18
Şekil 2.11. (a) Mükemmel kristal, (b) ikizlemeden dolayı atomlardaki öteleme, (c) kristal bölgeyi birbirinden ayıran ikiz sınırı.....	19
Şekil 2.12. Taneler arasındaki sınır.....	20
Şekil 2.13. Küçük açılı tane sınırı.....	20
Şekil 2.14. Hacimsel Kusurlar ( url 3).....	21
Şekil 3.1. Kristal, polikristal ve amorf mineral yapısı (url 4).....	22
Şekil 3.2. Işığın madde ile etkileşmesi sonucunda meydana gelen yansıma, kırılma, yayıma ve absorpsiyon (url 6).....	30
Şekil 3.3. Farklı renkte mineraller.....	31
Şekil 3.4. Minerallerin çizgi rengi gösterimi.....	31
Şekil 3.5. (a) metalik( galenit), (b) metalik olmayan( pembe kuvars) mineraller...	32
Şekil 3.6. Halit mineralinin, (a) kristal yapısı,(b) kristal şekli.....	33
Şekil 3.7. (a) Bazal yarıлма(piroksen), (b) Rombohedral yarıлма(korund).....	33
Şekil 3.8. Halit mineralinin (NaCl) örgü yapısı (url 8).....	34
Şekil 3.9. Kovalent bağ oluşumu (url 9).....	35
Şekil 3.10. Hidrojen gazı oluşumu.....	35
Şekil 3.11. Su molekülünün oluşumu.....	36
Şekil 3.12. Metalik bağ.....	37
Şekil 3.13. Neon mineralinin atomları arasındaki Van der Waals bağı.....	38
Şekil 4.1. Lüminesans olayının şematik gösterimi.....	39
Şekil 4.2. Katılarda enerji bant modeli.....	39
Şekil 4.3. Farklı yollarla oluşan lüminesans .....	40
Şekil 4.4. Floresans ve fosforesans olaylarının şematik olarak gösterimi.....	41
Şekil 4.5. Fotolüminesans olayının; (a) deney düzeneği, (b) bant gösterimi.....	44
Şekil 4.6. Değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki geçişlerin şematik diyagramı (E <sub>a</sub> : alıcı seviye, E <sub>d</sub> : verici seviye).....	45
Şekil 4.7. Katodolüminansın oluşum mekanizması ( url 10).....	46
Şekil 4.8. Radyolüminesansın band diyagramındaki gösterimi.....	46
Şekil 4.9. Çeşitli yollarla oluşan tribolüminesans (url 11).....	48
Şekil 4.10. Elektrik akımından dolayı oluşan elektrolüminesans.....	48

<b>Şekil 4.11.</b> Sonulüminesansın meydana geliş şekli.....	49
<b>Şekil 4.12.</b> Ateş böceğinde biyolüminesans olayı.....	50
<b>Şekil 4.13.</b> Termolüminesansın bant modeli gösterimi.....	51
<b>Şekil 4.14.</b> Termolüminesans olayının gösterimi.....	52
<b>Şekil 4.15.</b> Doğal bir ametist örneğinden elde edilmiş ışımaya eğrisi.....	53
<b>Şekil 4.16.</b> Enerji Band Modeli, (a) Işınlama sonucu uyarılan elektronların yarı kararlı enerji seviyelerinde bulunan tuzaklarda tuzaklanmaları, (b) Isısal yolla uyarılan elektronların yeniden birleşme merkezindeki boşluklar (deşikler) ile birleşerek TL fotonu yayınlanması.....	55
<b>Şekil 5.1.</b> $T_M$ , tuzaklanmış elektronların başlangıçtaki yoğunluğu olan $n_0$ 'dan bağımsızdır (Furetta ve ark., 1998).....	58
<b>Şekil 5.2.</b> Kinetik mertebenin ışımaya eğrisi üzerine etkisi. I, birinci derece kinetiğe sahip; II ise ikinci dereceden kinetiğe sahip örnekte elde edilen tepelerin şeklidir. İki eğri arasındaki büyük fark, eğrinin alçalan kısmında görülmektedir (Furetta ve ark., 1998).....	61
<b>Şekil 5.3.</b> Parametreleri $E=1$ eV, $s=10^{12} s^{-1}$ , $n_0=N=10^3 m^{-3}$ olan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması.....	62
<b>Şekil 5.4.</b> $E=1$ eV, $s=10^{12} s^{-1}$ , $N=10^{10} m^{-3}$ , (a için) $n_0=1, 0.5, 0.1 \times 10^{10} m^{-3}$ , (b için) $n_0/N=1, 0.5, 0.1$ olan farklı $n_0$ konsantrasyonları için birinci ve ikinci derece TL yoğunluğunun değişimi.....	62
<b>Şekil 5.5.</b> $E=1$ eV, $s=1 \times 10^{12} s^{-1}$ , ve $\beta=1$ °Ks <sup>-1</sup> için genel dereceli TL ışımaya pikleri.....	64
<b>Şekil 6.1.</b> RA'94 TLD Reader-Analyser Sistemi.....	66
<b>Şekil 6.2.</b> X- Işını kontrol ünitesi.....	69
<b>Şekil 6.3.</b> Radyolüminesans sisteminin şematik gösterimi.....	70
<b>Şekil 6.4.</b> Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sistemi.....	71
<b>Şekil 6.5.</b> Perkin Emler Lambda 950 spektrofotometre sisteminin iç yapısının şematik gösterimi.....	73
<b>Şekil 6.6.</b> İki farklı tür örnek odasını da içeren Lambda 950 Spektrofotometresi.....	74
<b>Şekil 6.7.</b> İYTE'de bulunan Phillips XL-30 marka SEM mikroskobu (Url 13).....	76
<b>Şekil 6.8.</b> SEM'in çalışma prensibinin basitçe gösterimi .....	77
<b>Şekil 6.9.</b> Bir katıdaki X-ışını kırınımı(url 15).....	79
<b>Şekil 6.10.</b> XRD Cihazı (url 16).....	80
<b>Şekil 6.11.</b> FTIR cihazı çalışma şeması.....	81
<b>Şekil 6.12.</b> ATR sistemli FTIR Ölçüm cihazı.....	81
<b>Şekil 7.1.</b> Turmalinin {0001} yüzeyine göre projeksiyonu.....	86
<b>Şekil 8.1.</b> Pembe lepidolitin ısıtma hızı 1 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlanma sürelerindeki TL ölçümü.....	90
<b>Şekil 8.2.</b> Pembe lepidolitin ısıtma hızı 3 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlanma sürelerindeki TL ölçümü.....	91
<b>Şekil 8.3.</b> Pembe lepidolitin ısıtma hızı 5 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlanma sürelerindeki TL ölçümü.....	92
<b>Şekil 8.4.</b> Pembe lepidolitin farklı ısıtma hızlarında(1,3,5 °C/s) ve 10 dk ışınlanma süresinde TL ölçümü.....	93
<b>Şekil 8.5.</b> Pembe lepidolitin farklı ısıtma hızlarında(1,3,5 °C/s) ve 20 dk ışınlanma süresinde TL ölçümü.....	94

<b>Şekil 8.6.</b> Pembe lepidolitin farklı ısıtma hızlarında(1,3,5 °C/s) ve 30 dk ışınlama süresinde TL ölçümü.....	95
<b>Şekil 8.7.</b> Mor lepidolitin ısıtma hızı 1 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlanma sürelerindeki TL ölçümü.....	96
<b>Şekil 8.8.</b> Mor lepidolitin ısıtma hızı 3 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlanma sürelerindeki TL ölçümü.....	97
<b>Şekil 8.9.</b> Siyah turmalinin ısıtma hızı 1 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlanma sürelerindeki TL ölçümü.....	98
<b>Şekil 8.10.</b> Siyah turmalinin ısıtma hızı 3 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlanma sürelerindeki TL ölçümü. ....	99
<b>Şekil 8.11.</b> Siyah turmalinin ısıtma hızı 5 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlanma sürelerindeki TL ölçümü. ....	100
<b>Şekil 8.12.</b> Siyah turmalinin farklı ısıtma hızlarında (1,3,5 °C/s) ve 10 dk ışınlama süresinde TL ölçümü.....	101
<b>Şekil 8.13.</b> Mor lepidolitin 200-1000 nm'deki RL ölçümü.....	102
<b>Şekil 8.14.</b> Pembe lepidolitin 200-1000 nm'deki RL ölçümü.....	103
<b>Şekil 8.15.</b> Pembe turmalinin200-1000 nm'deki RL ölçümü.....	104
<b>Şekil 8.16.</b> Mor lepidolitin XRD ölçümü.....	105
<b>Şekil 8.17.</b> Pembe lepidolitin XRD ölçümü.....	106
<b>Şekil 8.18.</b> Siyah turmalin XRD ölçümü.....	107
<b>Şekil 8.19.</b> Pembe turmalin XRD ölçümü.....	107
<b>Şekil 8.20.</b> Mor lepidolitin 10µm'deki SEM görüntüsü.....	108
<b>Şekil 8.21.</b> Pembe Lepidolitin 10 µm'deki SEM görüntüsü.....	109
<b>Şekil 8.22.</b> Pembe Turmalinin 10 µm'deki SEM görüntüsü .....	109
<b>Şekil 8.23.</b> Mor lepidolitin optiksel soğurma spektrumu.....	110
<b>Şekil 8.24.</b> Pembe lepidolitin optiksel soğurma spektrumu.....	111
<b>Şekil 8.25.</b> Pembe turmalinin optiksel soğurma spektrumu.....	112
<b>Şekil 8.26.</b> Mor lepidolit için FT-IR spektrumu.....	113
<b>Şekil 8.27.</b> Pembe lepidolit için FT-IR spektrumu.....	114
<b>Şekil 8.28.</b> Pembe turmalin için FT-IR spektrumu.....	114
<b>Şekil 8.29.</b> Siyah turmalin için FT-IR spektrumu.....	115

## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Yedi kristal sistemi ve Bravais örgüleri.....	11
Tablo 3.2. Mohs Sertlik Cetvel .....	26
Tablo 3.3. Minerallerde dilinim .....	27
Tablo 6.1. Optik soğurma sisteminin teknik özellikleri özellikleri .....	72
Tablo 8.1. Mor lepidolit örneğinin element analizi sonuçları.....	89
Tablo 8.2. Siyah turmalin örneğinin element analizi sonuçları.....	91



## TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Rana KİBAR'a ve Sayın Prof. Dr. Ahmet ÇETİN'e, bilgi ve tecrübeleri ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen sayın Dr. İlker Çetin KESKİN, Dr. Öğr. Üyesi Murat TÜREMİŞ ve Öğr. Gör. Mehmet İsmail KATI'ya sonsuz teşekkür ederim.

Tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan annem Havva AKÇAM ve babam Mustafa AKÇAM'a ve sevgili eşim İnanç SELVİ'ye yürekten teşekkür ederim.

Gülberk AKÇAM  
Manisa, 2019

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### LEPIDOLİT VE TURMALİNİN FARKLI KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ

Gülberk AKÇAM

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Katıhal Fiziği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Rana KİBAR

Bu çalışmada lepidolit ve turmalin minerallerinin karakterizasyonu ile optik ve lüminesans özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla numunelerin içeriğini belirlemek için elementel analiz yapılmıştır. Termolüminesans (TL) ölçümleri öncesinde, üzerindeki doğal radyasyon etkisini silmek amacıyla numuneler ısıtılmıştır. 50-400 C° sıcaklık aralığında (TL), 200-1000 nm dalgaboyu aralığında radyolüminesans (RL) spektrumları elde edilmiştir. Ayrıca elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinden yakın kızılötesine kadar olan bölgedeki (200-800 nm) optik davranışlarını incelemek amacıyla optik soğurma spektrumları incelenmiş, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve FT-IR analizleri yapılmıştır. Bu analizler sayesinde lepidolit ve turmalin minerallerinin karakterizasyonu hakkında detaylı bilgi elde edilmiştir.

Literatür araştırmalarına göre, özellikle turmalin mineraline ait termolüminesans ve optiksel soğurma özellikleri ve karakterizasyon analizlerini içeren bir envantere rastlanmamıştır. Bu açıdan, yapılan çalışmanın böyle envanterin oluşturulmasına bir katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Lepidolit, Turmalin, Lüminesans, Optik Soğurma

**2019, 135 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION of LEPIDOLITE and TOURMALINE via DIFFERENT CHARACTERIZATION**

**Gülberk AKÇAM**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Solid-State Physics**

**Supervisor: Prof. Dr. Rana KİBAR**

In this study, the characterization of lepidolite and tourmaline minerals and their optical and luminescence properties were investigated. For this purpose, elemental analysis was carried out to determine the contents of the samples. Before Thermoluminescence (TL) measurements, samples were heated to remove the natural radiation effect on them. Spectra of Thermoluminescence (TL) in the range of 50-400 ° C and radioluminescence (RL) in the range of 200-1000 nm were obtained. In addition, optical absorption spectra were examined in order to investigate the optical behavior range from the visible region to near infrared (200-800 nm) of the electromagnetic spectrum and scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD) and FT-IR analyzes were performed. Through these analyzes, detailed information about the characterization of lepidolite and tourmaline minerals was obtained.

According to the literature researches, no inventory including characterization analyzes and thermoluminescence and optical absorption properties of particularly tourmaline mineral were found. In this respect, it is thought that this study can contribute to the creation of such an inventory.

**Keywords:** Lepidolite, Tourmaline, Luminescence, Optical Absorption

**2019, 135 pages**



## 1. GİRİŞ

Lepidolit ( $K(Li,Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(F,OH)_2$ ) mika grubundan bir fillosilikattır. Lityumun ikinci kaynağı olmakla birlikte Rubidyum ve Sezyum elementlerinin ana kaynağıdır. Dozimetrik uygulamalardan nötron soğurucuya, pil, cam ve seramik üretiminden renkli tv camların üretimine kadar oldukça geniş kullanım alanı nedeniyle malzeme biliminde önemli bir yere sahiptir. Farklı renklere sahip olması( mor, pembe, eflatun, gümüş beyazı) optik ve minerolojik çeşitliliği de beraberinde getirir. Bu çalışmada kullanılan bir diğer mineral de turmalindir.

Turmalin ( $(Na,Ca)(Li,Mg,Al)_3(Al,Fe,Mn)_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4$ ) tipik bir Bor minerali olup bünyesindeki Alüminyumun fazla olması sebebiyle “ Al- B- Silikat minerali” olarak tanımlanır. Turmalin kristalleri piezoelektrik özelliğe sahip olması nedeniyle doğada bulunan nadir minerallerdendir. Bu özelliği nedeniyle akıllı malzeme üretiminde, basınç ölçen cihazların yapımında, mikrofon, radar cihazı, tıbbi ultrason gibi teknolojik alanlarda, klimalarda negatif iyon tabakası olarak da kullanılmaktadır. Rengi daha çok bünyesindeki elemente ve bulunduğu ısı derecesine bağlı olarak değişir ve sahip olduğu renge göre de çeşitli isimler alır (siyah turmaline Şorl, keskin yeşile Kroma Turmalin, koyu pembeye Rubellit,...).Bu çalışmada turmalin mineralinin farklı renkleri ( siyah ve pembe ) ve lepidolit mineralinin farklı renkleri ( mor ve pembe) kullanılmıştır.

Literatürde lepidolit ve turmalin ile ilgili detaylı lüminesans verilerine ulaşılamamıştır. Bu çalışmada literatürdeki bu boşluğun kapatılması amaçlanmıştır. Lepidolit ve turmalin minerallerinin kimyasal yapısının belirlenmesi, lüminesans özelliklerinin incelenmesi daha sonra yapılacak çalışmalara ışık tutmak açısından faydalı olacaktır.

### 1.1.Termolüminesans ile İlgili Literatür Özeti

Termolüminesans ile ilgili ilk çalışmalar 18yy'da Robert Boyle (1664) tarafından gerçekleştirilmiştir. Karanlık bir odada elması avuç içinde ısıttığında, parladığını gözlemlemiştir. Ayrıca 1676'da Elsholtz Hourspar da gözlemler yapmıştır. Bilim adamlarının tahminlerine göre ısı kendi kendine ışığa dönüşüyordu. Oldenburg

1676'da "smaragdinus fosforu" adlı mineralin TL ile ilgili olarak yaydığı ışığın kaynağının sadece ateş olduğunu belirtmiştir. Du fay (1726) sülfürün yandığını ve lüminesansın bundan dolayı olduğunu düşünmüş, fakat gözlemlendiği olayın gecikmiş bir fosforesans olduğunun ilk kesin kanıtını elde etmiştir. Quartz'daki incelemeler sonucu termolüminesansın ışığa maruz bırakılması sonucu meydana geldiği anlaşıldı [1].

Kinin sülfatın 100 ve 180 °C'de ısıtılmasıyla şiddetli mavi lüminesans ürettiği 1821'de Fransız kimyacı Calloud tarafından keşfedildi ve Pelletier tarafından da onaylandı. 1864'de ünlü astronom William Herschel'in oğlu Alexander Herschel tarafından dünya dışı minerallerden Middles borough aerolitinin iç kısımlarındaki tanecik ve tozların kızgın ütüyle ısıtıldığında sarıya yakın beyaz renkte ışımaya başladığını gözlemledi (Herschel, 1864). Florsparın ısıtıldığında lüminesans yaptığını gözlemleyen Becquerel; 1864'de bu olayı rapor etmiştir [2]. Becquerel (1885) Ayrıca fluorit kristalinin TL olayını ilk defa radyum ışınması altında keşfetti.

Termolüminesans sözcüğünü ilk kullananlar Wiedemann ve Schmidt'tir. Radyasyonun keşfedilmesinden sonra yaptıkları deneyde elektron demetiyle elde ettikleri TL, daha önce yapılan TL gözlemlerinden farklıdır. Fosfor grupları ile yaptıkları bu çalışmalar yapay lüminesans olarak bilinmektedir. Trowbridge ve Burbank ise doğal örneklerin termolüminesansı üzerinde çalışıp ilk kez yayınlayan bilim adamlarıdır (url 1). Malzemeyi ısıtıp aldıkları doğal TL ölçümlerin ardından malzemeyi yeniden x-ışınına maruz bırakıp TL ölçümlerini elde etmişlerdir.

Marie Curie'nin 1904'te doktora tezini yayınlamasının ardından radyasyonla ilişkili TL araştırmalarının önemi artmıştır. Yaptığı çalışmada fluorit ve bazı malzemelerin ısıtılmayla TL özelliği kazandığı ve sönmüldüğü, daha sonra tekrar ısıtılmayla yada radyasyonla TL özelliği kazandığını belirtmiştir. Fluorit mineraliyle ilgili ilk yayınlanan çalışma Morse tarafından 1905'te yapılmıştır [3]. Ayrıca Morse CaF<sub>2</sub> mineralinde araştırmıştır [4].

Lind ve Bardwell (1923) radyum kullanarak saydam minerallerin ve kıymetli taşların TL çalışmasını yapmıştır. Wick(1924) ilk olarak Fluoritle doğal TL ölçümleri yaptıktan sonra, Wick ve arkadaşları doğal minerallerin ve sentetik fosforun x-ışını ve elektron demetine maruz kaldığında gösterdiği TL'yi

çalışmışlardır.1927'de Frisch ise NaCl kristalinde katod ışınların altında TL gözlemlenmiştir [5].

## **1.2.Lepidolit ve Turmalin Mineralleri ile İlgili Lüminesans Çalışmaları**

### **1.2.1. Lepidolit ile İlgili Lüminesans Çalışmaları**

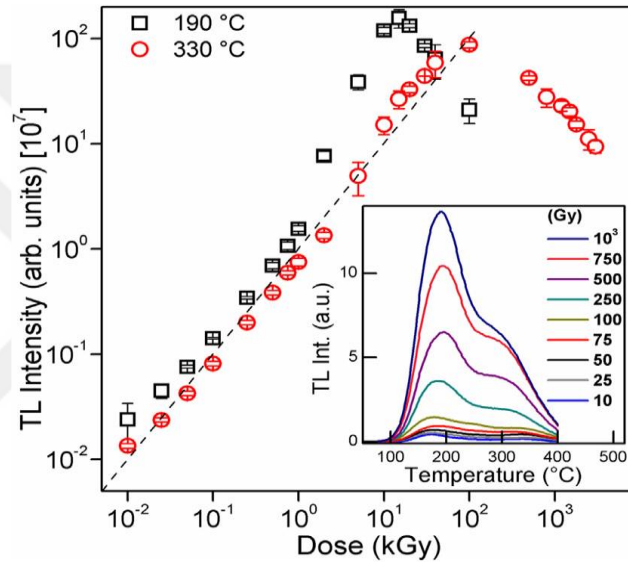
Minerallerin doğal termolüminesansı çevresel radyasyona, ısı geçişi, jeolojik oluşum koşullarına ve kalıntıdaki element miktarına sıkı sıkıya bağlıdır [6].  $\gamma$  ile uyarılan TL'nin hassasiyetindeki tavlama etkileri ve lepidolit mikanın  $\alpha$  tepkimesinin iz yoğunluğu incelenmiştir [7]. Mikaların ve fillosilikatların (lepidolit[8], bavenit[9], bentonit[10], kaolinit [11] ) farklı tipteki TL'leri çalışılmış ve bu minerallerin tuzak dağılımında süreklilik sergilediği bulunmuştur [7]. Y. Rodriguez-Lazcano, V. Correcher, J Garcia-Guinea (2013) yaptıkları çalışmada lila-pembe lepidolit TL ve CL özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada lepidolit UV-IR bölgesinde 200-900 nm aralığında CL spektral emisyonu sahip olduğunu göstermişlerdir. CL emisyonunun ters işlemi  $Mn^{2+}$  ve  $Fe^{3+}$  ya da yapısal kusurlara bağlı olarak (oksijen-boşluk merkezleri ya da  $[AlO_4]$  merkezleri bağlanmaksızın) noktasal kusurların varlığında 330, 397, 441, 489, 563, 700 ve 769 nm'deki merkezlerde 7 pik gösterdiğini bulmuşlardır. Doğal (ışınlanmamış) lepidolit 275-460 °C aralığındaki farklı sıcaklıklarda önceden ısıtılmış ve 1 Gy ışınlanmış numunenin maksimumu tavlama sıcaklığı arttırıldığında bu tuzakların boşaltılması nedeniyle yüksek enerjilere kaymaktadır [8]. Örneklerin ikisi içinde (ışınlanmış ve ışınlanmamış) IR metoduyla hesaplanan aktivasyon enerji sırasıyla 1.27 ve 0.52 eV'tur [8].

Lepidolit lüminesans özelliklerinden yararlanarak yapılan dozimetreler kullanılarak tarihte geçişme yönelik araştırmalar yapılabilmektedir.

### **1.2.2. Turmalin ile İlgili Lüminesans Çalışmaları**

Camargo ve Isotani(1988) doğal pembe turmalindeki optik bant aralığını ölçmüş ve bantların 8500, 14.800, 19.500 ve 25.500  $cm^{-1}$ 'de 13.000 kGy'e doğru artan yoğunluğu tanımlamışlardır. Bu kişiler turmalini çok yüksek dozlarda ışınlamıştır ve bu sonuçlar göstermiştir ki daha çok ışınlamada, bu bantlar devam ederek şiddetlenmiştir. Pembe turmalin numunesi yüksek dozlarda ışınlanmış, TL

okuma, hemen hemen 100 kGy olduğunda  $9.10^8$  gibi yüksek değerlere ulaşmış, fakat bu numune çok yüksek dozla ışımlandığında (100 kGy'den 3000 kGy'e), TL eğri yavaş düşüş göstermiştir. Bu durum TL yoğunluğun belli bir doza kadar arttığını (100 kGy), doz artışı devam ettirildiğinde yoğunluğun azaldığını göstermiştir. 190 ve 330 °C'deki pikler yaklaşık olarak 10 ve 100 kGy'deki doz artışlarıyla artmış, daha sonra parabolik olarak azalmıştır (Şekil 1.1). [12]. Bu çalışma pembe turmalinin çok yüksek doz dozimetresi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.



Şekil 1.1. Pembe Turmalinin Doz- TL değişimi

### 1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Lepidolit ve Turmalin minerallerinin bazı çeşitlerinin lüminesans (TL, RL gibi) ve optik soğurma özelliklerini incelemek, XRD tekniğini kullanarak kristal yapı özelliklerini belirlemektir. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan Radyolüminesans (RL) ve Termolüminesans (TL) (RA94 TLD Reader Analyser) sistemleri ile örneklerin lüminesans spektrumları incelenirken, optik soğurma spektrumlarını almak amacıyla Lamda UV/VIS/NIR spektrometre sistemi kullanılmıştır. Çeşitli ısıtma hızlarında ve

radasyona maruz bırakılma sürelerinde ve ayrıca 50-400 °C sıcaklıklarda numunelerin termolüminesans spektrumları alınmıştır. Bir kristalin lüminesans spektrumu, sahip olduğu örgüye ve kristalde bulunan yeniden birleşme merkezlerinin türüne bağlıdır. TL, örgü içindeki yarı kararlı kusur denilen seviyede tuzaklanmış yükün tekrar eski seviyesine dönmesi hakkında bilgi verir. RL ise, derin olmayan tuzaklardan ziyade yarı kararlı seviyeye tuzaklanmış elektronların eski seviyesine geçiş verimi hakkında bilgi verir.

Lepidolit ve turmalin minerallerinin kimyasal içeriğinin belirlenebilmesi için Kanada ALS Laboratuvarında element analizi yapılmıştır. Bu sayede numunelerin içerisindeki elementler ve miktarları belirlenmiştir. Böylece safsızlık oranları da tayin edilmiştir. Numunelerin XRD spektrumları alınarak, lüminesans özellikleri incelenmiştir. Ayrıca SEM görüntüleri alınmış ve FT-IR analizi yapılmıştır.

## 2. MİNERALLER

Doğal yoldan oluşmuş, inorganik, karakteristik bir atomik iç yapısı ve belli bir kimyasal bileşimi olan, sabit veya belirli sınırlar içinde değişebilen fiziksel özelliklere sahip maddelere mineral denir.

Minerallerin herhangi bir parçası o minerale ait bütün özelliklerini yansıtır. Genellikle katı halde bulunmalarına rağmen nadiren sıvı halde de bulunabilirler (civa gibi). Ekonomik değeri olan minerallere de “maden” denir.

Mineral, Yunanca (Mineralis), “mina” (kuyu) sözcüğünden gelmiştir. İnsanoğlunun minerallerle ilgilenmesi, onları savunma aracı olarak kullanmalarıyla başlar. Sonrasında ise süs eşyası olarak da kullanılan bu minerallerin bilimsel olarak incelenmeye başlanması ise M.Ö 372 yılında Yunanlılar ile başlar. Başta Aristo'nun öğrencilerinin ve pek çok bilim insanının yaptığı çalışmalar bunu destekler niteliktedir ki bu çalışmalar minerallerin diğer bazı taşlardan ayrılması ile ilgilidir [13].

Öte yandan Türkler ve Araplarda minerallerin incelenmesi Ortaçağ dönemine denk gelmekle birlikte bulgular gösterir ki bu konudaki en etkili çalışmayı dönemin önemli bilim insanlarından olan İbni Sina gerçekleştirmiştir. İbni Sina çalışmasında maddeleri taşlar, madenler ve tuzlar olarak ayırmış böylece çalışmalar hız kazanmıştır. 18.yy'a gelindiğinde ise bir diğer araştırmacı olan Werner taşlarla fosillerin birbirlerinden farklı yapılar olduğunu belirtmiştir. Werner'in bu düşüncesi ile de mineral sistematigi oluşturulmuştur.

1895'te Röntgen'in X-ışınlarını bulması, 1912' ye gelindiğinde ise Laue'nin X ışınları yardımı ile kristallerin iç yapılarını incelemesi mineraloji biliminin temelini oluşturmuştur.

### 2.1. Mineraloji

Mineraloji, minerallerin şekillerini, iç yapılarını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, oluşumlarını ve onların üzerindeki değişimleri, kullanım alanlarını ve yeryüzüne dağılımlarını ele alan bilim dalıdır. Mineraloji, deskriptif mineraloji ve determinatif (tanımsal) mineraloji olmak üzere ikiye ayrılır.

**Deskriptif Mineraloji:** Oksitler, karbonlar, silikatlar, halitler, sülfatlar, boratlar gibi temel grupları inceler.

**Determinatif(Tanımsal) Mineraloji:** Minerallerin bulunduğu yerlerin tayin tabloları, sertlik, parlaklık, dilinim gibi özelliklerinin incelenmesini amaçlar.

Mineraloji bazı kaynaklarda genel ve özel olmak üzere yine iki gruba ayrılarak karşımıza gelmektedir.

**Genel Mineraloji:** Minerallerin fiziksel, kimyasal, geometrik özellikleri ile kristal yapıları, oluşma şekilleri ve onlarda meydana gelen değişimleri inceler.

**Özel Mineraloji:** Minerallerin gruplandırılmasını, fiziksel, kimyasal ve geometrik özelliklerini, oluşum aşamalarını, uğradığı değişimleri, kullanım ve yayılma tarzları gibi minerallerin bütün özelliklerini inceler.

Yer kabuğunun katı tabakasında bulunan katı mineraller; kristaller ve amorfolar olmak üzere iki grupta incelenir. Atom veya moleküllerin belli bir düzen içinde buldukları katı cisme kristal (tuz gibi) ; atom veya moleküllerin rastgele dizildiği yapılara ise amorf cisimler (cam, plastik, odun...) denir.

## 2.2. Kristaller

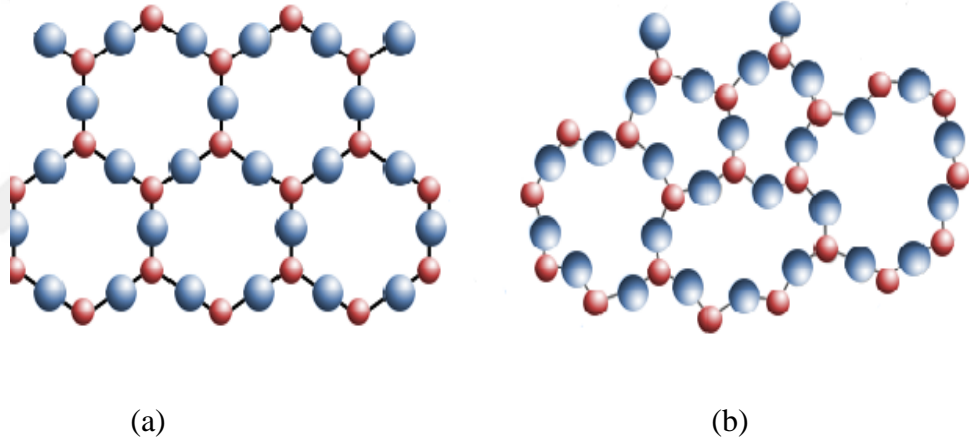
Kendisini meydana getiren atom veya moleküllerin iç yapısı sonucu düz yüzeyler ile sınırlandırılmış, belli bir geometriye sahip, kenarları ve köşeleri olan homojen katı cisimlere kristal denir. Bir başka deyişle, atomların veya moleküllerin üç boyutlu uzaydaki periyodik dizilişidir.

Kristaller atomlar, moleküller ve iyonlar halinde, eritici bir ortamdaki çözeltilerden oluşurlar. Sıcaklığın ve basıncın sabit olduğu ortamlarda kristal düzgün bir şekilde gelişir. Doymuş hale gelen eriyiklerde pozitif ve negatif yüklü iyonlar birbirlerini çekmeye başladıklarında kristallerin ilk çekirdekleri oluşur[14]. Sıcaklık ve basınç koşullarının değiştirilmediği durumlarda, kristaller yavaşça ve düzgün bir doğrultuda gelişirler. Bu esnada oluşumun herhangi bir yerinde zedelenme meydana gelirse zedelenen bu kısım madde çökmesi nedeniyle kendiliğinden tamir olabilir. Bu olaya "rejenerasyon olayı " denir. Kristal büyüme devam ederken zedelenen yerdeki gelişim sağlam kısma oranla daha hızlı gerçekleşir ki en hızlı gelişmeyi de kristalin kenarları ve köşeleri gösterir. Bu sebeple de erime sırasında bu yerler en hızlı eriyen

kısımlardır. Kenarlar ve köşeler zamanla düzgün şekiller halini alarak yeni yüzeylerin ve kenarların oluşumuna sebep olurlar. Yer darlığı nedeniyle bir kristal çekirdeği sıkışık bir durumda kalırsa bu kristalin büyümesi sadece serbest halde olan noktası doğrultusunda devam eder.

### 2.3.Kristal Yapı

Atomları veya molekülleri belirli bir düzen içindeki konumlarda bulunan katıya **kristal** denildiğini biliyoruz. Üç boyutlu bir düzene göre dizilen, kristal yapı (kristal kafes) olarak adlandırılan bu yapı türü metallerde, seramik camlarda ve bazı polimerlerde görülür. Atom veya moleküllerin rastgele dizildiği yapılar **amorft** olarak adlandırılır (örneğin gazlar). Bazı malzemelerde tüm yapı için geçerli olmayan kısa mesafeli düzenler görülebilir (cam gibi).



Şekil 2.1. a) Düzenli, b) Düzensiz (amorft) atomlara sahip bir kristal yapısı( url 2)

#### 2.3.1. Kristal Örgü

Kristalin geometrisini açıklamak ve onu gerçek durumuna indirmek için kristali basitleştirmeye zorlarız. Atomlar çıkarılır ve geride bir örgü adı verilen matematiksel noktaların sadece bir iskeleti bırakılarak kristalinki ile aynı geometrik özelliklere sahip olan noktaların bir deseni elde edilir. Bu geometrik desene **kristal örgü** veya sadece **örgü** denir. Basit kristal yapılarda her örgü noktasında bir atom bulunur. Örgüdeki her hangi bir atomun yeri aşağıdaki **yer vektörü**

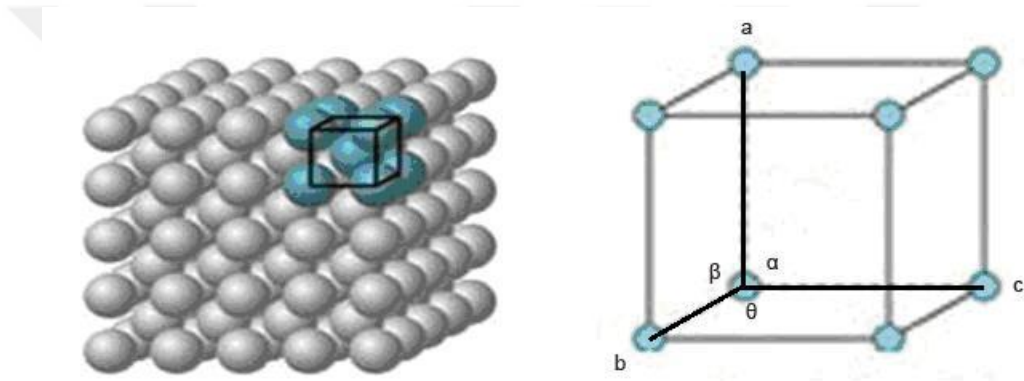


$$R = xa^{\vec{}} + yb^{\vec{}} + zc^{\vec{}} \quad (1.1)$$

ile bulunur. Burada  $a^{\vec{}}$ ,  $b^{\vec{}}$ ,  $c^{\vec{}}$  yer değiştirme (translasyon) temel vektörleridir ve onların modüleri yer değiştirme periyodları olup x,y,z ise tam sayıdır.

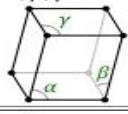
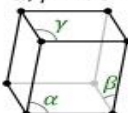

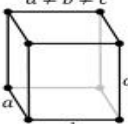
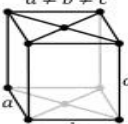
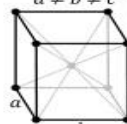
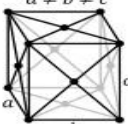
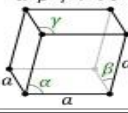
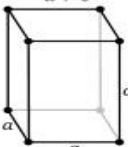
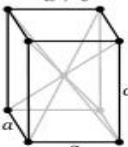

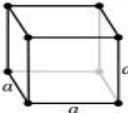
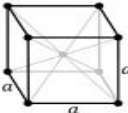
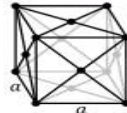
### 2.3.2. Birim hücre

Kristalin tüm özelliklerini taşıyan ve en küçük yapı taşı olan bu örgüye **birim hücre** denir. Birim hücre kristal yapının içerisinde tekrar eden yapıların en basitidir. Birim hücreyi karakterize etmek için altı parametre gereklidir: hücrenin üç kenarının uzunluğu a, b, c ve onların arasındaki açılar sırasıyla  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$  olmak üzere bu değerlere birim hücre parametreleri denir ( Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Bir birim hücrenin şematik olarak gösterilmesi (Url 3)

Şimdi üç boyutlu örgüleri inceleyelim. Bunun için bize yedi birim hücresi verecek olan yedi eksen sistemini tanımlamamız gerekir. Doğada bütün kristal malzemeler bu 7 kristal sistemden birine uyarlar. Bunlar; triklinik, monoklinik, ortorombik, tetragonal, kübik, trigonal (rombohedral) ve hegzagonal kristal sistemleridir ( Şekil 2.3 ).

Kristal sistemi (7 Adet) (En az simetrikten en çok simetriğe)	Bravais kafesi (14 Adet)			
1. Triklirik	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 			
2. Monoklinik	Basit	Basit, taban merkezli		
	$\beta \neq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 	$\beta \neq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 		
3. Ortorombik	Basit	Taban merkezli	Hacim merkezli	Yüzey merkezli
	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 
	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ 			
	Basit	Hacim merkezli		
5. Tetragonal	$a \neq c$ 	$a \neq c$ 		
				
7. Kübik	Basit kübik (BK)	hacim merkezli (HMK)	yüzey merkezli (YMK)	
				

Şekil 2.3. Kristal sistemleri ve Bravais örgülerinin gösterimi ( Url 4)

**Tablo 2.1.** Yedi kristal sistemi ve Bravais örgüleri

<b>Sistem</b>	<b>Eksen Uzunlukları ve Açılar</b>	<b>Bravais Örgüsü</b>
<b>Kübik</b>	Birbirine dik üç eksen $a = b = c \quad \alpha = \beta = \theta = 90^\circ$	Basit (P) Cisim Merkezli (I) Yüzey Merkezli (F)
<b>Tetragonal</b>	İkisi eşit olan birbirine dik üç eksen $a = b \neq c \quad \alpha = \beta = \theta = 90^\circ$	Basit (P) Cisim Merkezli (I)
<b>Ortarombik</b>	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)
<b>Trigonal (Rombohedral)</b>	Aralarındaki açılar birbirine eşit üç eşit eksen $a = b = c \quad \alpha = \beta \neq \theta = 90^\circ$	Basit (P)
<b>Hegzagonal</b>	Aralarındaki açı $120^\circ$ olan iki eşit eksen ve üçüncü eksen ilk ikisinin düzlemine dik $a = b \neq c \quad \alpha = \beta = 90^\circ \quad \theta = 120^\circ$	Basit (P)
<b>Monoklinik</b>	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)
<b>Triklinik</b>	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)

Basit örgülere ek olarak kristal sistemdeki birim hücrelere atomların istiflenişi bakımından da farklı seçenekler mevcuttur. Sadece köşelerinde örgü noktaları bulunan kristal sisteme **basit kristal sistem** denir. Örgülerin bazılarının birim hücrenin köşelerinden başka, atomlar taban ve tavan yüzeylerinin merkezlerine ( taban merkezli kübik), uzay köşelerinin kesişiminde (hacim merkezli kübik) ve tüm yüzeylerin merkezlerine de ( yüzey merkezli kübik) yerleşebilir. Böyle sistemlere de **basit olmayan ( bileşik ) kristal sistem** denir. Bu durum kristal sistemin sahip olduğu simetri özelliklerini değiştirmez. Sonuçta 14 Bravais örgü elde edilir. Bu Bravais örgüler **Tablo 2.1**' de verilmiştir.

#### 2.4.Kristal Yapı Kusurları

Kristal yapılar kusursuz değildir ve bu kusurların varlığı çoğu kez malzemenin davranışını belirleyici rol oynar. Bir kristaldeki üst üste katmanlara ilişkin istifin normal dizisinde görülen sapmaya yani en az bir boyuttaki kafes düzensizliğine **kristal kusuru** denir. İdeal kristallerde atomlar, düzenli ve periyodik olan örgünün tüm düğümlerine yerleşmektedirler. Gerçek kristallerde ise farklı tipli örgü kusurları bulunmaktadır. Bu kusurların ortaya çıkış sebebi kristal oluşumu esnasında veya sonradan maruz kaldığı dış etkenlerdir diyebiliriz. Hiçbir kristal mükemmel değildir. Kusurlar yapıda istenerek ya da istenmeden bulunabilir. Isıl kusurlara **fonon** adı verilir. Elektronlarla ilgili kusurlar;

-elektron

-boşluk } 'dan kaynaklanan kusurlardır.

-eksiton

Atomsal kusurlar ise kimyasal kusurlar ve örgüsel kusurlar olmak üzere ikiye ayrılır.

Kristal kusurları; noktasal ( sıfır boyutlu), çizgisel (bir boyutlu), yüzeysel ( iki boyutlu) ve hacimsel ( üç boyutlu) kusurlar olmak üzere dörde ayrılır.

### 2.4.1. Noktasal (Sıfır Boyutlu ) Kusurlar

- **Katı Çözelti ( Kimyasal Kusur)**

Bir metale ait kafes içinde yabancı atomların varlığı bir kusur olarak düşünülebilir. Böyle bir duruma metal alaşımlarda ( katı çözeltiler) rastlanabilir.

#### **Yer alan katı çözeltisi:**

Metal kafesindeki bir atomun yerini farklı bir atomun almasıyla oluşan bir çözelti düşünelim. Böyle bir katı çözültide atomların dizilişi gelişmiş gibidir.

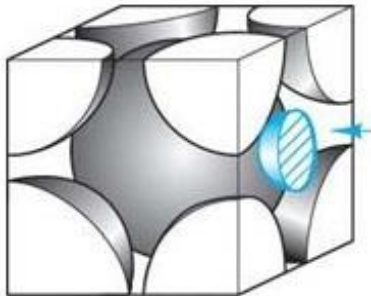
Bu tip bir katı çözeltinin her oranda oluşabilmesi yani tam çözünürlüğü için Hume-Rothery Kurallarının sağlanması gerekir:

- Kristal kafesler aynı olmalıdır.
- Atom yarıçapları arasındaki fark azami %15 olmalıdır.
- Aynı sayıda Valans elektronları bulunmalıdır.
- Benzer elektro-negatifliğe sahip olmalıdır.

Örgüdeki yabancı atom sayısı arttıkça ana yapıda bölgesel deformasyon oluşur.

#### **Ara Yer Katı Çözeltisi:**

Metal kafesindeki boşluklara farklı ( metal olmayan ) atomların yerleşmesiyle **ara yer katı çözeltisi** oluşur. Bunun için de atom çapları arasındaki farkın büyük olması gerekmektedir. Yani atomun çok küçük olmasından dolayı yaşanabilecek enerji kararsızlığı ara yerlerin tercih edilmesinin en büyük nedenidir. Çözünürlük oranı sınırlıdır ( maksimum %1-2) . Bu oran da ana yapının metalik özelliklerini değiştirmez.

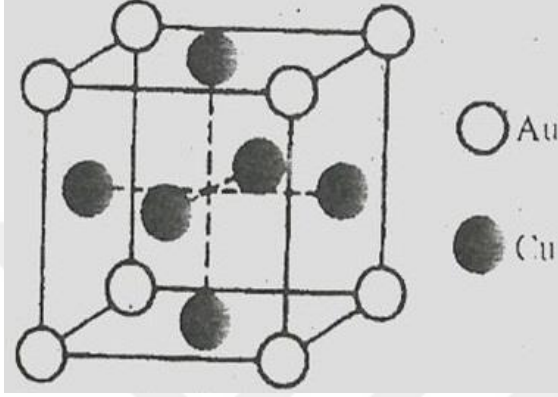


Fe'nin hacim merkezli kübik yapısı içinde ara yer atomu olarak çözülmüş C atomu

**Şekil 2.4.** Fe kafesinde C atomları( url 5)

### Düzenli Katı Çözeltiler:

Katı çözeltilerde belirli sıcaklık ve oranlarda düzenli bir atom diziliminin (istifleme) olması durumudur. Çözeltiye yeni atomların girmesi durumunda toplam elektriksel yükün nötr olması gerekmektedir. Kafese giren atomun elektriksel yükünün ana atomdan büyük olması halinde yapıda boşluklar oluşabilir. Seramikler  $AuCu_3$  yapısı gösterirler.

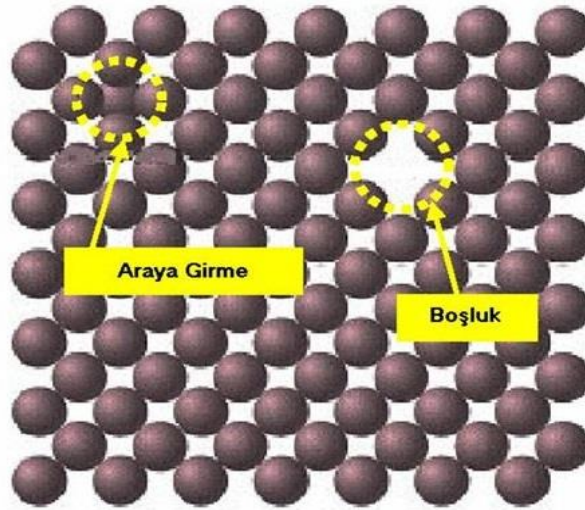


Şekil 2.5.  $AuCu_3$  katı çözeltilisine ait örgü yapısı

- **Boş yer ve Ara yer Kusurları**

**Boş yer kusuru:** Atom olması gereken yerde atomun bulunmamasından kaynaklanan kusurdur.

**Ara yer kusuru:** Bir atom normal kafes pozisyonunun dışında bir yerlerdeki yani atom olmaması gereken yerde fazladan bir atomun bulunmasından kaynaklanan kusurdur.

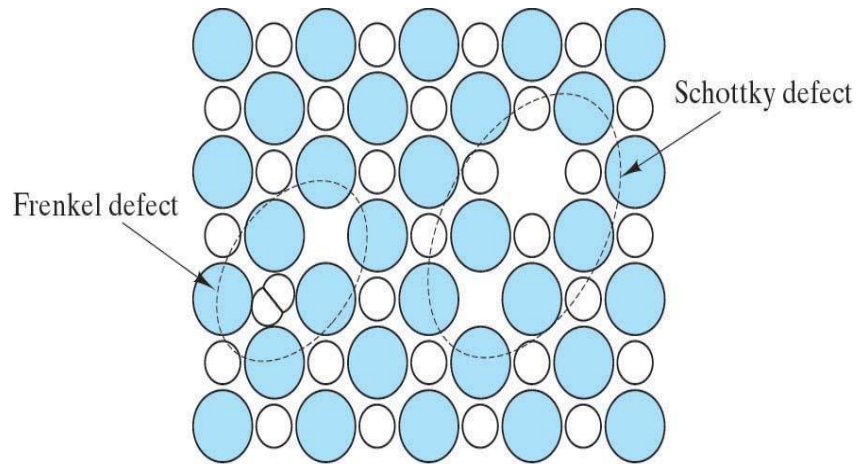


Şekil 2.6. Kafesteki ara yer ve boş yer gösterimi(url 6)

- **Frenkel – Schottky Kusurları**

**Schottky Kusuru:** Zıt elektrik yüklü iki iyon çiftinin kristal kafeste olması gereken yerde olmamasıdır. Bu boşlukların çift olmasının nedeni elektriksel nötrlüğü sağlanması içindir.

**Frenkel Kusuru:** Bir katının kafes yapısında bulunan bir atomun her hangi bir arayer bölgesine geçmesi, orijinal pozisyonundaki eski yerinde boşluk bırakması ve bırakılan bu boşluğun yerine her hangi başka bir atomun gelmemesi durumudur.



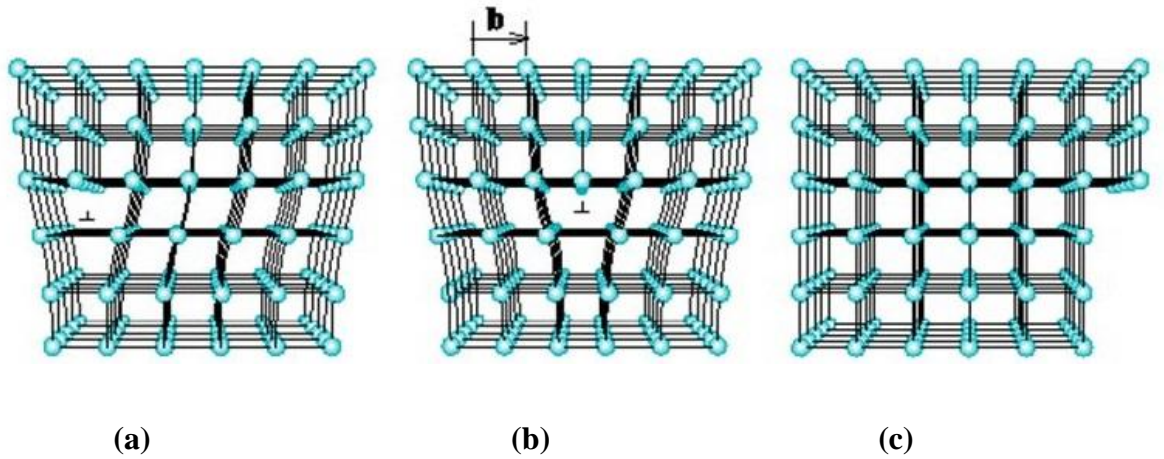
Şekil 2.7. Frenkel ve Schottky kusurlarının gösterimi(url 7)

### 2.4.2. Çizgisel (1- Boyutlu) Kusurlar: Dislokasyonlar

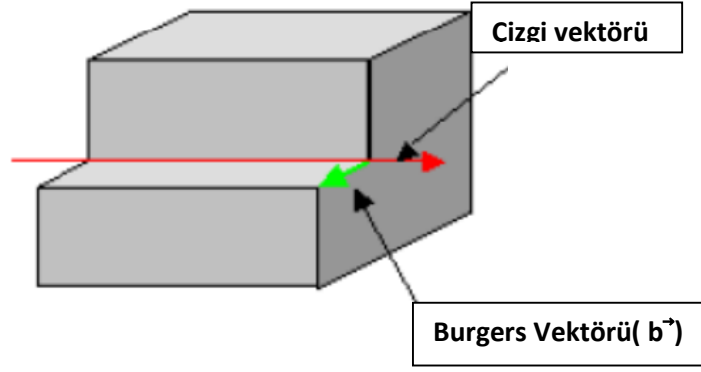
Kristalin katılaşması sırasında, çizgi boyunca örgünün dış etkenler nedeniyle deformasyonuna **çizgisel kusur** denir. Bu kusurlar malzemenin dayanımını doğrudan etkileyen kusurlar olup metallerin ve alaşımların mekanik özelliklerini tanımlayabilmemiz açısından oldukça önemlidir. Kristal kafes içindeki çizgisel kusurlar olan dislokasyonlar, yapı içerisinde tam olmayan atomik düzlemler olarak da tanımlanabilir. Dislokasyonlar kristallerin büyütme zamanı ya da plastik deformasyonun etkisiyle meydana gelebilir. Kenar ve vida dislokasyonu olmak üzere iki çeşit dislokasyon vardır.

**Kenar Dislokasyonu:** Kristal yapıdaki kafes içinde fazla atomsal yarı düzlem kenarındaki çizgisel kusurlara denir. Bu yarıdüzlem kenarındaki atomların komşu atom sayıları kristal yapının orijinal bölgesine göre daha az sayıdadır. Kristale bir dış etken etki ettiğinde (kayma kuvveti gibi) oluşan dislokasyon bir Burgers Vektörü ( $b^{\rightarrow}$ ) kadar ilerler. Hareket devam ettiğinde ise bu vektör kristal bir basamak oluşturur.

**Burgers Vektörü ( $b^{\rightarrow}$ ) :** Dislokasyonların kafes içinde ilerlemesi için gereken minimum mesafenin yön ve büyüklüğünü ifade etmek için kullanılan parametrelerdir ve dislokasyon eksenine diktir.



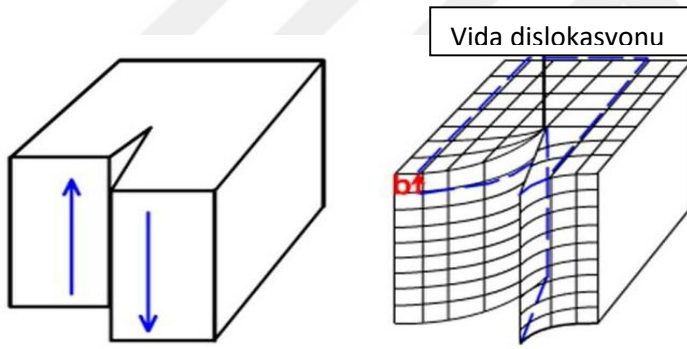




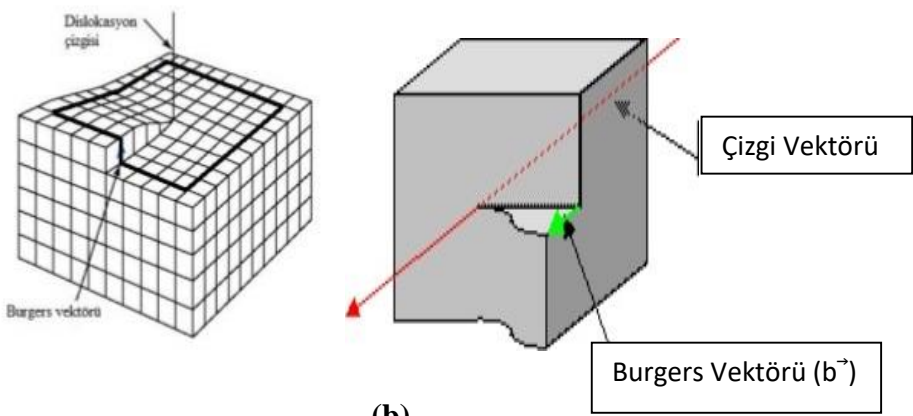
(d)

**Şekil 2.8.** (a) Kenar dislokasyonu, (b) Kenar dislokasyonunda Burgers Vektörü, (c) Oluşan kristal basamak(url 8), (d) Burgers Vektörü dislokasyon eksenine diktir.(url9)

**Vida Dislokasyonu:** Kristalin burulması ile örgüdeki bir atom düzleminin dislokasyon çizgisi etrafında spiral şeklini almasıdır.



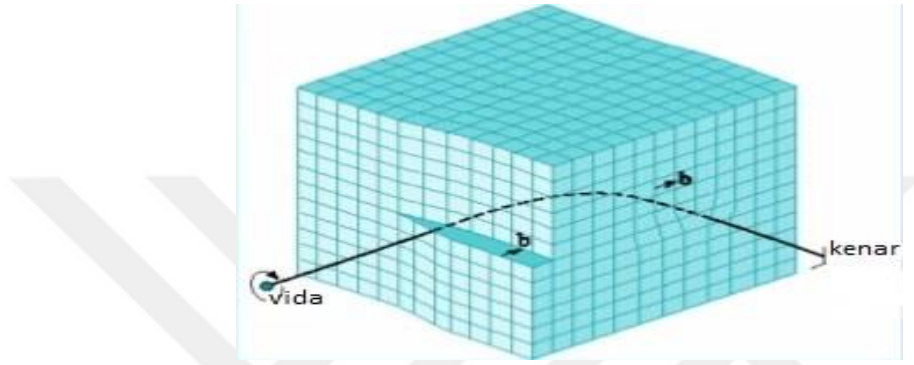
(a)



(b)

**Şekil 2.9.** (a) vida dislokasyonu(url 10), (b) Vida dislokasyonunda Burgers Vektörü(url 11)

Vida ve kenar dislokasyonlarının birlikte bulunduğu durumlar da vardır. Buna da **karışık dislokasyon** denir.

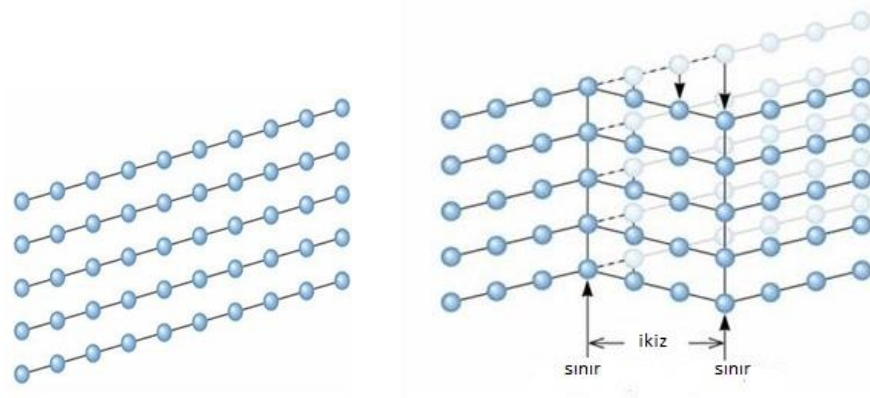


**Şekil 2.10.** Karışık Dislokasyon(url 12)

#### 2.4.3. Yüzeysel ( 2-Boyutlu) Kusurlar

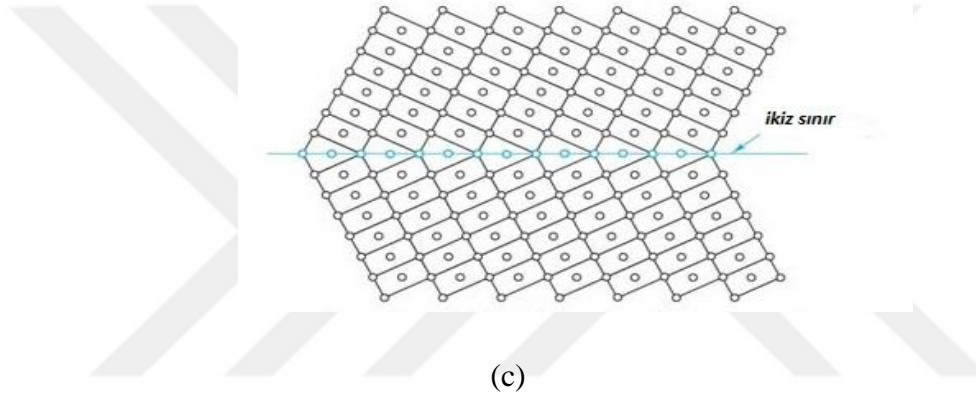
Kristaldeki yüzey atomları arası uzaklıkların değişmesi ve yüzeydeki atomlar için komşu atomlarının olmaması bazı elektron bağlarının kopmasından dolayı oluşan kusurlara yüzeysel kusurlar denir [13]. İkiz sınırları ve tane sınırları olmak üzere ikiye ayrılır.

- **İkiz Sınırları:** İki kristal bölgeyi birbirinden simetrik olarak ayıran sınırdır. İkiz oluşumunun en önemli nedeni yapı içerisindeki burkulmalar olup genellikle şekil değiştirme ve tavlama gibi ısı işlemler sırasında meydana gelmektedir. İkiz sınırları dislokasyon kaymasını güçleştirdiği için metal malzemelerin akma dayanımını artırır.



(a)

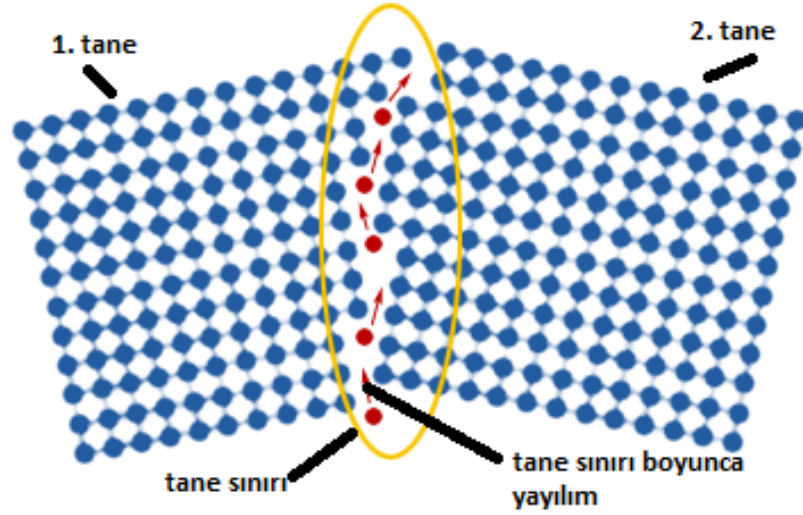
(b)



(c)

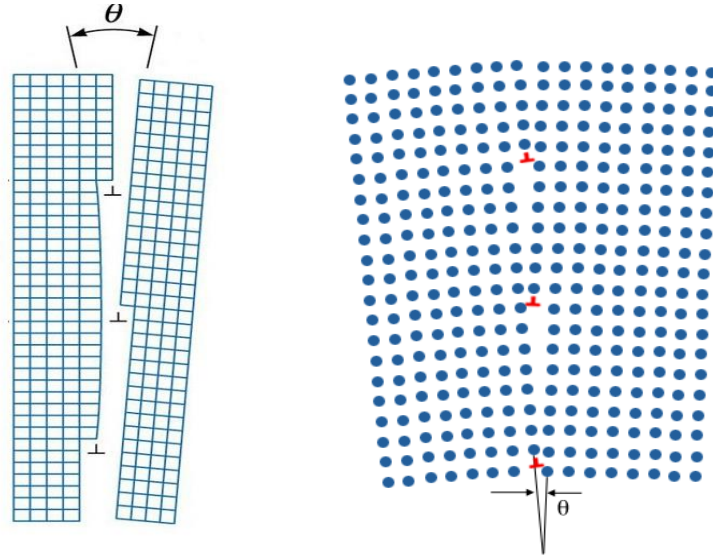
**Şekil 2.11.** (a) Mükemmel kristal, (b) ikizlemeden dolayı atomlardaki öteleme, (c) kristal bölgeyi birbirinden ayıran ikiz sınır (url 13)

- **Tane sınırları:** Kristalin katılaşması sırasında iki farklı bölgede büyümüş, birbirine komşu olarak tek kristal şeklinde bulunan iki tanenin arasındaki yüzeydir. Atomların düzgün yerleşmediği dar bir alan olan bu bölgedeki atom yoğunluğu tanenin içindeki atom yoğunluğuna oranla daha azdır. Küçük açılı tane sınırları ve büyük açılı tane sınırları olmak üzere iki grupta inceleyebiliriz.



Şekil 2.12. Taneler arasındaki sınır (url 14)

**Küçük Açılı Tane Sınırları:** Kristal içerisinde kenar dislokasyonlarının üst üste dizilmesi esnasında iki komşu dizilimin arasındaki açının  $10^\circ$  ' den küçük olduğu durumlardır. Çoğunlukla poliganizasyon denilen ısı aktivasyonu yoluyla gerçekleşir.



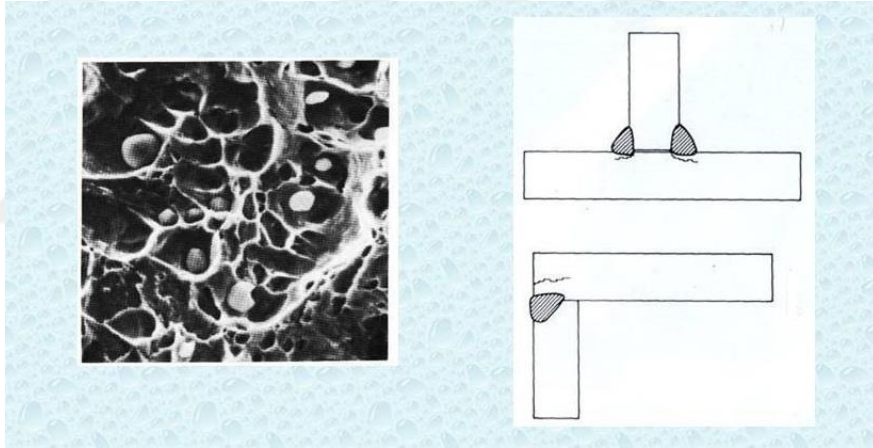
Şekil 2.13. Küçük açılı tane sınırı(url 15)

**Büyük Açılı Tane Sınırları:** : Kristal içerisinde kenar dislokasyonlarının üst üste dizilmesi esnasında iki komşu dizilimin arasındaki açının  $10^\circ$  ' den büyük ( genellikle  $20-30^\circ$ ) olduğu durumlardır. Böyle bir durumda atomlar, sınır boyunca her

iki kristale de uyum sağlayamadığından rastgele dizilmişlerdir. Çok dar bir alan olan bu bölge amorf bir yapı olarak düşünülebilir.

#### 2.4.4. Hacimsel (3-Boyutlu) Kusurlar

Malzemenin üretimi veya şekillendirilmesi (döküm, dövme..) esnasında meydana gelen, malzemeyi kullanılamaz hale getirebilecek üç boyutlu kusurlardır. Kristale bir kayma kuvveti uygulandığında uygulanan doğrultudaki atom dizisinin yanı sıra alt ve üst komşu dizindeki atomların da bağlarının kopmasıyla kayma gerçekleşir. Kristaldeki bu kaymanın bir sonucu olarak örgüde meydana gelen bozukluklar hacimsel kusurları oluşturur. Bu kusurların oluşabilmesi için büyük enerjiye ihtiyaç vardır.



Şekil 2.14. Hacimsel Kusurlar [13].

### 3. MİNERALLERİN ÖZELLİKLERİ

Doğal yoldan oluşmuş, inorganik, karakteristik bir atomik iç yapısı ve belli bir kimyasal bileşimi olan, sabit veya belli sınırlar içinde değişebilen fiziksel özelliklere sahip maddelere **mineral** denildiğini biliyoruz. Bun göre minerallerin özelliklerini şöyle sıralayabiliriz.

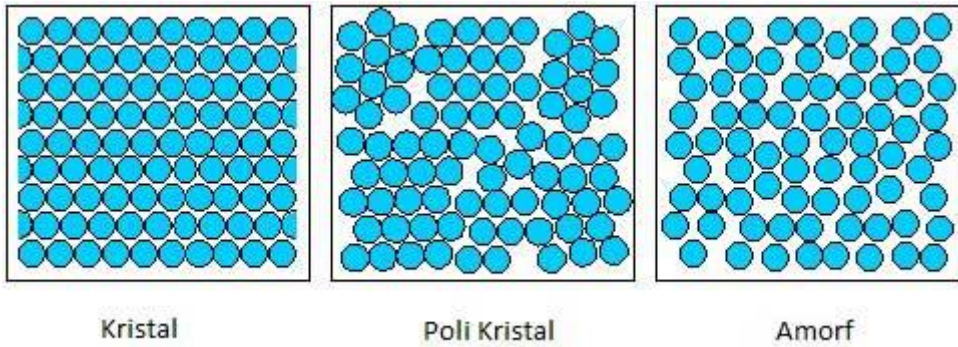
- Doğal yoldan oluşurlar.
- Herhangi bir parçası bütününe özelliklerini taşır.
- Belirli bir kimyasal formülleri vardır.
- Katı halde olup nadiren sıvı halde bulunurlar.
- İnorganiktirler (url 16 ).

Mineraller sahip oldukları geometriye ve kimyasal yapıya bağlı olarak farklı kristal yapılarda bulunurlar. Bu yapıların tayininde atomların veya atom gruplarının kristal örgü içindeki düzeni belirleyici rol oynar. Kısaca bu yapılara değinecek olursak;

**Kristaller:** Atomların bir düzen içinde bulunduğu yapılardır.

**Polikristal:** Bölgesel olarak kristal yapılara sahiptirler, fakat bir bütün olarak bakıldığında tek kristal özelliği göstermezler.

**Amorf (Düzensiz yapılar):** Atomların rastgele yerleştiği yapılardır diyebiliriz.



Şekil 3.1. Kristal, polikristal ve amorf mineral yapısı (url 17)

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

### 3.1. Skaler ( yöne bağlı olmayan) Özellikler

Yönlere bağlı olmayan yani her yönde aynı olan özelliklerdir. Fiziksel özellikleri yönlere göre değişmeyen minerallere **izotrop mineraller** denir.

**3.1.1.Özgül ısınma:** Bir maddenin birim kütesinin sıcaklığını 1 °C arttırmak için gereken ısı miktarına denir. Birimi cal/gr°C 'dir. Özgül ısıya ısınma ısısı veya spesifik ısı da denir.

**3.1.2.Yoğunluk:** Homojen bir maddenin birim hacminin +4 °C sıcaklıkta ve 760 mmHg basınç altında gram cinsinden ağırlığıdır. Birimi g/cm<sup>3</sup> ' tür.

Yoğunluk, minerallerin oluşumu sırasında ısı ve basınca bağlı olarak her homojen cisim için sabit bir sayıdır. Kimyasal formülü aynı olmasına rağmen farklı kristal sisteminde kristalenen minerallerin yoğunlukları da farklıdır.

### 3.2. Vektörel ( yöne bağlı ) Özellikler

Minerallerin yönlere bağlı olarak değişen özellikleridir. Özellikleri yönlere göre değişen minerallere **anizotrop mineraller** denir. Tek yönlü(polar) veya çift yönlü(tensoriel) vektörel özellikler mevcuttur. Minerallerin vektörel özelliklerini

Kohezyon özellikleri

Termik/ısı özellikleri

Manyetik özellikleri

Elektrik özellikleri

olarak sınıflayabiliriz.

### 3.2.1. Kohezyon Özellikleri

Minerallerin dışarıdan uygulanan bir kuvvete karşı gösterdikleri dirence kohezyon denir. Yönlere bağlı bir özelliktir. Minerallerin iç bağılılığı olan kohezyon ne kadar büyük olursa mineralin şeklini değiştirmek ya da parçalamak o denli güçtür. Elastik deformasyon, sertlik, dilinim, sıkışabilirlik, dayanıklılık, plastik deformasyon, mekanik translasyon, ikizleme translasyonu, mineralin kohezyon özellikleridir.

- **Elastik Deformasyon**

Herhangi bir şekilde mekanik bir etkiye maruz kalan kristalde şekil değişikliği veya deformasyonun meydana gelmesidir. Mekanik etki ortadan kaldırıldığında kristal eski haline geri döner.

- **Sıkışabilirlik (Kompresibilite)**

Minerallerdeki kristal yapı sabit sıcaklıkta ve tüm yönlü basınç altında sıkıştırılabilir.

- **Dayanıklılık**

Minerallerin kırılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Dışarıdan uygulanan kuvvet kristal kafesin kohezyon kuvvetini aştığı zaman mineralin dilinim yüzeyi veya dilinim yüzeyleri dışında kırılma yüzeylerinde parçalanmalar ya da kırılmalar oluşabilir. Dayanıklılık; kırılma, dövülebilirlik, kesilebilirlik, bükülebilirlik, elastikiyet gibi terimlerle de açıklanabilir.

**Kırılma**, bir mineralin basınç, kırma, kesme ve eğme gibi mekanik etkilere karşı gösterdiği tepkidir.

**Dövülebilirlik**, mineralin kırılmadan ince tabakalar haline gelerek şekil değiştirmesidir.



**Kesilebilirlik**, mineralin keskin bir aletle ince dilimler haline getirilmesidir.

**Bükülebilirlik**, mineralin bir dış kuvvete maruz kalması sonucu bükülmesi fakat üzerindeki kuvvet kaldırılınca eski şekline dönmemesidir.

**Elastikiyet**, mineralin şeklini değiştirmek için bir dış kuvvetin uygulanması ve uygulanan kuvvet ortadan kaldırıldığında ise cismin eski şeklini alabilmesi özelliğidir.

- **Plastik Deformasyon**

Kristallerin mekanik veya termik etkenlerle geri dönüşümü olmaksızın şekillenebilmesidir. Mekanik etki ortadan kaldırıldığında kristal eski haline geri dönemez. Metallerin kristal durumlarında tel haline çekilebilmesi ve ince levhalar halinde haddeden geçirilebilmesi bilinen plastik özelliğindedir. Plastik deformasyon mekanik ve ikizlenme transasyonu olarak iki grupta incelenebilir.

**Mekanik transasyon**, mineralin dilinim yüzeylerinin birbiri üzerinden levhalar halinde kaymasıdır. Kıvrılma ve bükülme transasyonu da vardır.

**İkizlenme transasyonu**, tek yönlü bir basıncın etkisiyle oluşan transasyondur. Burada kafesin bir kısmı transasyon düzlemine göre diğer kısmının simetriği durumuna gelir.

- **Sertlik**

Mineralin, şeklini değiştirmemek için dışarıdan gelen bir kuvvete karşı koyduğu dirençtir. Bu direnç, mineral yapısının strese karşı kırılma olmaksızın gösterdiği reaksiyondur. Sertlik minerallerin tanımlanmasında önemli bir özelliktir. Bir mineralin sertlik derecesi bir başka mineral ile çizilip çizilmediğine bakılıp karşılaştırılarak anlaşılır. Minerallerin sertliği Mohs sertlik cetveli ile belirlenir. Bu cetvele göre en sert mineral elmas, en yumuşak mineral ise talktır. Mohs sertlik cetveline göre her bir mineral kendinden öncekini çizer, sonraki tarafından da çizilir.


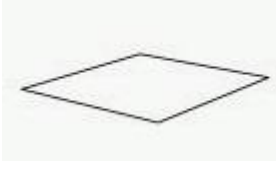

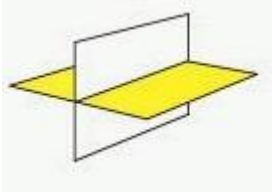

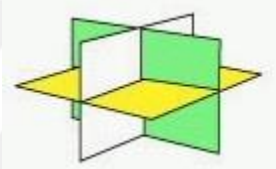

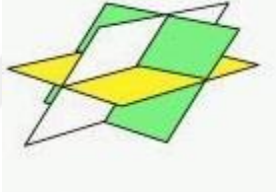


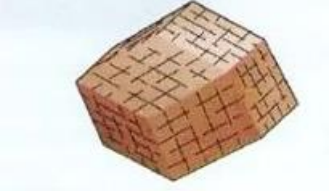
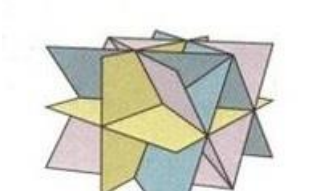
**Tablo 3.2 Mohs Sertlik Cetvel**

<b>MOHS SERTLİK CETVELİ</b>		
<b>Mineral Adı</b>	<b>Sertlik Derecesi</b>	<b>Çizme Denemesi</b>
<b>Talk</b>	1	Tırnak ile çizilir.
<b>Jips</b>	2	Tırnak ile çizilir.
<b>Kalsit</b>	3	Çakı ile çizilir.
<b>Fluorit</b>	4	Çakı ile çizilir.
<b>Apatit</b>	5	Çakı ile çizilir.
<b>Ortoklas</b>	6	Camı çizer, çelik ile çizilir.
<b>Kuars</b>	7	Camı- çeliği çizer.
<b>Topaz</b>	8	Camı keser.
<b>Korendon</b>	9	Camı keser.
<b>Elmas</b>	10	Herşeyi çizer, sadece çok güçlü lazerlerle çizilir.

- **Dilinim**

Minerallerin belli yönlerde belli bir düzlem boyunca kolaylıkla ayrılabilme ve bölünebilme özelliğidir. Bu ayrılma ve bölünme kristal yüzeylerine paralel olarak gerçekleşir. Dilinim mineralin iç yapısının sebep olduğu fiziksel bir olay olup bazı minerallerde belirgin olarak görülürken bazılarında ise belirsizdir. Tek yönlü, iki yönlü ve üç yönlü olmak üzere üç çeşit dilinim vardır.

**Tablo 3.3** Minerallerde dilinim

Tek yönlü dilinim			Mika, biyotit, muskovit
Dik açılı iki yönlü dilinim			Selenit, feldispat, potasyum, plajiyoklas
Dik açılı üç yönlü dilinim			Halit, galen
Dik açılı olmayan üç yönlü dilinim			Kalsit, dolomit
Dört yönlü dilinim			Flüorit, elmas
Altı yönlü dilinim			Sfalerit

### 3.2.2. Termik – Isı Özellikleri

- **Termik Genleşme**

Kristalin ısıtılmasıyla boyutunda meydana gelen büyümedir. Örneğin bir kristalden belirli yönde kesilmiş bir çubuk ısıtıldığında çubuğun boyunda bir uzama meydana gelir. Termik genleşme kristalin iç yapısına bağlı olarak çeşitlilik gösterir.

- **Isı İletkenliği**

Mineralin birim kesit alanından birim zamanda  $1^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  mertebesinde geçen ısı miktarıdır. 'k' ile gösterilir. Malzemenin ısı iletim kabiliyetini anlatan ayırt edici bir özelliktir.

### 3.2.3. Manyetik Özellikler

Kristallerin manyetik özellikleri, kendileri manyetik olan kristaller ve manyetik etkilenebilen kristaller olmak üzere iki grupta incelenir.

- **Kendileri manyetik olan mineraller**

Yer kürenin manyetik alanının indüksiyonu sonucu meydana gelir. Az miktarda mineral bu özelliği gösterir. Örneğin bazı saf platin ve pirotin oluşumları gibi.

- **Manyetik etkilenebilen mineraller**

Uygulanan bir manyetik alanın etkisiyle manyetik özellik kazanan minerallerdir. Bu etkilenme manyetik alanın şiddetine veya manyetik alan oluşturan mıknatıs çubuğun hassasiyetine bağlı olup hemen hemen bütün minerallerde az veya çok mevcuttur. Manyetik etkilenebilen kristaller üç grupta incelenmektedir.

- **Diyamanyetik Mineraller**

Mıknatıs kutupları tarafından itilen mineraller olup başlangıçta herhangi bir manyetik momente sahip değilken manyetik alanın indüksiyonu ile bu özelliği kazanırlar. Örneğin; kaya tuzu, kalsit, vulfenit ( $PbMoO_4$ ) gibi.

- **Paramanyetik Mineraller**

Mıknatıs kutupları tarafından çekilen minerallerdir. Paramanyetik minerallerde başlangıçta manyetik moment mevcuttur ama kafes içindeki ısı hareketlerinden dolayı manyetik momentin düzenli olmaması kristalin bir bütün olarak bu özelliği göstermemesine sebep olmaktadır. Bu tür minerallerin manyetik momentleri ancak dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında düzenli hale gelir. Örneğin ; alüminyum, barit, siderit ( $FeCO_3$ ) gibi.

- **Ferromanyetik Mineraller**

Zayıf bir manyetik alan etkisiyle çok şiddetli bir manyetik özellik gösteren minerallerdir. Manyetik alana maruziyet ortadan kaldırıldığında da kristalde az da olsa manyetik özellik kalmaktadır. Bu duruma ise **manyetik kalıntı (remonenz)** denir. Örneğin; Fe, Ni, Co elementleri ve birçok alaşımları tipik olarak ferromanyetik malzemelerdir.

### 3.2.4 Elektriksel Özellikler

Minerallerin elektriksel özellikleri kristal örgünün kimyasal yapısındaki bağ türü ile ilgilidir. Mineraller elektriği iletme yeteneklerine göre üçe ayrılır.

- **Yalıtkanlar**

Elektriği iletmeyen minerallerdir. Bu tür minerallerde atomlar sıkı sıkıya bağlanmasına rağmen bir dış etkiye maruz kalması durumunda kopabilirler. Örneğin ; elmas, kükürt,  $SiO_2$ , MgO, beyaz fosfor gibi.

- **Yarıiletkenler**

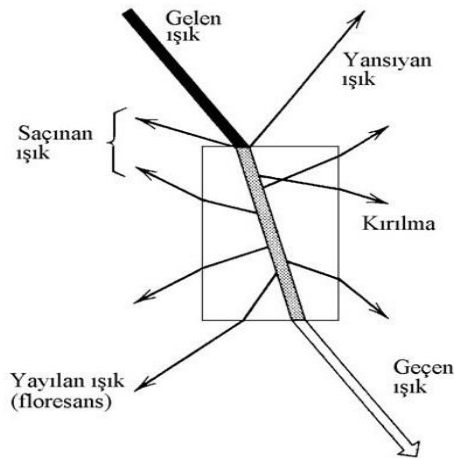
Elektriği az da olsa ileten minerallerdir. Örneğin silikat mineralleri gibi.

- **İletkenler**

Elektriği ileten minerallerdir.En iyi iletken mineraller metallerdir. Örneğin;altın, gümüş, bakır gibi.

### 3.3.Minerallerin Tanınmasında Yararlanılan Diğer Fiziksel Özellikler

**Gerçek renk:** Minerallerin en belirgin özelliklerinden olup mineralin kimyasal bileşimine ve mineral içindeki renk verici diğer elementlere bağlı olarak değişir. Mineral üzerine düşen ışığın bazı dalga boylarını soğururken bazılarını da yansıtır. Yansıyan bu ışık mineralin rengini belirler.

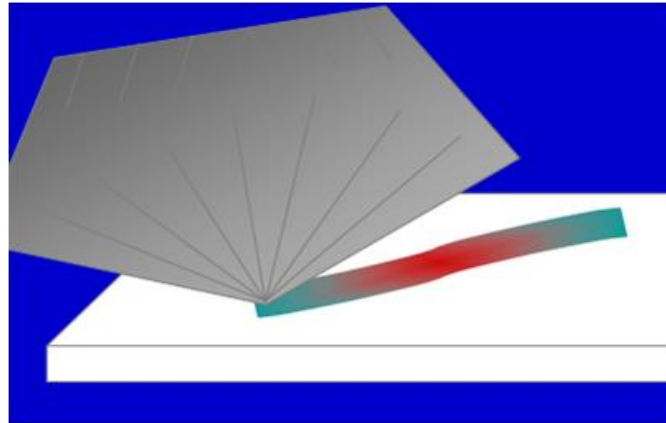


**Şekil 3.2.** Işığın madde ile etkileşmesi sonucunda meydana gelen yansıma, kırılma, yayılma ve absorpsiyon (url 18)



**Şekil 3.3.** Farklı renkte mineraller

**Çizgi Rengi:** Mineralin porselenin sert yüzeyine sürtüldüğünde bıraktığı renge denir. Bu durum için porselen parlatılmamış ve sertliği 7 olmalıdır.



**Şekil 3.4.** Minerallerin çizgi rengi gösterimi

**Parlaklık:** Mineralin yüzeyinden yansıyan ışığın niteliği ve şiddetidir [13]. Temel olarak metalik(galen) parlaklık ve metalik olmayan parlaklık olmak üzere iki gruba ayrılır.



**Şekil 3.5.** (a) metalik( galenit)(url 19), (b) metalik olmayan( pembe kuvars) (url 20) mineraller

Metalik olmayan parlaklığın da kendi arasında bazı çeşitleri mevcuttur.

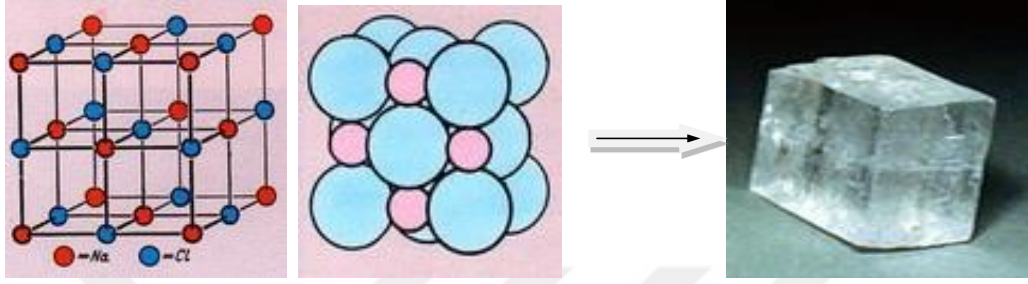
- **Metalik parlaklık :** Galen, pirit, kalkopirit
- **Elmas parlaklığı :** Elmas, korund
- **Camsal parlaklık :** Kuvars, topaz, barit, flourit
- **Reçine parlaklığı :** Sfalerit
- **Sedef parlaklığı :** Talk, barit
- **İpek parlaklığı :** Asbest, lifli jips
- **Yağ parlaklığı :** Kükürt, kasiterit, zirkon, nefelin, kordierit

**Özgül Ağırlık:** Bir cismin birim hacminin  $+4^{\circ}\text{C}$ 'deki arı suyun birim hacmine oranıdır.



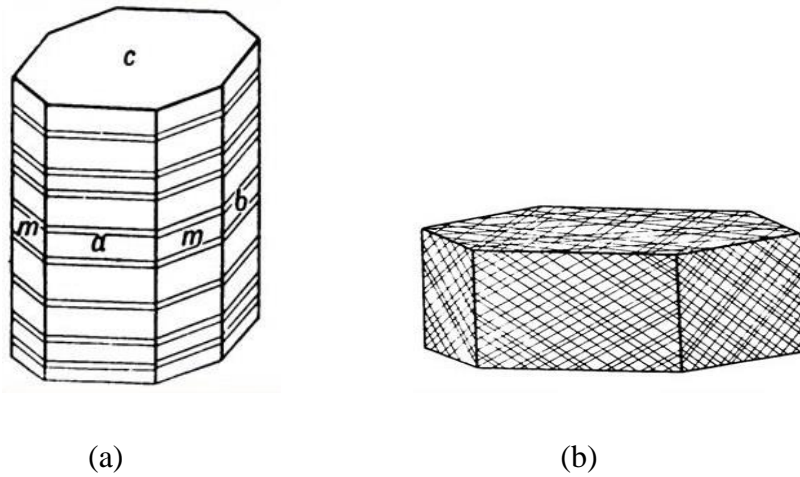
Taşların bileşimine giren minerallerin özgül ağırlıkları 1-21 arasında değişmekte olup bir çoğunun özgül ağırlığı 2-2.7 arasındadır. Madenlerde ise bu değer 5 civarındadır.

**Kristal Şekli:** Mineral atomlarının iç düzenlenmesine bağlı olarak oluşan düzenli dış şekildir.



Şekil 3.6. Halit mineralinin, (a) kristal yapısı,(b) kristal şekli

**Yarılma:** Kristal düzlemine paralel olan yarılma minerallerde zayıf yapısal düzlemler boyunca görülen ayrılmadır.



Şekil 3.7. (a) Bazal yarılma(piroksen), (b) Rombohedral yarılma(korund)(url 21)

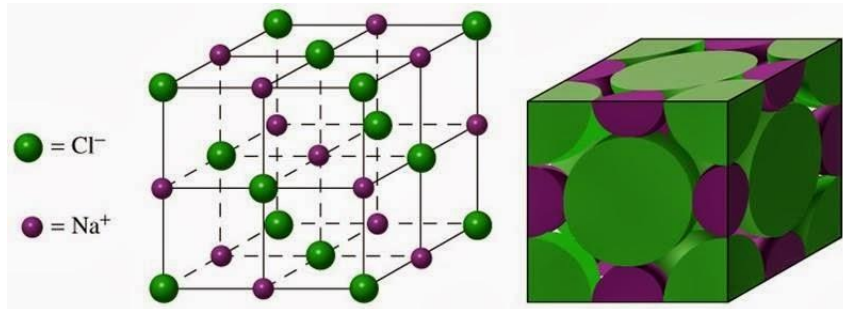
**Kırılma:** Mineralin yarıma ve dilinim yüzeyleri dışında kalan yüzeyler boyunca düzenli olmayan yüzeyler oluşturarak ayrılmasına denir. Minerallerin kırılması sırasında yüzeylerinde meydana gelen şekiller mineralin tanınmasında önemli rol oynar.

- **Konkoidal:** Mineral kırıldığı zaman meydana gelen midye kabuğu şekilli kırıklı karakteristik yüzeylerdir ( çakmaktaşı, obsidiyen).
- **Çengelli:** Dişli ve keskin kenarlı kırık yüzeyidir( gümüş, bakır).
- **Lifsel ve kıymıklı:** Lifli minerallerde görülen kırılma yüzeyleridir(kuvars).
- **Pürüzlü veya düzensiz:** Minerallerin kırılma düzlemlerinin pürüzlü ya da düzensiz olduğu yüzeylerdir(kaolen).

### 3.4.Mineralerin Tanınmasında Yararlanılan Kimyasal Özellikler

Bir mineralin kimyasal özelliklerini belirleyebilmek için öncelikle o mineralin atomları arasındaki bağları incelemek gerekir. Buradan yola çıkılarak mineraldeki atom dizilişlerinin hangi esaslara göre onun kimyasal bileşimine bağlı olduğu ,mineralin kimyasal formülü ile fiziksel ve geometrik özellikleri arasındaki ilişki saptanabilir. Atomları bir arada tutan kuvvetlere **kimyasal bağ** denir.

•**İyonik Bağ(Heteropolar):** Elektronegatiflikleri birbirinden farklı iki iyonun arasında elektriksel çekim kuvvetinden dolayı oluşan bağdır. Metaller ile ametaller arasında gerçekleşir. Metallerin elektron vermesi, ametallerin ise elektron almasıyla oluşur. İyonik bağı yapan atomlardan elektron veren (+) yüklü (kasyon), elektron alan (-) yüklü (anyon) iyon olur ve zıt çekim kuvveti iyonları bir kristal içinde tutar.



Şekil 3.8. Halit mineralinin (NaCl) örgü yapısı (url 22)

İyonik bağılı minerallerin;

-Elektrik iletkenlikleri çok azdır.

-Eridiklerinde oldukça yüksek elektrik iletkenliğine sahiptir.

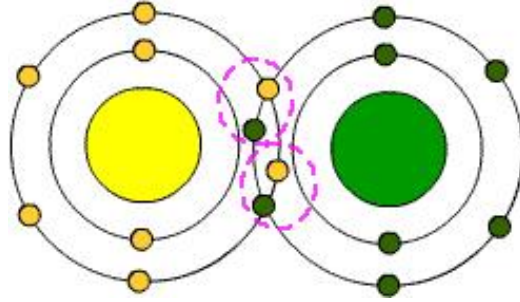
-Genellikle suda kolay çözünürler.

-Erime ve süblimleşme (katıdan→gaza) dereceleri yüksektir.

-Genellikle şeffaf, renksiz ve renkli-şeffaftırlar.

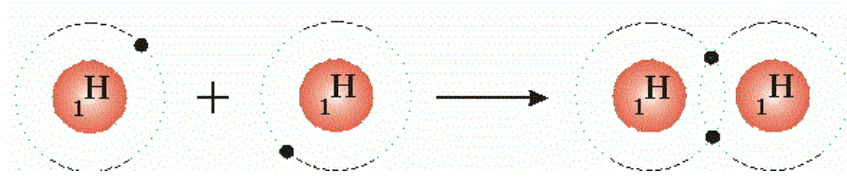
-Termik genişleme, sıkıştırılabilme, sertlik, kopma gibi diğer fiziksel özellikler iyonik bağın şiddetine bağlıdır.

• **Kovalent Bağ (Homopolar Bağ):** Mineraldeki komşu atomların, kararlı hale gelmek için, dış yörüngedeki elektronlarını ortaklaşa kullanarak oluşturdukları bağıdır. Kovalent bağılı bileşikler apolar kovalent ve polar kovalent bağ olmak üzere ikiye ayrılır.



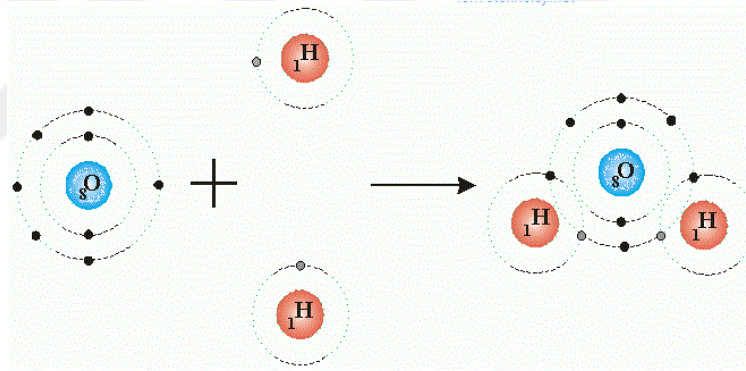
**Şekil 3.9.** Kovalent bağ oluşumu (url 23)

**Apolar kovalent bağda,** bağı oluşturan elektronlar atomlar tarafından eşit oranda paylaşılır. Bu yüzden molekülün pozitif veya negatif kutbu yoktur yani kutupsuz bir bağıdır.



Şekil 3.10. Hidrojen gazı oluşumu(url 24)

**Polar kovalent bağda**, atomlardan bir tanesi elektronlar üzerinde daha fazla çekim kuvvetine sahiptir. Bu yüzden de kutuplaşma olur. İki atomun elektron çekme yetenekleri arasındaki farkın büyüklüğü arttıkça kimyasal bağ daha polar hale gelmektedir.



Şekil 3.11. Su molekülünün oluşumu(url 25)

Kovalent bağlı minerallerin;

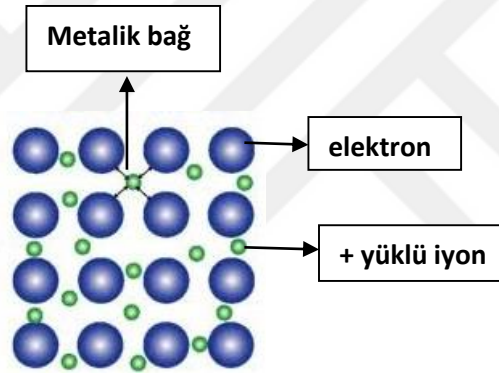
- Elektriği iletmezler, katı ve erimiş durumlarında iyi izolatördürler.
- Koordinasyon sayısının düşük olduğu durumlarda tek molekül oluştururlar.
- Erime ve buharlaşma dereceleri düşüktür.

-Yüksek koordinasyon sayılı kristaller genellikle suda çözünmezler, yüksek sertliğe ve erime derecelerine sahiptirler.

-Işığın kırma indisleri yüksek , yansıtma(refleksiyon) yetenekleri kuvvetlidir.

-Kristalin çözülmüş durumlarında farklı absorpsiyon gösterirler.

●**Metalik Bağ** : Metal atomlarının en dış yörüngesindeki valans elektronları atom çekirdeğine zayıf bir kuvvetle bağlıdır. Mineral içinde serbestçe dolaşan bu elektronlar elektron bulutu oluştururlar ve bu elektron bulutu pozitif yüklü metal çekirdeklerini bir arada tutar. İşte bu elektron bulutu ile pozitif yüklü iyonlar arasındaki elektrostatik çekim kuvveti metalik bağı oluşturur.



Şekil 3.12. Metalik bağ( url 26)

Metalik bağlı mineraller;

-Elektrik ve ısı iletkenlikleri yüksektir.

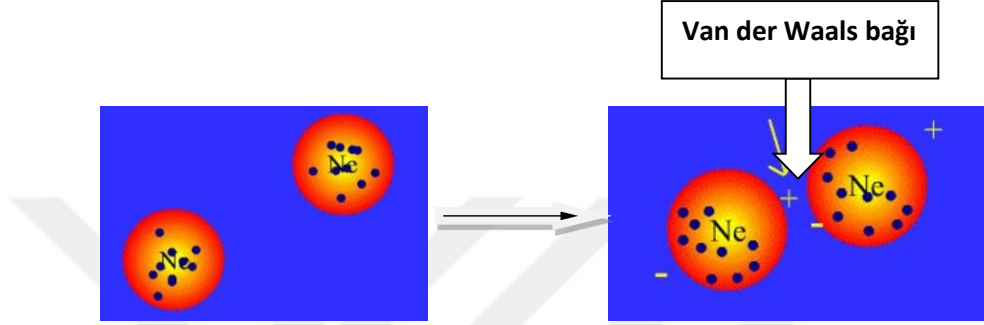
-Işığı geçirmezler, yani şeffaf değildirler.

-Az veya çok metalik parlaklığa sahiptir.

-Metallerin erime ve kaynama dereceleri, termik genişleme, sıkıştırılabilirliği ve plastik şekillenme gibi mekanik ve fiziksel özellikleri bağ kuvvetine bağlıdır.

-Metalik bağı sahip kristallerde bağ enerjisi çok büyüktür.

●**Van der Waals Bağı ( Molekül Bağı):** Mineraldeki iyonlar ve atomlar arasında oluşan kısa süreli zayıf çekim kuvvetine denir. Van der Waals bağı moleküller arası veya asal gazların atomları arası etkileşmelerde kendini gösterir.



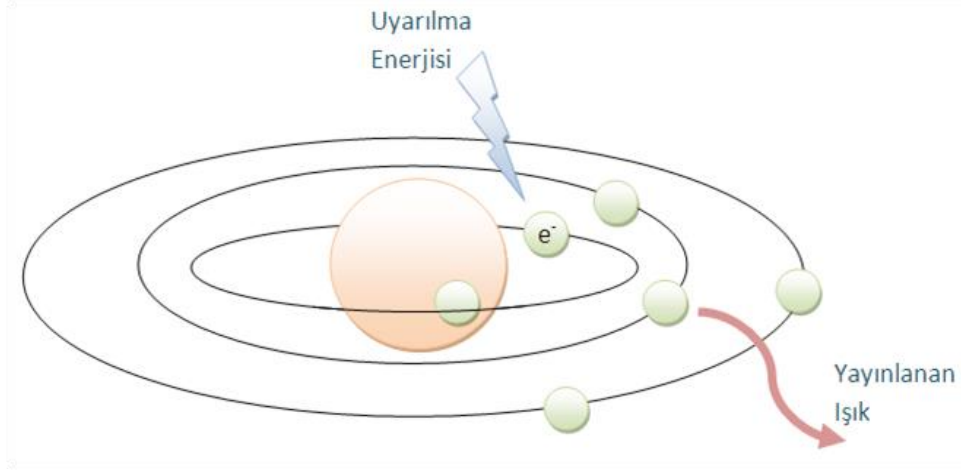
**Şekil 3.13.** Neon mineralinin atomları arasındaki Van der Waals bağı (url 27)

Van der Waals bağılı mineraller;

-Atomlar ve elektronlar arasında oluşan en zayıf bağıdır.

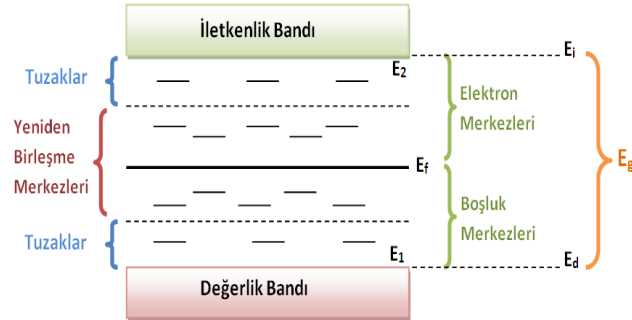
-Bağların olduğu bölgeler zayıflıkları nedeniyle dilinim düzlemleri oluşturur.

## LÜMINESANS



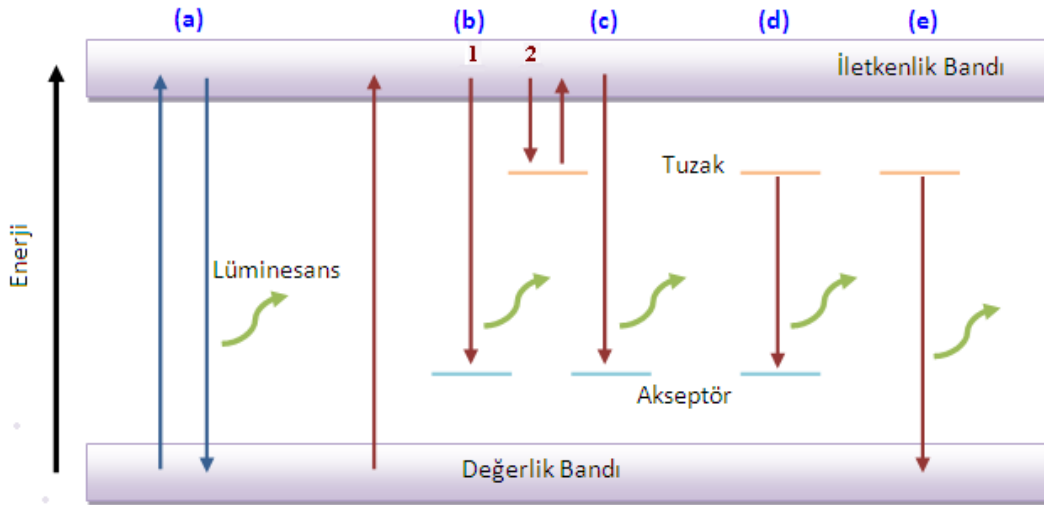
Şekil 4.1. Lüminesans olayının şematik gösterimi(url 28)

Herhangi bir yolla radyasyona maruz bırakılan bir numunenin gelen enerjinin bir kısmını soğurup daha uzun dalgaboylu bir ışık olarak yaymasına lüminesans (ışıldama) denir. Yayınlanan ışığın dalgaboyu malzemeye özgü olup gelen radyasyonun karakteristiğine bağlı değildir. Genellikle yalıtkanlarda ve bazı yarıiletkenlerdeki kusurların varlığı lüminesansa neden olan yeni optiksel soğurma bantları oluşturur. Bu sebeple malzemenin lüminesans özellikleri incelenerek malzemede bulunan değişik tür kusurlar, malzemenin aktivasyon enerjisi ve tuzak derinliği hakkında yararlı bilgiler elde edilebilir. İdeal bir iyonik kristaldeki enerji bant modeli lüminesans mekanizmasının temelini oluşturmaktadır [15].



Şekil 4.2. Katılarda enerji bant modeli

Katılarda atomların en dış orbitalindeki valans elektronlarının bulunduğu banda valans bandı denir. Valans bandının üstünde bulunan ve elektronlar bakımından boş olan en üst enerji bandına iletkenlik bandı denir. Hiç elektronun bulunmadığı bu ikisi arasındaki boşluğa da yasak bant aralığı denir. Kristallerin yalıtkan, iletken veya yarıiletken olup olmadıkları bu yasak enerji aralığına göre yorumlanır. Bu şekilde bir enerji bant modeline sahip bir malzeme radyasyona maruz bırakıldığında (uyarıldığında) malzeme içerisindeki atomların son yörüngelerindeki valans (değerlik) elektronları uyarılarak bu elektronların değerlik bandından iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Fakat iletkenlik bandına çıkan bu elektronlar burada dolanırken enerji kaybeder ve tekrar kararlı duruma yani değerlik bandına dönmek ister. Bu dönüş esnasında elektron, uyarıldığı yörünge ile değerlik bandındaki eski yörüngesi arasındaki enerji farkı kadar enerjisinin tümünü veya bir kısmını ışık (foton) şeklinde atabilir ve böylece sistemden bir ışık yayılması gözlenir. Böylece lüminesans olayı gerçekleşir.



**Şekil 4.3.** Farklı yollarla oluşan lüminesans (url 28)

Lüminesans merkezinin türüne ve bulunduğu yere göre farklı yollarla lüminesans olayı gerçekleşebilir. Şekil 4.2 de görüldüğü gibi oluşan lüminesanslar:

a) Soğurulan uyarma enerjisiyle elektronun önce iletkenlik sonra da değerlik bandına geçerken oluşan lüminesans,



b) Uyarılma enerjisinin 1 ve 2 durumlarından yeniden birleşme merkezleri (akseptör) seviyelerine geçişinde oluşan lüminesans,

c) Tuzak seviyelerinden iletkenlik bandına ve yine oradan yeniden birleşme merkezlerine (akseptörlere) geçişte oluşan lüminesans,

d) Tuzaklardan akseptörlere geçişte oluşan lüminesans,

e) Tuzaklardan direkt değerlik bandına geçişte oluşan lüminesans.

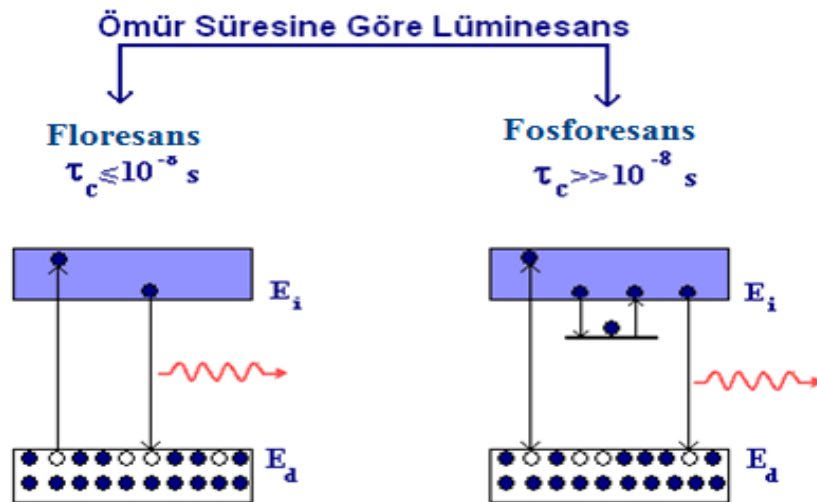
diyebiliriz. Bazı malzemelerde bulunabilecek olası lüminesans merkezleri ise şunlardır:

- Geçiş metal iyonları
- Nadir toprak elementleri
- Ağır metaller
- Elektron-boşluk merkezleri
- Dislokasyonlar, cluster,...

Lüminesans, ömür sürelerine ve uyarılma şekillerine göre iki gruba ayrılır.

#### 4.1. Ömür Sürelerine Göre Lüminesans Türleri

Lüminesans yayımlanması, uyarılma ardından yayımlanma ömrü olarak bilinen bir karakteristik zamanda ( $T_c$ ) meydana gelir ve bu zaman malzemeye özgüdür. Eğer  $T_c \leq 10^{-8}$  s ise bu lüminesans türü "floresans" ve  $T_c \gg 10^{-8}$  s ise "fosforesans" olarak adlandırılır.



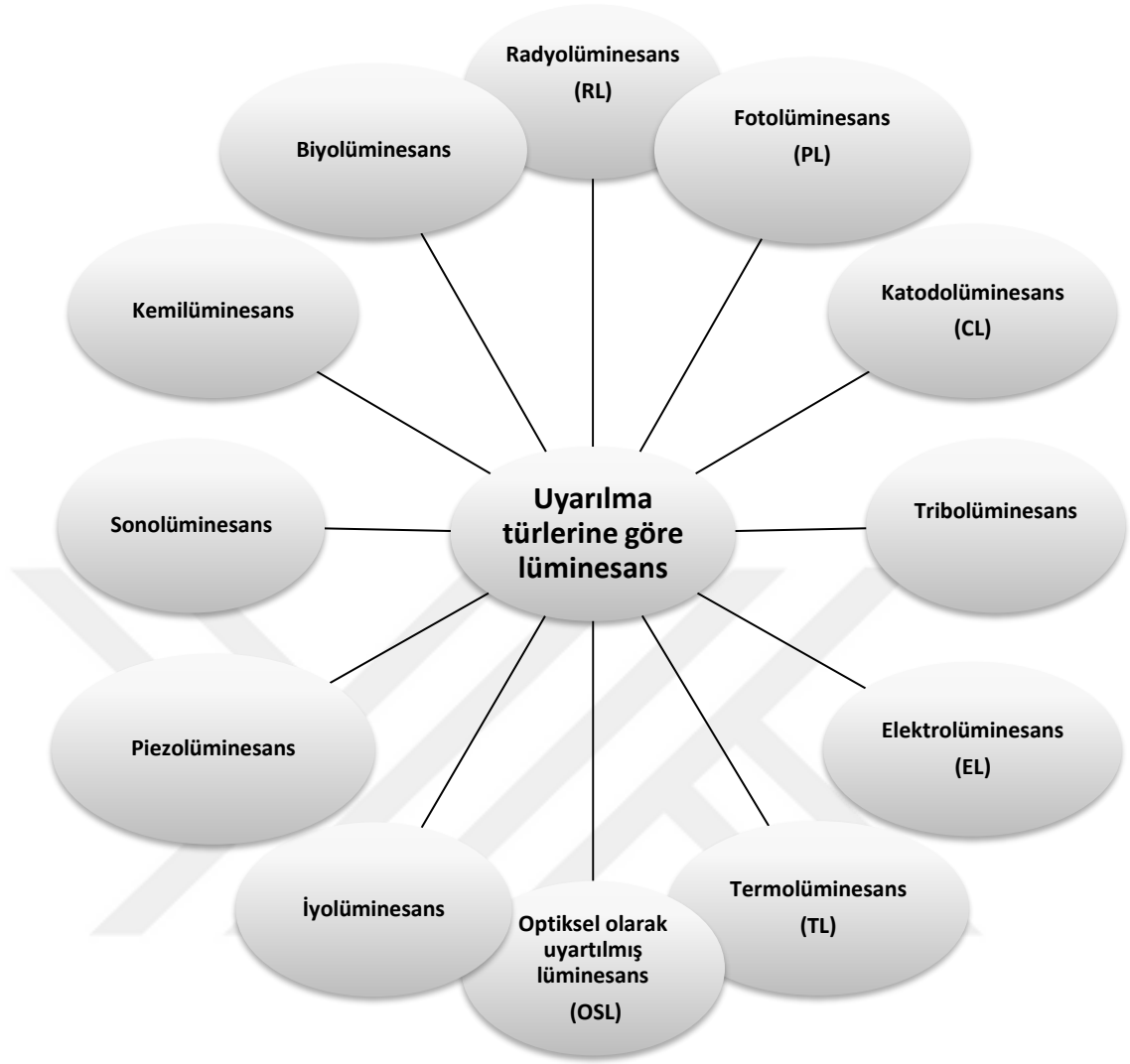
Şekil 4.4. Floresans ve fosforesans olaylarının şematik olarak gösterimi

**Floresans:** Uyarılmış bir singlet sistemden temel haldeki bir singlet sisteme geçiş sırasında yayınlanan ışık olup kısa süreli bir lüminesans olayıdır. Uyarılma ortadan kaldırıldığında oluşan lüminesans hemen yok olur. Floresans özelliği, madde içindeki yabancı iyonların kısa dalga boylu ışınlarının enerjisini soğurarak bunların yerine daha uzun dalga boylu (gözle görülebilen) ışık üretmelerini sağlar. Floresans, elektron spininde herhangi bir değişime yol açmaz. Rezonans floresans, direkt hat floresansı, basamaklı floresans ve termal destekli floresans gibi türleri mevcuttur.

**Fosforesans:** Uyarılmış bir triplet sistemden temel haldeki bir singlet sisteme geçiş sırasında yayınlanan ışık olup floresansa göre daha uzun süreli bir lüminesans olayıdır. Uyarılma ortadan kaldırıldığında, elektron spininde değişiklik oluşturması nedeniyle, kolayca tespit edilebilir bir süre kadar genellikle birkaç saniye veya daha uzun süre lüminesans olayı devam eder. Fosforesans yayılımı tuzaklanmış durumda hiçbir yük kalmayınca kadar azalan bir yoğunlukta devam eder. Floresanstan farklı olarak fosforesansın bitiş zamanı sıcaklığın bir fonksiyonudur.

#### **4.2. Uyarılma Türlerine Göre Lüminesans**

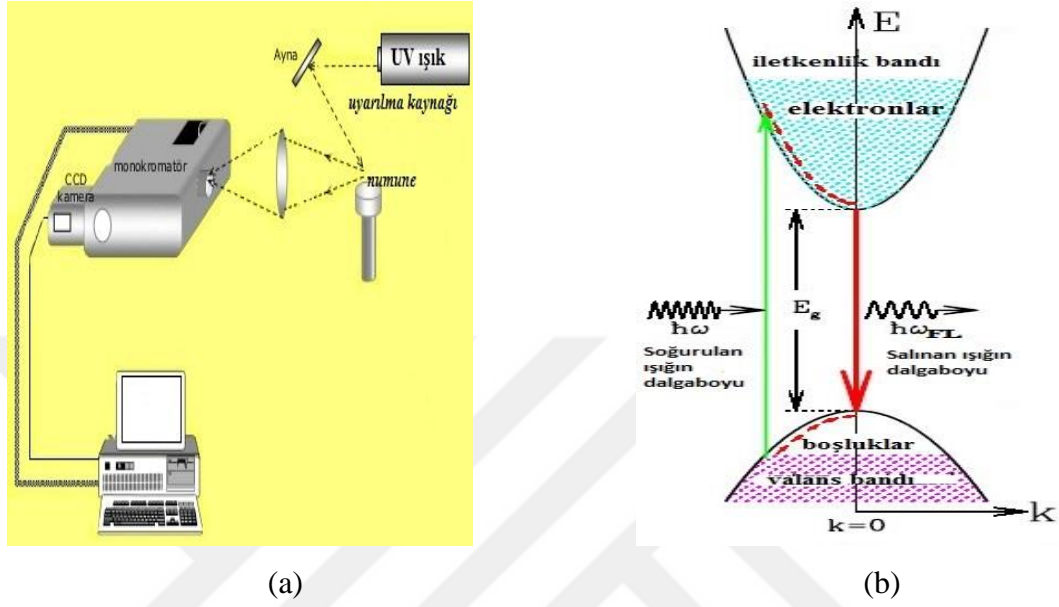
Herhangi bir yolla radyasyona maruz bırakılan bir numunenin gelen enerjinin bir kısmını soğurup daha uzun dalgaboylu bir ışık olarak yaymasına lüminesans (ışıldama) denildiğini biliyoruz. Uyarılmanın şekline bağlı olarak farklı lüminesans türleri mevcuttur.



#### 4.2.1.Fotolüminesans (PL) :

Malzemenin görünür veya mor ötesi ışık ile uyarılması sonucu oluşan lüminesanstır. Başka bir deyişle malzemenin elektromanyetik ışınım soğurması sonucunda oluşan parıldamadır. Üzerine düşen ışık sebebiyle malzeme moleküllerinde uyarılma, bağ orbitallerinde bulunan elektronların anti bağ orbitallerine geçmesi ile yani elektron boşluk çiftlerinin yeniden birleşmesiyle gerçekleşir. Salınan ışığın dalgaboyu genellikle soğurulan ışığın dalgaboyundan daha büyüktür. Floresans ve fosforesans fotolüminesansın çeşitleridir.

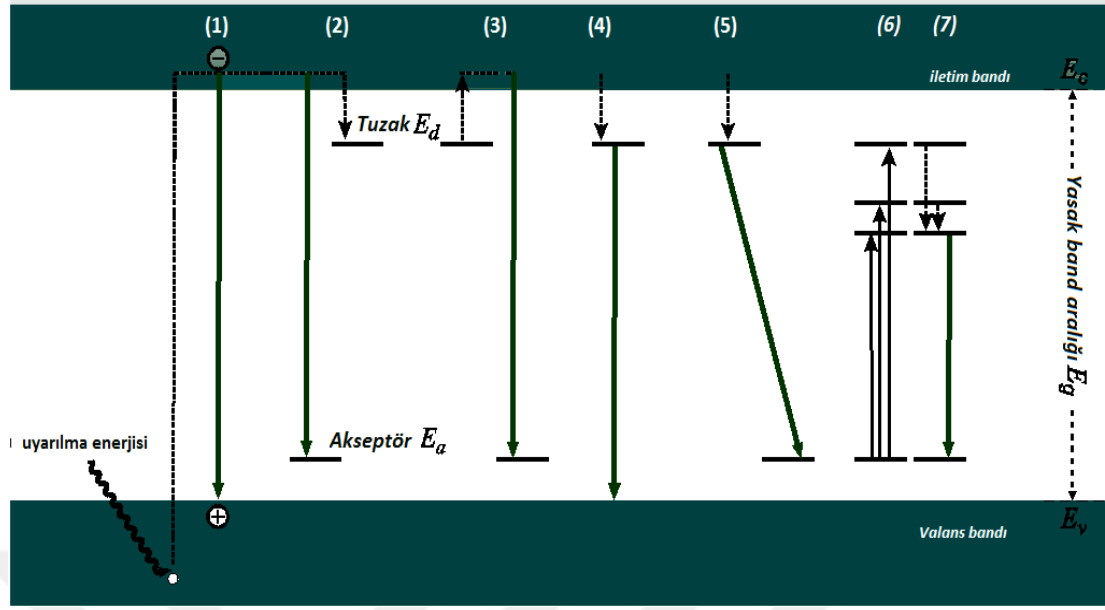
Yüksek uyarma enerjilerine sahip CL ile karşılaştırıldığında fotolüminesans daha küçük enerjilere ve lüminesans şiddetine sahiptir. CL sistemindeki elektron enerjisi 20 keV e kadar çıkabilirken, bir UV lambasından elde edilen foton enerjileri 2-5 eV civarındadır [16].



Şekil 4.5. Fotolüminesans olayının; (a) deney düzeneği, (b) bant gösterimi

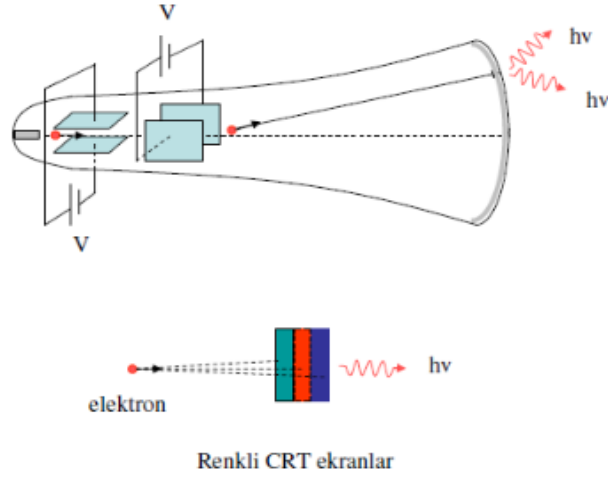
#### 4.2.2. Katodolüminesans (CL) :

Malzemenin bir elektron demeti (katot ışınları) ile uyarılması sonucu oluşan lüminesanstır. Katot ışınlarının malzemenin belirli bir bölgesindeki tüm kristal örgüyü bozabilmesi katodolüminesansı diğer uyarılma şekillerinden farklı kılar. Bu metod farklı safsızlıklarda lüminesans bantlarına ayırır, yüzey analizlerini sağlar ve emisyon bantlarını bileşenlerine ayırmada kullanılır [6]. Bu nedenle de yüzey kusurlarının incelenmesinde ideal bir yöntemdir.



**Şekil 4.6.** Değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki geçişlerin şematik diyagramı ( $E_a$ : alıcı seviye,  $E_d$ : verici seviye)

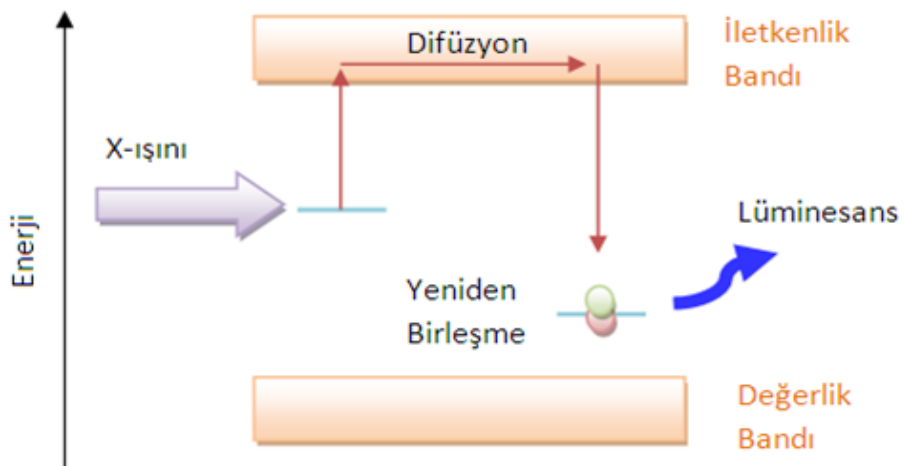
Şekil 4.6’da yalıtkan ve yarıiletken malzemelerde CL’e neden olabilen olası geçişlerin basitleştirilmiş şekli verilmektedir. İletim bandına uyarılmış bir elektron (**1. İşlem:** elektron-boşluk çifti oluşumu), doğrudan iletim bandından valans bandına geçerken oluşan rekombinasyon CL’e yol açar. **2.3.4. ve 5. İşlemler:** Yasak bant aralığındaki lokalize bölgeler yoluyla oluşan rekombinasyon dış kaynaklı CL’e yol açar. **6. İşlem** mevcut kusurlar ile bant boşluğu içinde yerleşmiş seviyelerde meydana gelen elektron-boşluk çiftlerinin yeniden birleşmesidir. Bu kusurlar “yeniden birleşme merkezleri” veya “lüminesans merkezleri” olarak bilinir. **7. İşlem,** örgü ile küçük bir etkileşmeye sahip bir merkezin uyarılmasıdır; yani bu merkezde bulunan bir elektron merkezin daha yüksek enerjili bir seviyesine uyarılır ve sonra daha küçük enerjili bir seviyeye geçer. Bundan dolayı bu işlem elektron-boşluk çiftlerinin oluşumuna bağlı değildir.



Şekil 4.7. Katodoluminansın oluşum mekanizması ( url 29)

#### 4.2.3. Radyoluminesans (RL) :

Malzemenin, radyoaktif parçalanma ürünleri olan  $\alpha, \beta$  parçacıkları ile  $\gamma$  veya X-ışını gibi yüksek enerjili foton kaynaklarına kesintisiz olarak maruz bırakılması sonucu oluşan lüminesans türüdür. Yayınlanan lüminesans, kristalin yapısı, bant aralığı, hangi dalgalarda ışık yaydığı hakkında bilgi verir [17].



Şekil 4.8. Radyoluminesansın band diyagramındaki gösterimi

RL sistemi, gelen X-ışınları malzemenin tüm yüzeyine nüfuz ettiğinden malzemenin hacimsel kısımları hakkında da bilgi sahibi olabilmemizi sağlar.

#### 4.2.4. Tribolüminesans :

Malzemenin basınç veya çok sert bir malzeme ile çizilmesi gibi mekanik etkilere maruz kalması ile mekanik enerjinin uyarılma enerjisine dönüşümü sonucunda oluşan lüminesans türüdür. Kırılarak, esnetilerek veya koparılarak ayrılan yüzeylerde, ayrılan yüzeyler arasında ince hava tabakası içinde iki yüzey üzerinde zıt yüklerin üretilmesi nedeniyle bir elektrik boşalması oluşur [16].

Malzemenin parçalanması yöntemi içinde, harcanan mekanik enerji uyarılma enerjisini sağlar ve karanlık içinde tribolüminesans denilen, gözlenebilen bir ışımaya neden olur. Bu özelliği gösteren minerallerin birçoğu metal olmayan mineraller olup iyi dilinim gösterirler.

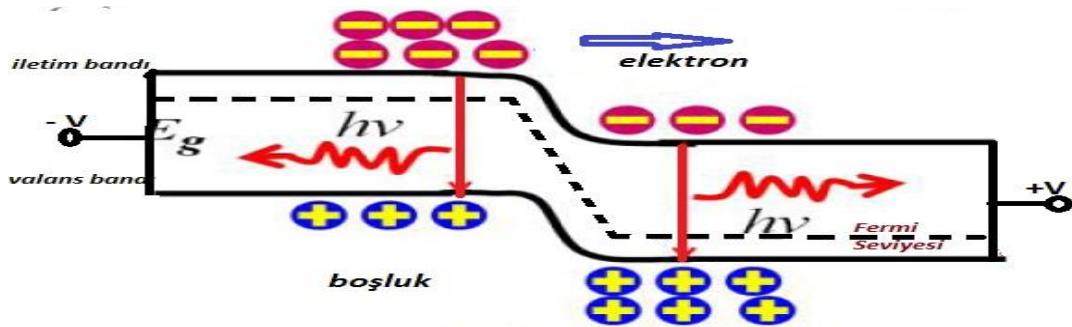




Şekil 4.9. Çeşitli yollarla oluşan tribolüminesans (url 30)

#### 4.2.5. Elektrolüminesans (EL) :

Malzemenin elektrik alan ile uyarılması sonucu oluşan lüminesans türüdür. Elektrolüminesans yüksek frekanslı elektrik akımının yalıtılmış fosfora aktarılması yani fosforun uyarılması sonucunda elektrik enerjisinin ışık enerjisine dönüşmesi olayı olup bu dönüşüm esnasında ısı üretimi olmadığından soğuk ışımadır.

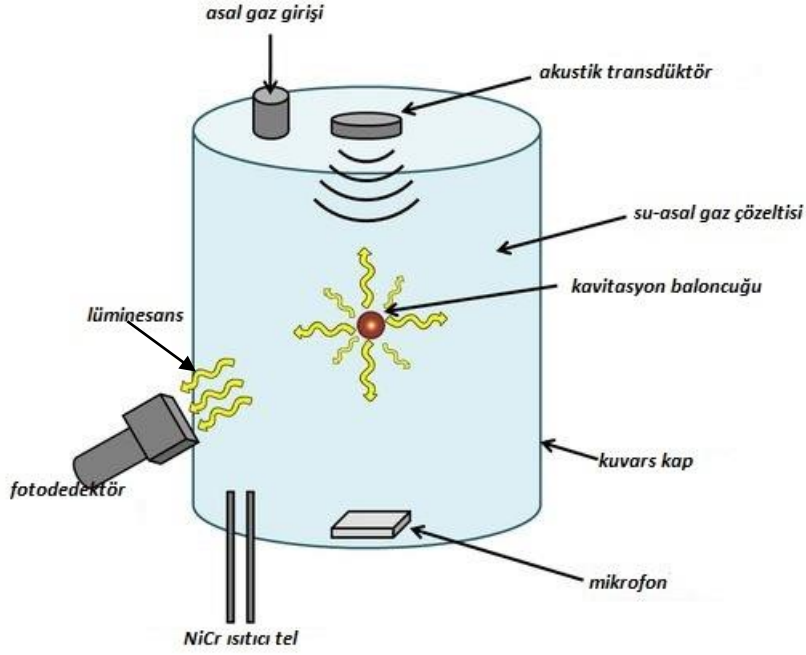


Şekil 4.10. Elektrik akımından dolayı oluşan elektrolüminesans



#### 4.2.6. Sonulüminesans :

Malzemenin yüksek frekanslı ses dalgaları veya fononlarla uyarılması sonucu meydana gelen lüminesans türüdür.



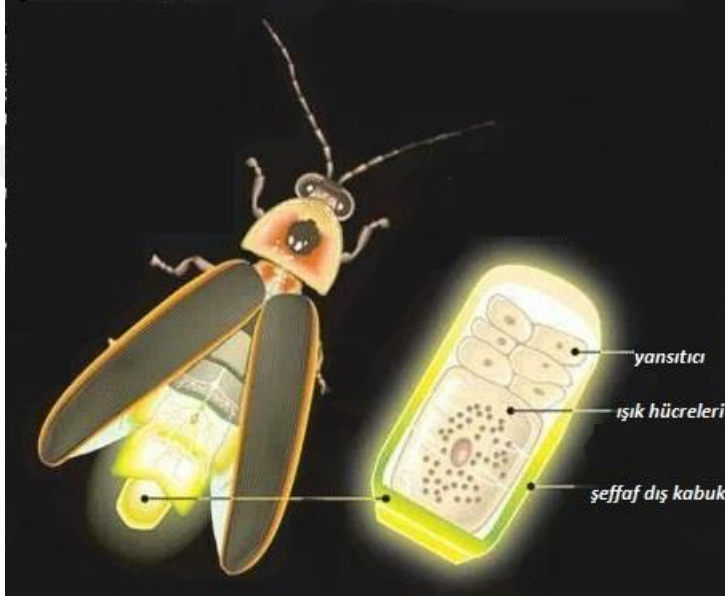
Şekil 4.11. Sonulüminesansın meydana geliş şekli

#### 4.2.7. Kemilüminesans :

Madde içinde gerçekleşen kimyasal reaksiyon sonucunda açığa çıkan enerjinin organik bir molekülü uyarılmasıyla oluşan lüminesans türüdür. Luminol oksitinin kan üzerine sıkılmasıyla oluşan renk bilinen en iyi kemilüminesans örneğidir.

#### 4.2.8. Biyolüminesans :

Canlı bir organizmada gerçekleşen kimyasal reaksiyon sırasında açığa çıkan enerjinin ışık enerjisine dönüşmesiyle oluşan lüminesans türüdür. Bazı canlı türlerinin biyolüminesans özelliğe sahip olması onların birbirleriyle iletişim kurmasına, eş bulmasına ve hatta okyanustaki alacakaranlık kuşaklarında bazı canlıların bu özelliklerini yiyecek bulabilmede kullandıkları görülmüştür.



Şekil 4.12. Ateş böceğinde biyolüminesans olayı

#### 4.2.9. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) :

Malzemenin ilk olarak radyasyona maruz bırakılması ve hemen ardından tekrar UV ya da IR ile uyartılarak tuzaklanmış elektronların serbest bırakılması ile oluşan lüminesans türüdür.

#### 4.2.10. İyölüminesans :

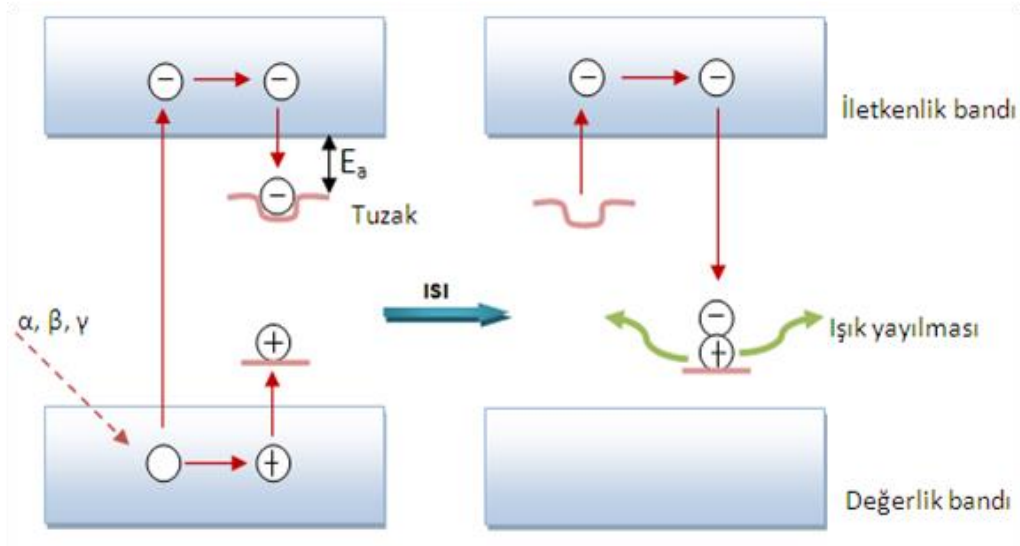
Malzemenin belirli bir enerjiye sahip iyon demetiyle, genellikle 3 MeV' a kadar olan protonlarla, bombardıman edilmesi sonucu oluşan lüminesans türüdür. İyölüminesans ile malzemedeki safsızlıklar belirlenebilir.

#### 4.2.11. Piezolüminesans :

Malzemenin yaklaşık 10 ton/m<sup>2</sup> kadarlık basınca maruz bırakılması sonucu oluşan lüminesans türüdür.

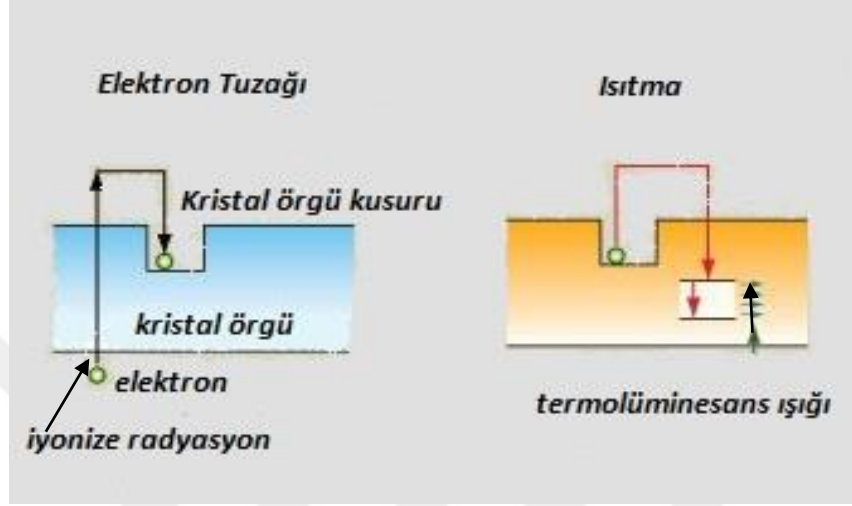
#### 4.2.12. Termolüminesans (TL) :

Herhangi bir şekilde radyasyona maruz bırakılmış malzemenin elektronları malzeme içindeki safsızlık atomlarından kaynaklanan tuzaklara yakalanmasının ardından malzemenin tekrar termal yolla uyarılmasıyla iletkenlik bandına geçen tuzaktaki elektronun değerlik bandına dönerken meydana gelen lüminesans türüdür.



Şekil 4.13. Termolüminesansın bant modeli gösterimi

Bant modeline göre radyasyonun ( $\alpha, \beta, \gamma, X$ -ışını...) soğurulması elektron-boşluk çiftinin oluşması demektir. Enerji depolanması özelliği ise safsızlıklar veya boşluklar gibi kristal kusurların varlığından kaynaklanmaktadır. Bu kusurlar; ışınlanma sürecinde oluşurlar ve elektronlarla boşlukları yakalayabilirler [18].



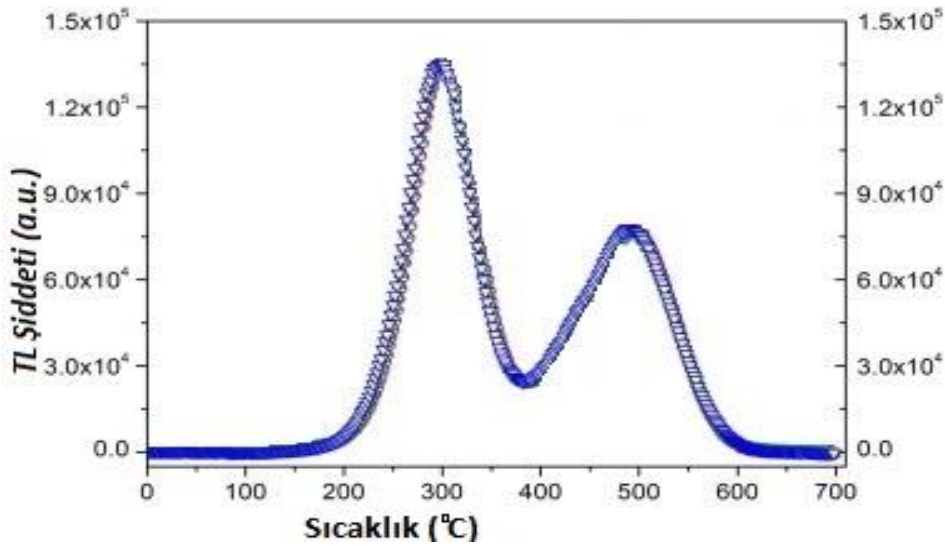
Şekil 4.14. Termolüminesans olayının gösterimi

Katı bir kristalde iletkenlik bandı ile değerlik bandı arasındaki yasak bant aralığında, örgü kusurlarından (nokta hataları, çizgi hataları, alan hataları...) kaynaklanan farklı derinliklere sahip tuzaklar bulunur. Bu tuzaklar tamamıyla hatalardan ve safsızlık atomlarından kaynaklanır.

Radyasyona maruz kalan malzemedeki atomlar birbirleri ile çarpışarak enerji kazanırlar. Şekil 4.14'te görüldüğü gibi bu atomun elektronu kazandığı enerji ile doğrudan iletkenlik bandına çıkar. Burada sahip olduğu enerjiye bağlı olarak dolarken enerjisinin bir kısmını kaybeder ve değerlik bandına geri dönmeye çalışır. Bu dönüş sırasında elektron yasak bant aralığındaki kusurlardan herhangi birine yakalanır ve kalan enerjisini kristal içinde depo eder. Bu elektronlara **tuzaklanan elektron** ya da **tuzığa yakalanan elektron** adı verilir. Tuzaklanan bu elektronları buldukları yerden kurtarmak için sıcaklık gibi bir dış etki uygulamak gerekir ve bu sebeple malzeme ısıtılır. Sıcaklığın artmasıyla ısıl örgü titreşimi artar ve giderek

güçlenerek tuzaktaki elektronun rahatsız eder. Ardından belli bir enerji seviyesine sahip tuzakların içerisinde bulunan elektron hızlıca serbest kalır. Bu şekilde tekrar uyarılan ve ısı enerjisi kazanan elektron, tuzaklandığı yerden çıkarak iletkenlik bandına geçer. Burada yine bir süre dolaşan elektron enerjisinin azalmasıyla değerlik bandına geçmeye çalışır. Bu geçiş esnasında yasak bant aralığında bulunan yeniden birleşme merkezine gelir ve boşluklarla (hole) birleşerek ışıma yapar. Isıtma sonucu yayınlanan ışımının büyüklüğü tuzaklanan elektronun sahip olduğu enerjiye bağlıdır.

Malzeme sabit hızla ısıtıldığında, elektronlar sığ tuzaklardan derin tuzaklara doğru kurtulmaya başlar. Elektron tuzakları sırasıyla boşalırken farklı sıcaklıklarda ayrı ayrı tepeler oluşması kristalde farklı tuzakların bulunduğu anlamına gelir. Derin tuzaklara doğru kristal içindeki ısısal titreşimler güçlendiği için elektronların tuzaklardan kurtulma olasılığı da artar. Elektron tuzaklarına yaklaştıkça ışıma artar ve maksimum ışıma değerine gelir. Burada sıcaklık tuzak derinliğine bağlıdır. Maksimum ışıma değerinden sonra ışıma azalır. TL sinyalleri ile oluşan ışıma eğrisinin azalıp arttığı pik değerlerini sıcaklığın fonksiyonu olarak gösteren grafiğe "ışıma eğrisi" adı verilir. TL ışıma eğrisinin düzgün ve sürekli bir eğrisi vardır. Doğal bir ametist kristalinden elde edilen tipik bir TL ışıma eğrisi Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Şekilde farklı enerji seviyelerdeki tuzaklara karşılık gelen TL pikleri görülmektedir. Bu pikler malzemenin aktivasyon enerjisi ve tuzak derinliği gibi karakteristik özellikleri hakkında bilgi verir.

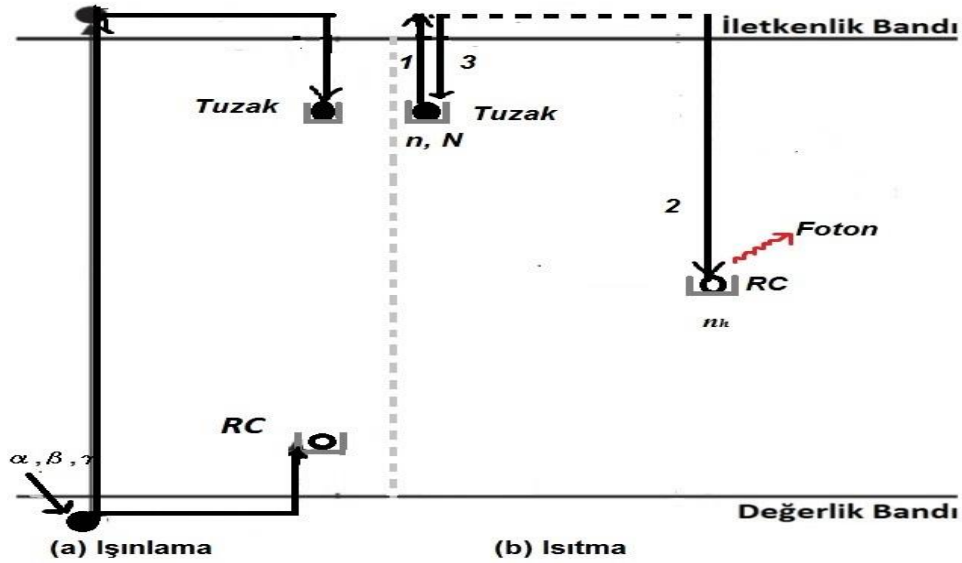


Şekil 4.15. Doğal bir ametist örneğinden elde edilmiş ışıma eğrisi

Derin tuzaklardaki elektronun ömrü sığ tuzaktakilere göre daha uzundur. Öyle ki çevresel sıcaklıklara maruz kalması sonucunda bile elektronlar bu tuzaklardan kolayca kurtulabilirler. Bu sebeple de 200 °C'den düşük sıcaklıklardaki ışıma pikleri dozimetrik uygulamalar için elverişli değildir. 300 °C ya da daha büyük sıcaklıklarda görülen kararlı ısı eğrileri dozimetrik ölçüm için idealdir.

### Termoluminesans Temel Teorisi

Temel TL teorisi en basit şekli ile iletkenlik bandı ve değerlik bandı adı verilen lokalize iki enerji seviyesini barındıran bir model ile açıklanabilir. Bu modele göre bu iki enerji seviyesinin arasında bulunan yasak bant arağında tek bir tuzak (T) ve tek bir yeniden birleşme merkezi (RC) bulunduğu varsayılabilir. Şekil 4.16'da verilen  $N$  ( $m^{-3}$ ) kristal içindeki tuzakların toplam konsantrasyonu,  $n(t)$  ( $m^{-3}$ )  $t$  zamanında kristaldeki doldurulmuş tuzakların konsantrasyonu ve  $n_h(t)$  ( $m^{-3}$ ) yeniden birleşme merkezindeki tuzaklanmış deşiklerin konsantrasyonudur.



**Şekil 4.16.** Enerji Band Modeli, (a) Işınlama sonucu uyarılan elektronların yarı kararlı enerji seviyelerinde bulunan tuzaklarda tuzaklanmaları, (b) Isısal yolla uyarılan elektronların yeniden birleşme merkezindeki boşluklar (deşikler) ile birleşerek TL fotonu yayınlanması

Malzeme  $\beta=dT/dt$  şeklinde lineer bir ısıtma hızı ile ısıtıldığında örgüdeki titreşimin artmasıyla tuzaklardaki elektronlar yükseltgenerek iletkenlik bandına geçer (**geçiş 1**). İletkenlik bandındaki elektron ya yeniden birleşme merkezi (boşlukla) ile birleşir (**geçiş 2**) ya da tekrar tuzaklanabilir (**geçiş 3**). Bu durumda salınan ışığın şiddeti ise yeniden birleşme merkezindeki boşlukların ve elektronların yeniden birleşme hızına eşittir ve

$$I(t) = -\frac{dn_h}{dt} \quad (4.1)$$

ile verilir.

$n_{0,t=0}$  da tuzaklanan yük konsantrasyonu,  $s$  tuzaktaki yüklerin titreşim frekansı,  $E$  tuzak derinliği ve  $k$  Boltzman sabiti olmak üzere tuzaklardan kurtulan elektronların sıcaklığa bağlılığı ise ;

$$-\frac{dn}{dt} = n_0 s e^{(-E/kT)} \quad (4.2)$$

ile ifade edilebilir.

## 5. TERMOLÜMINESANS KİNETİKLERİ

TL ışımaya eğrisi düzgün ve sürekli bir eğri görünümündedir. Bu eğri, farklı düzeylerde tuzaklanmış elektronların ısı ile serbest kalmasından türetilmiş üst üste birçok sayıdaki pikin birleşiminden oluşabilir. Temel termolüminesans teorisi, deneysel TL piklerinin tanımlanabilmesi için iki ifade öngörür. Bunlar, Randall ve Wilkins'in (1945) birinci derece kinetik teorisi ile Garlick ve Gibson'ın ikinci derece kinetik teorisidir. Bunların dışında birinci ve ikinci derece kinetiklere uymayan fakat bu ikisi arasındaki kinetik derecelere karşılık gelen bir şekle sahip pek çok yayınlanmış deneysel ışımaya pikleri vardır. Bu aradaki kinetik dereceleri tanımlamak için tamamen deneysel verilere dayanan diğer bir teori ise May ve Partridge tarafından önerilmiştir. TL ışımaya piklerinin şekli, konumu ve şiddeti TL salınımından sorumlu olan tuzaklama parametreleri ile ilgilidir. TL kinetikleri olarak bilinen bu parametreler, frekans faktörü  $s$  ( $s-1$ ), aktivasyon enerjisi  $E$  (eV) ve kinetik derece  $b$ 'yi içermektedir [18].  $b=1$  ise elektron bir kez tuzaklanmıştır yani birinci derece kinetik,  $b=2$  ise elektron iki kez tuzaklanmıştır yani ikinci derece kinetiği oluşturmaktadır.

### 5.1. Birinci Derece Kinetikler

Randall ve Wilkins'in (1945) birinci derece kinetik teorisine göre tuzaklardan kurtulan elektronlar tekrar tuzaklanmaz ve tek tuzak derinliğine sahiptir. Bu durumda TL ışımaya şiddeti ( $I$ ), tuzaklanmış elektronların konsantrasyonu ( $n$ ) ile doğru orantılıdır.

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} \quad (5.1)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = -ns e^{(-E/kT)} \quad (5.2)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^2}{N} s e^{(-E/kT)} \quad (5.3)$$

$$I(T) = -\frac{dn}{dt} = n^b s^b e^{(-E/kT)} \quad (5.4)$$

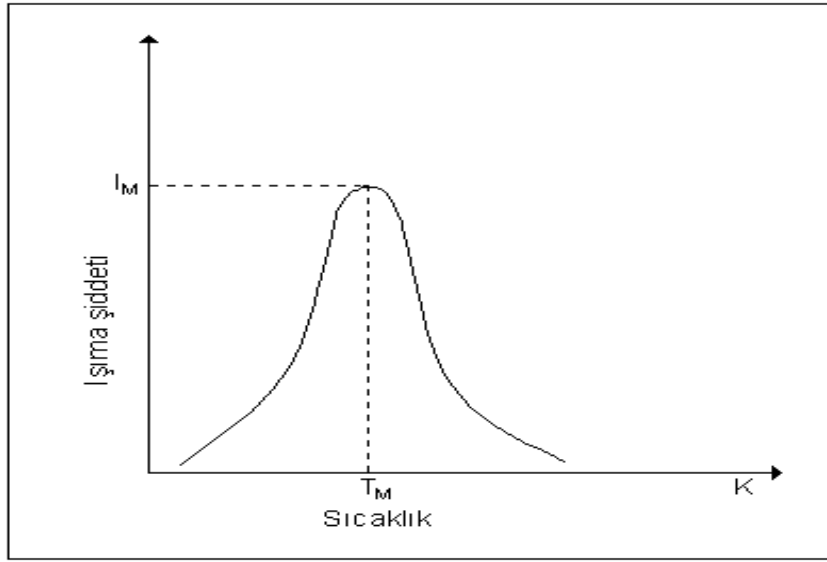


I (keyfi değer) TL Şiddeti, n t(s) anında tuzaklanmış elektron konsantrasyonu ve k (eV.K<sup>-1</sup>) Boltzmann sabiti,  $\beta$  (K.s<sup>-1</sup>) lineer ısıtma hızı ve  $n_0$  (cm<sup>-3</sup>), T<sub>0</sub> (°K) sıcaklığında tuzaklanan yük konsantrasyonu olmak üzere;

T=T<sub>0</sub>'dan T=T'ye integrali alınarak Randall – Wilkins bağıntısı:

$$I_{TL} = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[-\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T e^{(-E/kT)} dT\right] \quad (5.5)$$

bulunur.



**Şekil 5.1.**  $T_M$ , tuzaklanmış elektronların başlangıçtaki yoğunluğu olan  $n_0$ 'dan bağımsızdır [19].

Denklem (5.5)'in integrali alınırsa;

$$I(T) = n_0 \exp(-E/kT) \exp\left[-\frac{skT^2}{\beta E} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left(1 - \frac{2kT}{E}\right)\right] \quad (5.6)$$

elde edilir. Şekil 5.1'den de görüldüğü gibi T=T<sub>M</sub> noktasında denklem (5.5)'te  $\frac{dI}{dT}=0$  alınarak birinci derece kinetiklerin maksimum koşulunu veren ifade;

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (5.7)$$

bulunur. Bu eşitlik kullanılarak farklı ısıtma hızları( $\beta$ ) için deneysel sonuçlardan elde edilecek olan farklı  $T_M$  değerleri kullanılarak oluşturulan grafikten enerji seviyesi  $E$  ve frekans faktörü  $s$  rahatlıkla bulunabilir. Bu yöntem "Farklı Isıtma Hızları Yöntemi" olarak adlandırılmaktadır. Sabit bir ısıtma hızı için,  $E$  değeri arttırıldığında veya  $s$  azaltıldığında,  $T_M$  yüksek sıcaklıklara doğru kaymaktadır. Bir tuzak için ( $E$  ve  $s$  sabit) ısıtma hızı artarken,  $T_M$  daha yüksek sıcaklıklara doğru kayar.  $T_M$ ,  $n_0$  'dan dolayısı ile de verilen dozdan da bağımsızdır.

Denklem (5.7)'den  $s$  frekans faktörü;

$$s = \frac{\beta E}{kT_M^2} \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (5.8)$$

bulunur. Bu ifade (5.6)'da yerine yazılırsa;

$$I(T) = n_0 \frac{\beta E}{kT_M^2} \exp\left[\frac{E}{kT_M} \left(\frac{T-T_M}{T_M}\right)\right] \quad (5.9)$$

elde edilir. Burada görüldüğü gibi TL şiddeti  $I$ , tuzaklanan yüklerin konsantrasyonu ile doğru orantılıdır fakat ısıtma sürecinden bağımsızdır. Tuzaklanan yük konsantrasyonunun radyasyon dozu ile orantılı olduğu bilinmektedir. Bu durumda TL şiddetinin radyasyon dozu ile orantılı olması radyasyon dozimetresi açısından oldukça önemlidir.

## 5.2. İkinci Derece Kinetik

Garlick ve Gibson (1948) tarafından ele alınan ikinci derece kinetik teorisi, TL şiddetinin elektronun yeniden yani ikinci kez tuzaklanmasıyla orantılı olduğunu söyler. Bu teoriye göre elektronlarının tuzaklanma olasılığı, tuzaklanmış deşiklerle (boşluk) birleşme olasılığından büyüktür. Buna göre denklem (5.2) yeniden düzenlenirse bir  $T$  (°K) sıcaklığında birim zamanda elektronların serbest kalma hızı;

$$I(T) = -\frac{dn}{dt} = -\frac{n^2}{N} s e^{(-E/kT)} \quad (5.10)$$

elde edilir. Bu ifade yeniden birleşme olasılığının 1'e eşit olduğu birinci derece kinetik için elde edilen sonuçtan farklıdır çünkü birinci derece kinetikte yeniden birleşme olasılığı yoktur. Denklem (5.10)'un integrali sabit T sıcaklığı için alınır;

$$n = n_0 \left[ 1 + \frac{s}{N} n_0 t e^{\left(-\frac{E}{kT}\right)} \right]^{-1} \quad (5.11)$$

bulunur. Bulunan bu ifade denklem (5.10)'da yerine koyulup sabit ısıtma hızı ( $\beta = dT/dt$ ) için integral alınır TL şiddeti I(T);

$$I(T) = n_0^2 \frac{s}{N} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[ 1 + \frac{n_0 s}{\beta N} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT \right]^{-2} \quad (5.12)$$

ya da  $s' = s/N$ ,

$s'$  : b=2 durumu için indirgenmiş etkin ön expotansiyel faktör

$s''$  : etkin ön potansiyel faktör

b : kinetik derecesi

olmak üzere (5.12) ikinci derece kinetikleri tanımlayan denklem;

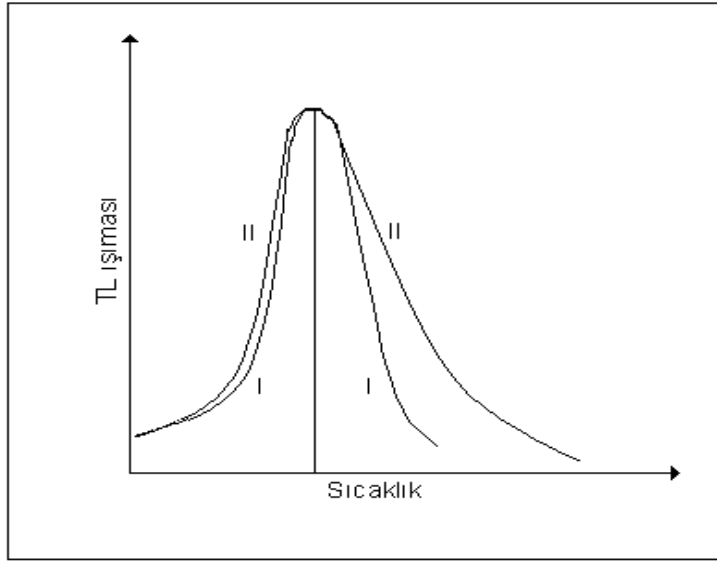
$$I(T) = n_0 s'' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[ 1 + \frac{s''}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT \right] \quad (5.13)$$

şeklinde de ifade edilebilir.

$s''$  (etkin ön exponansiyel faktör), ikinci derece tepe için  $n_0$  arttıkça artar. Bunun nedeni TL tepesinin konumunun E' ye ve  $s'$ 'ye bağlı olmasından kaynaklanır. İkinci derece kinetiğin en önemli özelliği elektronların çoğunun yeniden birleşme olmadan tekrar tuzaklanmasıdır. Böylece TL pikinin geniş bir aralığa yayılması ve ışınım yayılımının gecikmesine yol açar [20].

Kinetik mertebelerinin ışıma eğrileri üzerine etkisi şekil 5.2'de açıkça görülmektedir. Şekilde her örnek için tek tip tuzak ve dolayısı ile her örnek için sadece bir tepe mevcuttur ve ikinci dereceden kinetiğe sahip örnek içerisindeki elektronların tekrar tuzaklanmaları TL sinyalinin sönümünü geciktirmektedir. Bu sebeple ikinci derece kinetiğe sahip örnekten elde edilen eğrinin azalan kısmı daha uzundur. Bu fark birinci ve ikinci derece kinetik mertebesine sahip tepelerin ayırt edilmesini sağlayan önemli bir özelliktir. Buna göre, ikinci derece kinetiğin baskın

olduğu durumlarda TL tepesi maksimum değerinden sonra azalırken geniş bir sıcaklık aralığında azalmaktadır ve tuzaktaki elektronların yeniden tuzaklanmasıyla oluşan gecikmeden dolayı  $T_M$  %1'lik bir dereceyle artış göstermektedir. Tuzaklanmış elektronların serbest kalması  $T_M$  sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerinde gerçekleştiğinden ışık yayını  $T_M$ 'nin altındaki sıcaklıklarda meydana gelir. İkinci derece kinetikte birinci derceden kinetikten farklı olarak,  $n_0$  konsantrasyonları artarken  $T_M$  azalmaktadır.

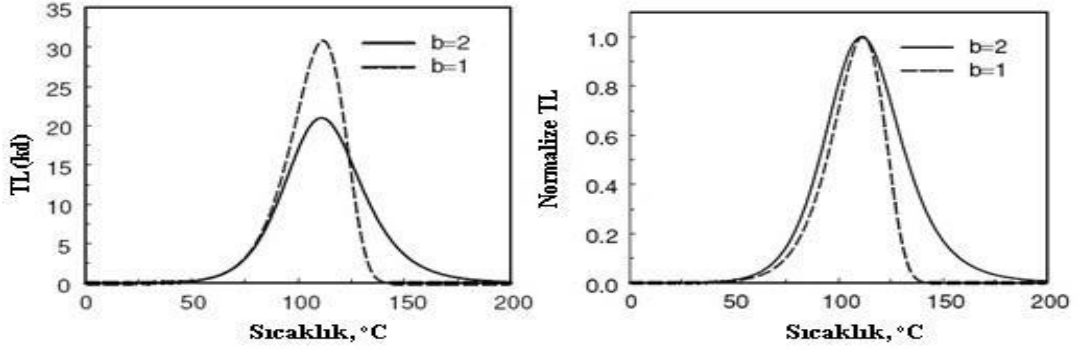


**Şekil 5.2.** Kinetik mertebenin ışımaya eğrisi üzerine etkisi. I, birinci derece kinetiğe sahip; II ise ikinci dereceden kinetiğe sahip örnekte elde edilen tepelerin şeklidir. İki eğri arasındaki büyük fark, eğrinin alçalan kısmında görülmektedir [19].

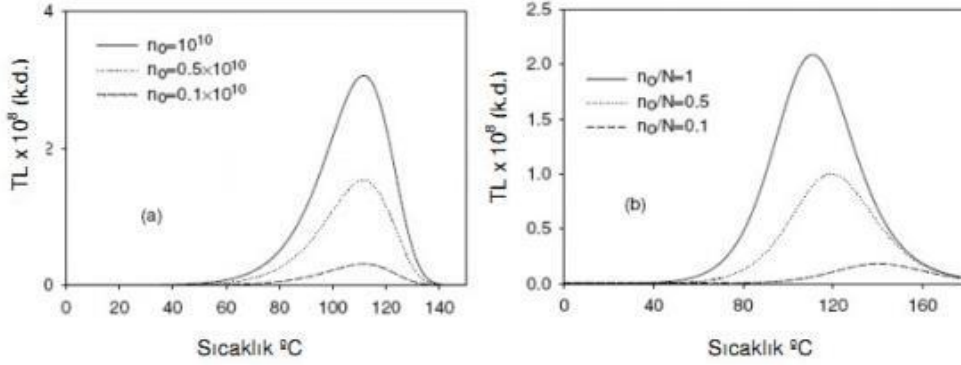
$T=T_M$  noktasında denklem  $\frac{dl}{dT}=0$  alınarak ikinci derece kinetiklerin maksimum koşulunu veren ifade;

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \left[1 + \frac{2kT_M}{E}\right] \quad (5.14)$$

olur.



Şekil 5.3. Parametreleri  $E=1$  eV,  $s=10^{12} s^{-1}$ ,  $n_0=N=10^3 m^{-3}$  olan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışıma eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması.



Şekil 5.4.  $E=1$ eV,  $s=10^{12} s^{-1}$ ,  $N=10^{10} m^{-3}$ , (a için)  $n_0 = 1, 0.5, 0.1 \times 10^{10} m^{-3}$ , (b için)  $n_0/N = 1, 0.5, 0.1$  olan farklı  $n_0$  konsantrasyonları için birinci ve ikinci derece TL yoğunluğunun değişimi.

### 5.3. Genel Derece Kinetik

May ve Partridge tarafından önerilen genel derece kinetik teorisi birinci ve ikinci derece kinetik teorilerinin yetersiz olduğu durumlarda kullanılır. Bu kinetik teori deneysel olarak çalışır yani teorik olarak elde edilmiş birinci ve ikinci derece ışıma eğrilerinin deneysel olarak elde edilen ışıma eğrilerine tamamen uymadığı durumlarda tuzakların enerji seviyelerinin tek olduğu düşüncesine dayanarak kullanılır. Tek bir enerji seviyesinde bulunan yük taşıyıcılarının sayısı  $n$  ve kinetik

derecesi  $b$  olmak üzere  $n$ 'in  $n^b$  ile orantılı olduğunu kabul edilirse bu durumda tuzaklardan kurtulma olasılığı;

$$I(T) = -\frac{dn}{dt} = n^b s' e^{-E/kT} \quad (5.15)$$

olur. Burada  $s'$  ( $s^{-1}$ ) frekans faktörüdür ve birimi  $m^{3(b-1)}s^{-1}$ 'dir.  $b \neq 1$  için bu denklemin integrali alınır;

$$I(T) = n_0 s'' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 - (b-1) \frac{s''}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT\right]^{-b/(b-1)} \quad (5.16)$$

genel dereceli empirik TL bağıntısı elde edilir.  $s''$  'nün biriminin bu denklemden kinetik dereceyle değişmesinden dolayı meydana gelen problemi gidermek amacıyla Rasheedy yeni bir bağıntı yazmıştır [21].

$$I(T) = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^b}{N} s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (5.17)$$

Buna göre (5.16) denkleminin integrali alınır;

$$I(T) = n^b s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) N \left[1 + s(b-1) \left(\frac{n_0}{N}\right)^{b-1} / \beta \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT\right]^{-b/(b-1)} \quad (5.18)$$

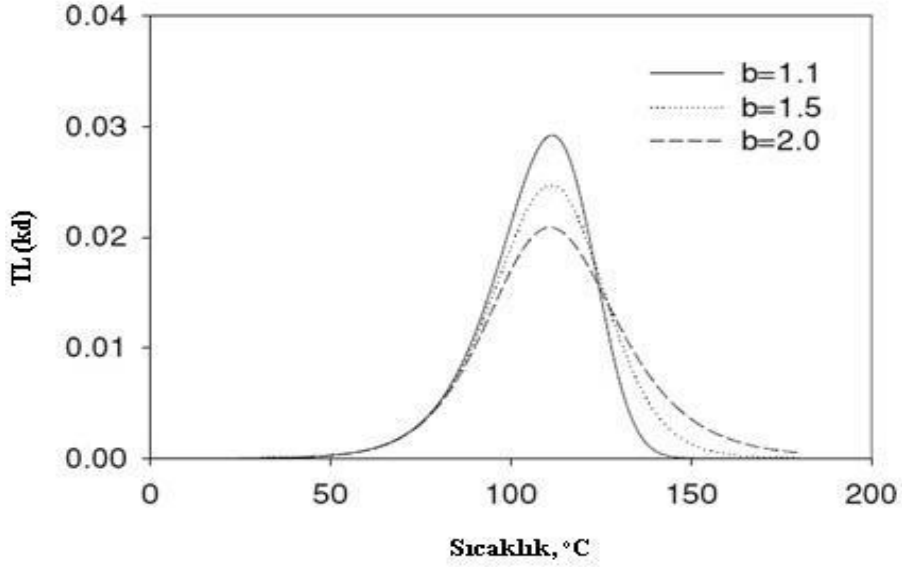
$$I(T) = \frac{\exp\left(\frac{E}{kT_M}\right)}{kT_M^2} \left[1 + (b-1) \left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right]^{-b/(b-1)} \quad (5.19)$$

elde edilir. Chen (1984) tarafından tanımlanan  $s' = sn_0^{b-1}$  etkin frekans faktörü gibi davranan deneysel bir parametredir [22].

Bu durumda maksimum salınım koşulu;

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \left[1 + (b-1) \left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad (5.20)$$

olur.



Şekil 5.5.  $E=1\text{eV}$ ,  $s=1 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$ , ve  $\beta=1 \text{ }^\circ\text{Ks}^{-1}$  için genel dereceli TL ışıma pikleri

## 6. DENEYSEL SİSTEMLER

Bu çalışmanın amacı lepidolit ve turmalin minerallerinin optik ve lüminesans özelliklerinin incelenmesi ve yorumlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda kullanılan deneysel sistemler aşağıda tanıtılmaktadır.

### 6.1. TLD Reader-Analyser Sistemi

RA'94 TLD Reader-Analyser, TL dozimetredeki incelemeler için kullanılan çok yönlü ve modern bir cihazdır (Şekil 6.1). Bu cihaz ya kendi mikroişlemcisi ile kontrol edilerek tek başına ya da bir bilgisayar ile birlikte 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 6.1. RA'94 TLD Reader-Analyser Sistemi.



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

### **TLD Reader-Analyser Sisteminin Çalışma Prensibi**

- RA94 TLD Reader-Analyser farklı fosforlardaki TL olaylarının incelenmesi ve toz veya küçük pellet şeklindeki bilinen tüm TL malzemeleri ile radyasyon dozunun ölçümü için dizayn edilmiştir. Bunların üstesinden gelmek için RA94 TLD Reader-Analyser ya el ile kontrol edilerek READER olarak ya da bir bilgisayarla birlikte programlanmış kontrol parametreleri ile READER-ANALYSER olarak çalıştırılabilir. Isıtılan TL malzemelerinden çıkan ışık sinyali uygun bir şekilde seçilmiş PM ile ölçülür. PM'in çıkış akımı akım-puls dönüştürücüsünde standart pulslara dönüştürülür.
- READER modunda TL malzemelerinin özel bir ısıtma sistemi uygulanır ve bu şekilde ısıtma sıcaklığı üç farklı adımda artırılır. Bu sistemin amacı sadece seçilen bir sıcaklıktaki TL sinyalini okumak ve başlangıçta daha sonraki kullanım için TL malzemesini hazırlamaktır. Her bir adımdaki sıcaklık ve zaman önce LiF:Mg,Ti için programlanır. TL sonucu (puls sayısı) ve sıcaklık sistemin ön kısmında bulunan LCD ekranda görülür ve paralel CENTRONICS çıkışı ile doğrudan bir yazıcıya veya RS232 seri zaman uyumsuz bir ara birim sayesinde bir PC bilgisayara gönderilebilir.
- Sisteme yerleştirilmiş olan kalibrasyon ışık kaynağı sistemin hassasiyetini kolayca ve otomatik olarak sabit bir seviyeye ayarlama imkanı sağlar.
- ANALYSER modunda ısıtma levhasının sıcaklığı önceden programlanmış bir hızla lineer olarak artar veya operatör ile ayarlanır ve sayısal hale getirilen ışıma eğrisi bilgisayara kaydedilir. Pulsların toplam sayısı ve sıcaklık LCD ekranda da görülür.

- Sistem termoelektrik sistemin hassasiyetinin kararlılığını sağlamak için bir soğutucu, TL malzemelerinin düşük şiddetli sinyalleri için inert gaz akış devresi ve karanlık akımı azaltmak için otomatik olarak kontrol edilen PM karanlık akım 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.

### 6.1.2. Sistemin Temel Özellikleri

- ❖ **Duyarlık :** Referans ışık kaynağı ile programlanabilir.
- ❖ **Hassasiyet :**  $\pm$  %2 S.D. (taneciğin çok yönlü okunması)
- ❖ **Kararlılığı :** 8 saat çalışması boyunca  $\pm$  %2 den daha iyi
- ❖ **Okuma zamanı:** READER modunda: 3-180 s  
ANALYSER modunda: 25-4000 s  
XREADER modunda: max toplam zaman 45 s
- ❖ **Üç Adımlı Isıtma:** 20-400 °C arasında ayarlanabilir sıcaklıklar.  
Her bir döngü zamanı 1-60 s arasındadır.
- ❖ **Max. Isıtma Sıcaklığı:** 400 °C ye kadar ayarlanabilir.
- ❖ **Lineer Isıtma Hızı:** Saniyede 0.5-10 °C arasında ayarlanabilir.
- ❖ **Veri Çıkışı:** LCD ekran  
Paralel CENTRONICS çıkış  
Seri RS-232 (bilgisayara)
- ❖ **Isıtma Levhası:** Dayanıklı ve sağlam platin alaşım
- ❖ **TL Dedektör Büyüklüğü:** 12 mm'den küçük
- ❖ **Güç Kaynağı Gerilimi:** 230 V / 60 Hz
- ❖ **Güç Tüketimi:** max. 200 VA
- ❖ **Ortam Sıcaklığı:** 10-28 °C
- ❖ **Boyutları:** 365x155x372 mm
- ❖ **Ağırlığı:** Yaklaşık olarak 14 kg

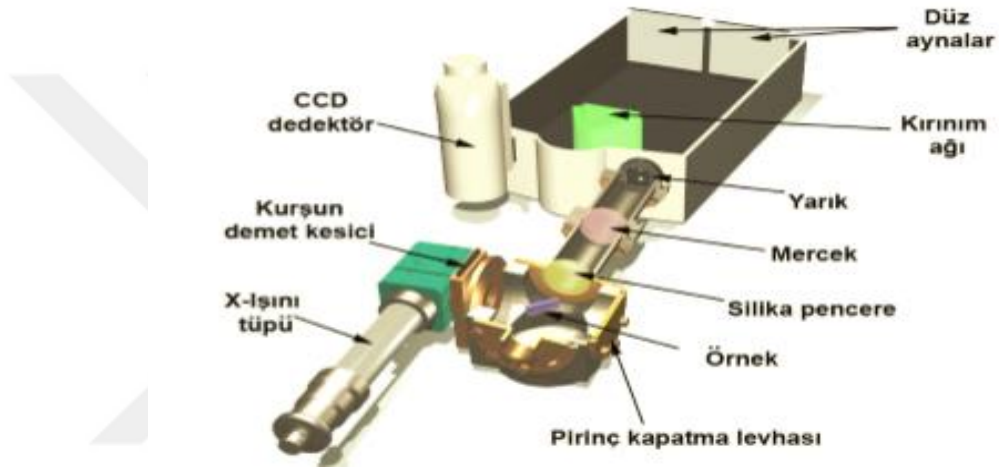
## 6.2. X-Işını Tüpü ve Radyolüminesans (RL) Sistemi

RL sisteminde kullanılan X-ışını tüpü su soğutmalı tek fazlı Machlett OEG-50A lik bir tüptür. 0,1 mm alüminyum filtreli 1 mm berilyum pencereli olup tungsten hedeften ibarettir. Şekil 6.2’de gösterilen kontrol ünitesi sayesinde, maksimum 50 kV gerilim ve 20 mA akım sağlanabilmektedir. Bununla birlikte yapılan deneysel çalışmalarda uygulanan voltaj 30 kV ve akım 15 mA dir. Yapılan hesaplamalara göre, bu değerler ile elde edilen doz hızı (10 cm uzakta) ~30 Gy/dk’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 kesilmesi durumunda veya suyun akış hızı 4 litre/dak altına düşmesi halinde sistem otomatik olarak kendini kapatmaktadır. Bu amaçla su akış hızı sisteme bağlı bulunan bir *flowmeter* ile kontrol edilmektedir. Bunun yanı sıra güvenlik amacıyla numuneyi istenmeyen ışımadan korumak için, X-ışını tüpünün önüne elle kumanda edilen ve numune tutucuda sabitlenen bir kurşun kapak yerleştirilmiştir. Böylece çalışanların kaza ile X-ışını tüpü açıkken odacığı açıp numune değiştirmeleri engellenmiştir.



Şekil 6.2. X- Işını kontrol ünitesi

Çalışmada kullanılan RL sistemi Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fizik Bölümü Lüminesans Laboratuvarında bulunmaktadır. [6]. RL sistemi, Jobin Yvon TRIAX 552 spektrometre, örnek odası, vakum sistemi ve X-ışını ünitesinden oluşmaktadır. Şekil 6.3’de çalışmada kullanılan Jobin Yvon marka monokromatöre monte edilmiş X-ışını ünitesi ile oluşturulan RL sisteminin şematik diyagramı görülmektedir. Türkiye’deki üniversitelerde bu çapta ilk defa kurulmuş olan bir RL sisteminde, geleneksel sistemlerden farklı olarak, PM (foto çoğaltıcı) tüp yerine bir CCD dedektör kullanılmıştır.



Şekil 6.3. Radyolüminesans sisteminin şematik gösterimi [17].

RL spektrumunu almak için numune  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  boyutlarında alüminyumdan yapılmış, her bir yüzeyinde 8 cm çapında delikler bulunan küp şeklindeki örnek odasındaki örnek taşıyıcıya yerleştirilir. Numuneye gelen X-ışını demeti malzemenin tamamını ışınladığı için numune hakkında detaylı bilgi edinebilme imkanı sağlar. X-ışını demeti hızlandırıcıdan çıkarak numunenin üzerine gelir ve valans elektronlarını iletkenlik bandına çıkması için uyarır. İletkenlik bandından tekrar kararlı durum olan valans bandına dönmek isteyen elektron bu dönüş sırasında ışımaya yapar. Radyolüminesans dediğimiz bu ışımaya türü sayesinde kristalin yapısı, bant aralığı, hangi dalga boylarında ışık yayınladığı gibi o kristale özgü bilgiler edinilerek kristal hakkındaki bilgiler şekillenir.

### 6.3.Optik Soğurma Sistemi

Malzemenin optik soğurma spektrumunu incelemek amacıyla Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR spektrofotometre sistemi kullanılmıştır.

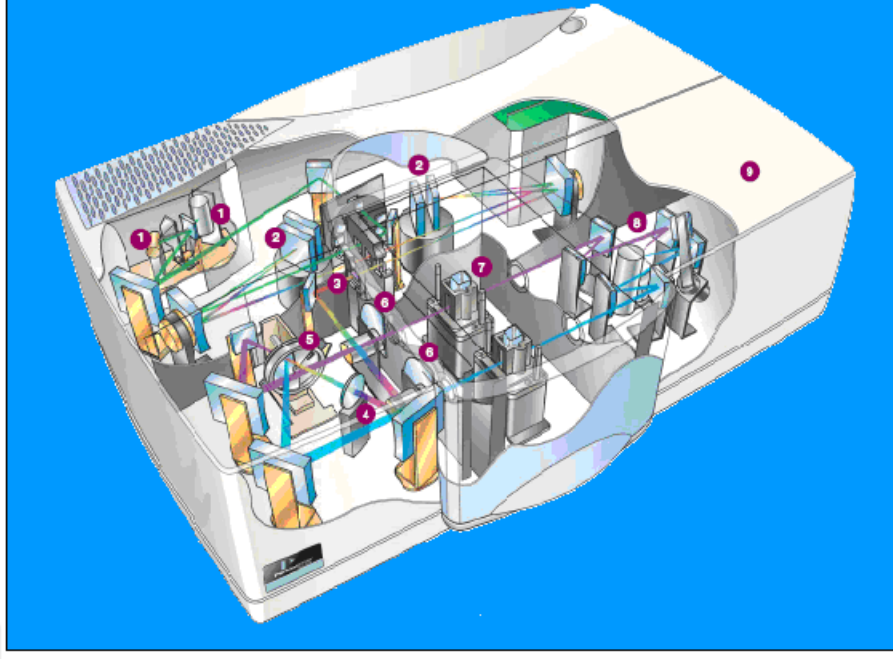


**Şekil 6.4.** Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sistemi

Tablo 6.1’de Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre sisteminin teknik özellikleri verilmektedir.

**Tablo 6.1.** Optik soğurma sisteminin teknik özellikleri özellikleri

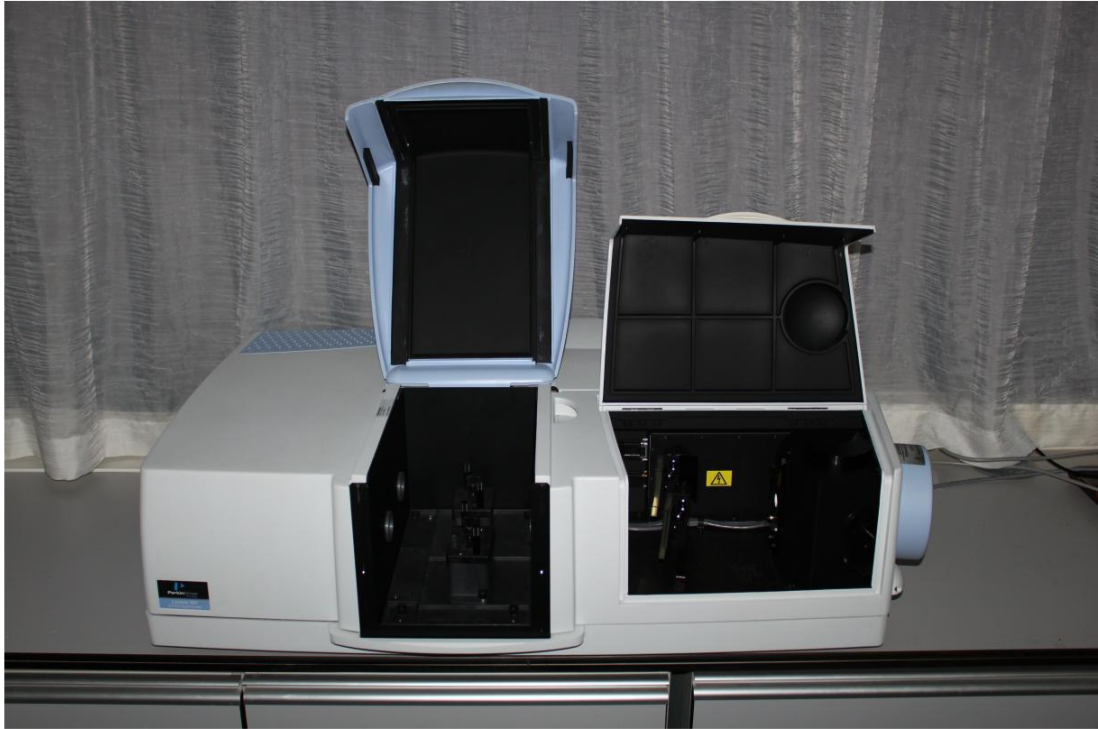
<b>Teknik Özellik</b>	<b>Açıklama</b>
Optik Sistem	Hepsi SiO <sub>2</sub> ile kaplanmış yansıtıcı optik sistemlerden oluşmaktadır. UV/VIS için 240 nm 1440 çizgi/nm ve NIR için 1100 nm de 360 çizgi/mm kırınım ağına sahip iki monokromatör bulunmaktadır.
Demet Ayırma Sistemi	Kesici (Chopper) (46 Hz, Devir:Karanlık/Örnek/Karanlık)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



**Şekil 6.5.** Perkin Emler Lambda 950 spektrofotometre sisteminin iç yapısının şematik gösterimi [13].

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 6.5'te 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 6.5 da görüldüğü gibi lambalardan çıkan ışık demeti ayna sistemi ile monokromatöre gelir (Şekil 6.5'te 2-3). Böylece demetin dalgaboyu belirlenir. Ardından monokromatörden çıkan ışık demeti yine ayna sistemi yardımıyla depolarizöre aktarılır (Şekil 6.5'te 4). Lambda 950 spektrometresi kristaller ve lazer uygulamalarında kullanılacak materyaller için polarizasyona bağlı geçirgenlik ve yansıtma ölçümleri alabileceği gibi, polarizasyondan bağımsız ölçümler için depolarize sisteminin kullanılması gerekmektedir. Depolarizörden çıkan ışık demeti demet kesiciye (chopper) gelir (Şekil 6.5'te 5). Demet kesici 47 Hz lik bir frekansla dönen, yansıtıcı ve geçirici kısımları olan ve dört parçalı olarak dizayn edilmiş bir diskidir. 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 6.5'te 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 6.5'te 7 ile gösterilen referans ve örnek odalarından geçerek detektöre ulaşır. Sistemde detektör olarak UV/VIS aralığı için R6872 fotoçoğaltıcı tübü ve NIR için Peltier soğutuculu PbS detektörü bulunmaktadır (Şekil 6.5'te 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 6.5'te 9 ile gösterildiği gibi, sisteme ikinci bir örnek odası daha yerleştirme imkanı vardır. 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 6.6).



**Şekil 6.6.** İki farklı tür örnek odasını da içeren Lambda 950 Spektrofotometresi.

Kullanılan optiksel soğurma sistemi bu çalışmada kullanılan malzemelerden çok daha büyük malzemeler için dizayn edildiğinden, yaklaşık 0,5 cm genişliğe sahip küçük malzemelerin ölçülebilmesi için, örnek tutucu tasarlanıp yaptırılmıştır. Tüm ölçümler boyunca ışık örnek üzerine dik bir şekilde düşürülmektedir. Ölçüm



yapılacak dalgaboyu aralığı, sistemin çözünürlüğü ve hangi tür ölçüm yapılacağı (soğurma, yansıma veya geçirgenlik) “Perkin Elmer UV WinLab” bilgisayar programı sayesinde belirlenir. Elde edilen veriler AXUM programı ile grafik haline getirilir[17].

#### **6.4.SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)**

Çalışmamızda SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile lepidolit ve turmalin minerallerinin fotoğrafları çekilmiştir. Bu yüzden SEM ve çalışma prensibi ile ilgili kısa bilgi vermek çalışmanın anlaşılabilirliği açısından faydalı olacaktır.

1931 yılında Almanya’da elektron ışınlarının manyetik bobinler tarafından odaklanması ile ilk elektron mikroskobu yapılmıştır. Elektron mikroskobu yüksek vakum bölgesinde yer alır ve hava molekülleri tarafından saptırılamaz. Elektron mikroskopları iki çeşittir. Bunlar:

**Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM):** Bu mikroskopta elektron ışını çok ince bir numuneye yönlendirilir. Elektron mikroskobunda, gözümüz elektron görüntüsünü doğrudan göremeyeceği için projeksiyon mercekleri olarak adlandırılan mercekler gerçek görüntüyü floresans ya da fotografik film üzerine düşürürler. TEM için kullanılan numuneler çok ince olmalıdır. 10-20 nm (100 atom kalınlığı) kadar ince numuneler özel yöntemlerle hazırlanabilmektedir.

**Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM):** Daha kalın numuneler elektron ışınlarının yüzeyden yansıması ile incelenebilir. Bu inceleme SEM ile yapılabilmektedir. Elektron ışını numune yüzeyine odaklanır ve yüzeyini taramaya başlar. Işının numune yüzeyini taramaya başlamasıyla yüzeyden yansıyan elektronlar numuneye göre birkaç yüz volt pozitif voltajda tutulan anot ile toplanır. Toplayıcı anottaki akım yükseltilir ve katot ışın tüpündeki mikroskop ışını ile eşzamanlı olarak taranan elektron ışınlarını değiştirmek için kullanılır. Bu nedenle katot ışın tüpü numunenin oldukça büyütülmüş olan görüntüsünü alır. SEM’in ayırma gücü 10 nm mertebesindedir. Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan

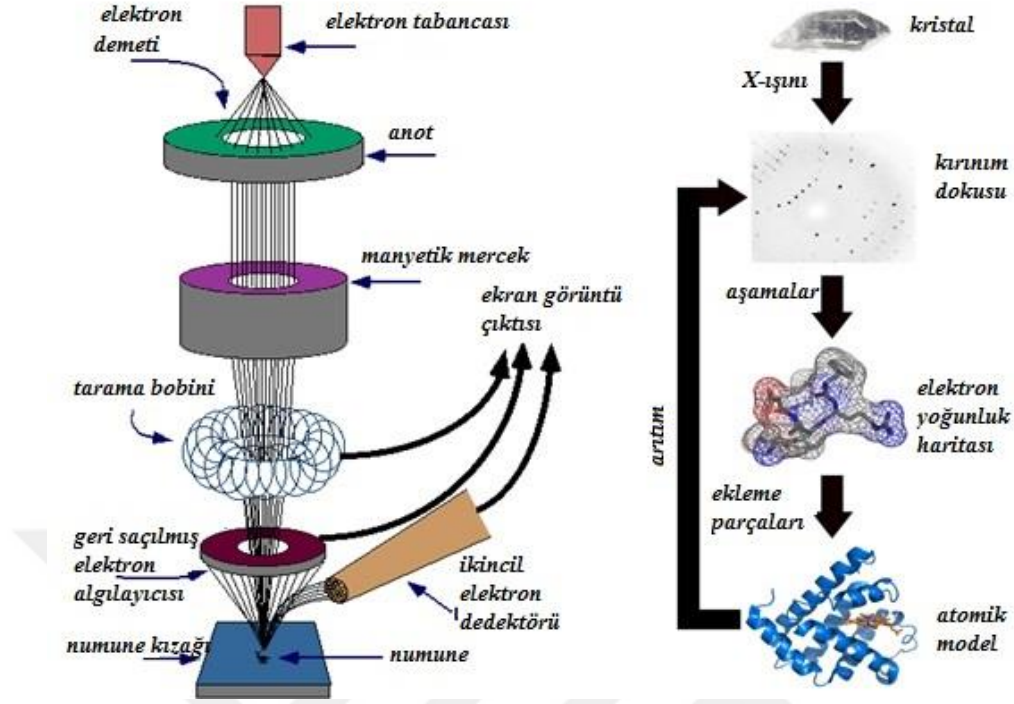
gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir (Şekil 6.7) (Url 31).



Şekil 6.7. İYTE’de bulunan Phillips XL-30 marka SEM mikroskobu (Url 32)

### SEM’in Çalışma Prensibi

Taramalı Elektron Mikroskobu Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır. Optik kolon kısmında; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası; ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune  $10^{-4}$  Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır. Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışınları toplayan dedektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır. (Url 33).



Şekil 6.8. SEM'in çalışma prensibinin basitçe gösterimi

## 6.5. XRD Sistemi

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

Tüp içerisindeki sıcak bir filamentte akım uygulandığında filamentten büyük bir elektron yayılımı olur. Bu elektronların üretimi bir televizyon tüpündeki elektronların üretimine benzer. Genellikle 15-60 kV'lık bir yüksek gerilim tüp içerisine uygulanır. Bu yüksek voltaj elektronları hızlandırır ve hızlanan elektronlar

genelde bakırdan yapılmış bir hedefe çarpar ve böylece X-ışınları üretilmiş olur. Oluşan bu X-ışınlarının dalga boyu hedefin karakteristiğini gösterir. X-ışınları toplanır ve ince toz haline getirilmiş (10 mikron'dan daha küçük) örnek üzerine gönderilir ve bir dedektör yardımıyla X-ışını sinyali tespit edilir. Bir X-ışını, bir örneğe çarpıp kırıldığında Bragg Yasasının uygulanması ile örnekteki atomların düzlemleri arasındaki mesafe ölçülebilir.

**Bragg Yasası**,  $2d\sin\theta=n\lambda$  eşitliği ile ifade edilir. Burada;

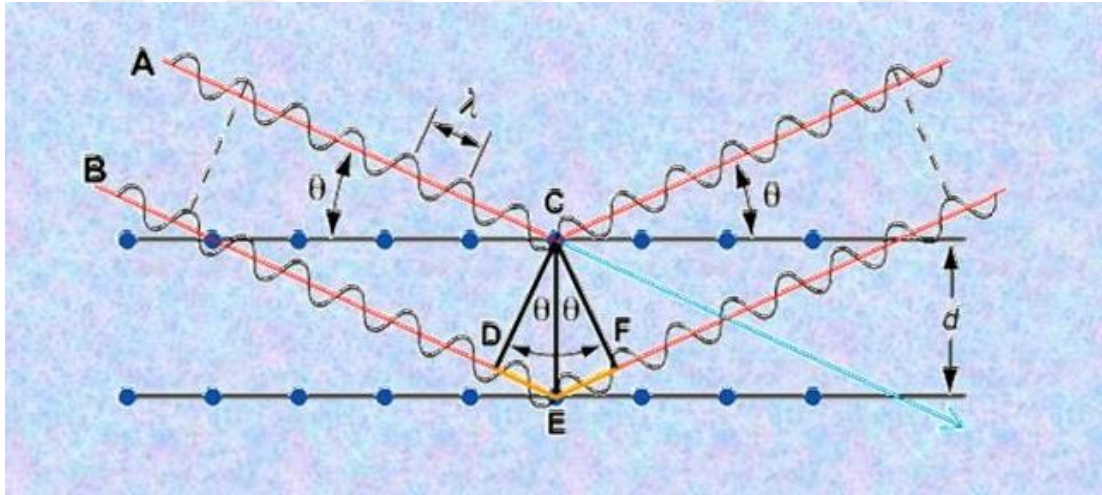
n: kırılmış demetlerin derecesi (n, tek sayı)

$\lambda$ : gelen x-ışını demetinin dalga boyu

d: atomların komşu düzlemleri arasındaki mesafe

$\theta$ : x-ışını demetinin gelme açısı

Gelen X-ışının dalgaboyu ( $\lambda$ ) ve  $\theta$  bilindiğinde d mesafesi hesaplanabilir. Standart referanslar ve ölçüm sonuçları karşılaştırılıp yorumlama yapıldığında, bu ipuçları materyalin tanınmasında yol göstericidir.



**Şekil 6.9.** Bir katıdaki X-ışını kırınımı (url 34)

Birçok analitik teknik materyallerin karakteristiğini belirlemek için kullanılır. XRD (X-ışını Kırınım) yöntemi bu tekniklerden biridir. XRD, minerallerin belirlenmesi için kullanılan yararlı bir tekniktir. XRD, araştırmacılara minerallerin iyi bir şekilde tanımlanması için hızlı ve güvenilir sonuçlar sağlar. XRD, özellikle

ince tanecikli minerallerin ve karışımların belirlenmesi için faydalıdır ve temel belirlemenin dışında ek bilgiler de sağlayabilir. Eğer örnek bir karışımsa, XRD verileri, mevcut farklı minerallerin oranını tayin etmek için analiz edilebilir. XRD yöntemiyle elde edilebilecek diğer bilgilerse, mevcut mineral veya minerallerin kristallik derecesi, minerallerin yapısal durumları gibi özellikler olarak sıralanabilir. [20].

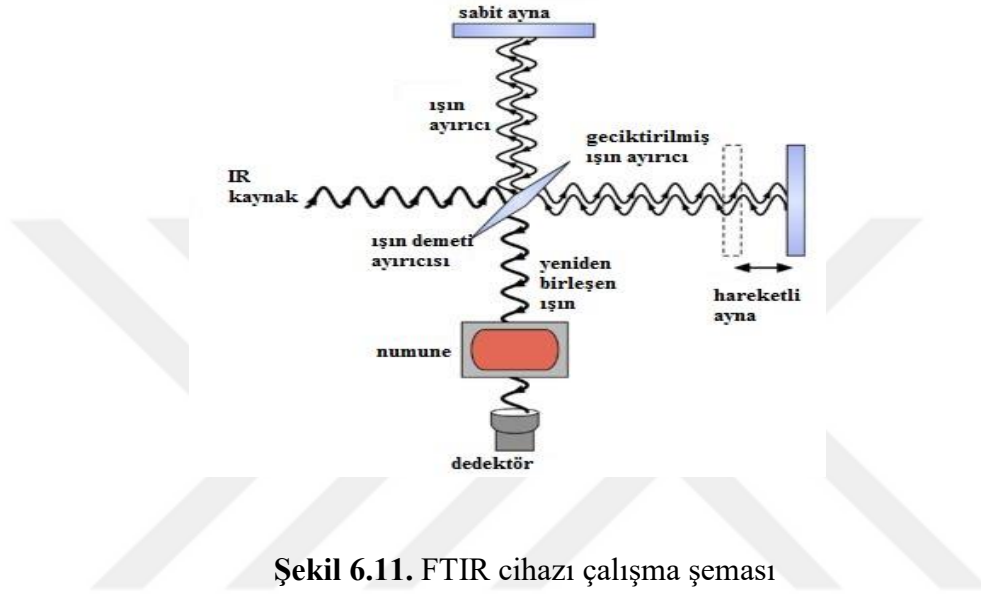


**Şekil 6.10.** XRD Cihazı (url 35)

### **6.6. Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)**

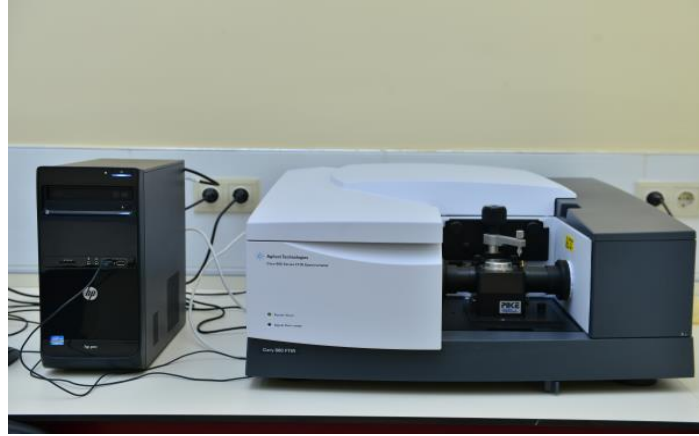
Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi bir tür titreşim spektroskopisidir. IR ışınları molekülün titreşim hareketleri tarafından soğurulmaktadır. Matematiksel Fourier Dönüşümü spektroskopisinde ışın şiddeti zamanın bir fonksiyonu olarak ele alınır. Her bir dalgaboyununun ayrı ayrı taranması gerekmediğinden hızlı ve

yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilebilir. Prizma ya da yarık bulunmadığı için duyarlık değişime uğramadan yüksek ayırmalı bir spektrum elde edilir. Bu yöntem ile moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının aromatik veya alifatik olup olmadığı belirlenebilir. Ayrıca biyokimyasal olarak karbonhidrat, fosfolipit, aminoasit ve proteinlerin yapı analizlerinde belirleyicidir.



Şekil 6.11. FTIR cihazı çalışma şeması

Spektrumun sinyal/gürültü oranı çok yüksek olduğundan bantlar şiddetleri yüksek ve belirgin bir şekilde kaydedilebilmektedir. Cihazda (şekil 6.12), saf bileşiklerin spektrumlarının bulunduğu ve IR atlası olarak adlandırılan bir korelasyon tablosu bulunmaktadır. Ayrıca cihazın kendi kütüphanesinde spektrumlar ile analizi yapılan numunenin verilerini karşılaştırarak numunenin yapısı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar.



**Şekil 6.12 . ATR sistemli FTIR Ölçüm cihazı**

## 7. MATERYAL VE YÖNTEMLER

### 7.1.Giriş

Bu çalışmada lepidolit ve turmalin minerallerinin farklı renklerinin optik ve lüminesans teknikleri kullanılarak karakterizasyonlarının yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan pembe lepidolit Güney Afrika/Madagascar, mor lepidolit Amerika/Colarado, siyah turmalin ise Brezilya da bulunan rezervlerden elde edilmiştir.

Numunelerin lüminesans özelliklerini incelemek amacıyla termolüminesans (TL), radyolüminesans (RL) sistemleri kullanılmıştır ve optik soğurma spektrumları incelenmiştir. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan (RA94 TLD Reader Analyser) sistemi kullanılarak X-ışını uyarımı ile ısıtma hızı ve radyasyona maruz bırakılma süresi değiştirilerek 50-400 °C sıcaklık aralığında TL nm arasında RL spektrumları incelenmiştir. Ayrıca 200 nm ile 800 nm arasında optik soğurma spektrumlarını 2nm'lik adımlarla incelemek amacıyla Lamda 950 UV/VIS/NIR spektrometre sistemi kullanılmıştır. Minerallerin kristal yapısını incelemek amacıyla İYTE'de bulunan Phillips XL-30 marka SEM mikroskobu kullanılmıştır. Malzemeye ait SEM görüntüleri 5, 10, 30 ve 100 büyütme ile alınmıştır. Alınan görüntüler, lepidolit ve turmalin minerallerinin kristal yapısını net bir şekilde gösterir niteliktedir. Bunun yanısıra, malzemenin karakterizasyonu amaçlanarak optiksel absorpsiyon, ICP-MS ve XRD ve FT-IR analizleri hakkında bilgi verilecektir. Numunelerin kimyasal yapısının belirlenebilmesi için Kanada-ALS Minerals Laboratuvarında element analizi yaptırılmıştır.

### 7.2.Kullanılan Mineraller ve Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan lepidolit ve turmalin minerallerinin özellikleri aşağıda verilmektedir.

#### 7.2.1. Lepidolit

**Kimyasal formül:**  $K(Li,Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(F,OH)_2$

**Yoğunluk:** 2,8-3.3



**Sertlik:** 2,4-4

**Dilinim:** {001} mükemmel.

**İkizlenme:** {001} düzeyinde nadir

**Parlaklık:** İnci parıltılı .

**Kırılma indisi:**

**Kristal sistemi:** Monoklinik , hegzagonal

**Kristal Biçimi:** Kristalleri levhamsı, pseudo-hegzagonal; ince, saçınımlı pulcuklar şeklinde

**Ayrırcı Özellikleri:** Leylak rengi, mükemmel dilinimi

**Optik Özellikleri:** Uzay grubu C2/m ve ;  $\alpha=1.53-1.55$  /  $\beta=1.55-1.59$  /  $\gamma=1.55-1.59$

**Çizgi rengi:** Renksiz

**Renk ve şeffaflık:** Soluk leylak, pembe, mor; bazen renksiz, beyaz, grimsi, sarımsı; şeffaf-yarı şeffaf

**Yapısal Özellikleri:** Mika grubundan bir fillosilikattır. Lityumlu mika da denir. Lityum'un ikinci kaynağıdır. Oktohedral koordinasyondaki Al ve Li miktarına bağlı olarak değişir. Ağırlıkça  $Li_2O$  oranı 6.2'dir. Rubidyum ve Sezyum elementlerinin ana kaynağıdır. Li bileşimleri dozimetrik uygulamalarda,  $^6Li$ , Trityum üretimi için gereken hammadde ve nötron soğurucu olarak kullanılır [8]. Ayrıyeten, Li minerali pillerde, ısıya dayanıklı cam ve seramik üretiminde, parlatma ve sır maddelerinin üretiminde, monokromatik ve renkli tv camlarında, fiberglas üretiminde kullanılır. Mağmatik kütlelerin bazılarında ve bazı pegmatit damarlarında Turmalin ile birlikte bulunur[23]. Lepidolit, diğer mikalar gibi katmanlı yapıya sahiptir. İnce levhalar halinde dilinim gösteren kaba veya ince ebatlı kitleler halinde bulunur[6]. Bu çalışmada mor ve pembe lepidolit kullanılacaktır.

- **Mor Lepidolit:**



Kullanılan mor lepidolit 1.2 × 1.0 × 0.5 inch ebatında ve 40 g ağırlığında olup %100 doğal, değerli bir malzemedir. Amerika'nın Colarado eyaletinden temin edilmiştir.

- **Pembe Lepidolit:**



Kullanılan pembe lepidolit 35 × 15 mm ebatında ve 36ct ağırlığında doğal, değerli bir malzemedir. Madagaskar'dan temin edilmiştir.

**Bulunuşu:** Granitik pegmatitlerde oluşur. Lityum içeren turmalin ve spodümen ile birlikte bulunur. Daha ziyade muskovit ile paralel pozisyonda iç içe büyür. Katmanlı yapıya sahiptir.

**Çıkarıldığı yer:** Pembe lepidolit Güney Afrika'da( Madagascar ) ; mor lepidolit ise Amerika'nın Colarado eyaletinde bulunan rezervlerden elde edilmiştir.

### 7.1.2. Turmalin

**Kimyasal formülü:**  $(Na,Ca)(Li,Mg,Al)_3(Al,Fe,Mn)_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4$

**Yoğunluk:** 3.0-3.2

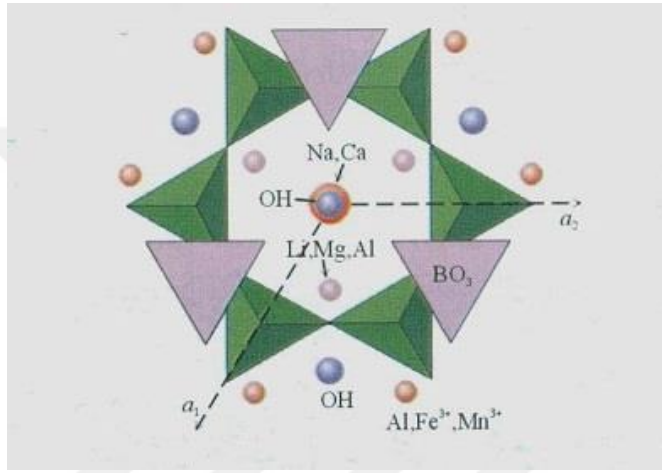
**Sertlik:** 7

**Dilinim:** Çok zayıf

**İkizlenme :** Olağan

**Parlaklık:** Camsı

**Kristal sistemi:** Trigonal, hegzagonal



**Şekil 7.1.** Turmalinin {0001} yüzeyine göre projeksiyonu (url 36).

**Kristal Biçimi:** Kristalleri prizmatik, prizma yüzeyleri uzunlamasına çizikli, paralel veya ışınal kristal grupları yaygın; bazen masif

**Kırılma indisleri:**  $n_e = 1.610-1.650$  ve  $n_o = 1.635-1.675$

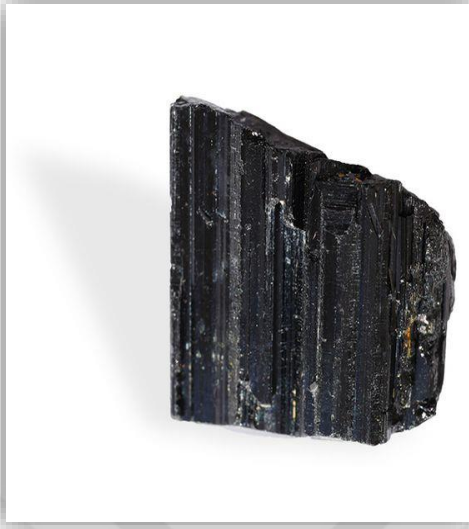
**Dispersiyon:** 0.016

**Ayırıcı Özellikleri:** Kristal formu ve çizikleri, rengi, sertliği

**Renk ve şeffaflık:** Genellikle siyah ve mavimsi siyah; Renksiz, mavi, pembe, yeşil; şeffaf-opağa yakın

**Yapısal Özellikleri:** Turmalin, tipik bir bor minerali olup, bünyesindeki alüminyumun fazla olması sebebiyle 'Al-B- Silikat minerali' olarak tanımlanır. Çift kırılma özelliğine sahiptir. Ayrıca kuvars gibi piezoelektrik özelliğine sahiptir. Uzun gruba R3m'dir. Fırınlanan turmalin hem renk hem de şekil değişikliğine uğrar. Rengi, daha çok bünyesindeki elemente ve bulunduğu ısı derecesine bağlı olarak

değişir ve sahip olduğu renge göre de çeşitli isimler alır (url 37). Bu çalışmada siyah turmalin kullanılmıştır.



Siyah renkli turmalinin diğer adı da Şorl'dur. Şorl, demir ağırlıklı bir turmalin çeşididir ve görünümü opaktır. Elektriksel niteliktedir, artı ve eksi kutupları vardır. Kimyasal formülü

$NaF_3(Al, Fe)_6Si_6O_{18}(BO_3)_3(OH)_4$ 'dir.

Kullanılan siyah turmalin 66gr ağırlığında %100 doğal, işlenmemiş, değerli bir malzemedir.

**Bulunuşu:** Granit pegmatitlerde, metamorfik kalker içinde, granitlerde, çeşitli şist ve gnays türlerinde bulunabilir.

**Çıkarıldığı yer:** Brezilya

## 8.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 8.1. Element Analizi Sonuçları

Numunelerden mor lepidolit ve siyah turmalin için Canada ALS Minerals Laboratuvarında element analizi yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 8.1 ve 8.2 de verilmiştir.

**Tablo 8.1.** Mor lepidolit örneğinin element analizi sonuçları

Element	Yöntem	ppm	Element	Yöntem	Ppm
Ba	ME-MS81	90.6	Ag	ME-ICP61	<0.5
Ce	ME-MS81	155.5	Al	ME-ICP61	3.10%
Cr	ME-MS81	1340	As	ME-ICP61	<5
Cs	ME-MS81	0.03	Ba	ME-ICP61	100
Dy	ME-MS81	5.65	Be	ME-ICP61	0.5
Er	ME-MS81	3.62	Bi	ME-ICP61	<2
Eu	ME-MS81	0.75	Ca	ME-ICP61	28.6%
Ga	ME-MS81	0.7	Cd	ME-ICP61	0.9
Gd	ME-MS81	3.78	Co	ME-ICP61	1
Hf	ME-MS81	1.5	Cr	ME-ICP61	70
Ho	ME-MS81	1.21	Cu	ME-ICP61	12
La	ME-MS81	78.3	Fe	ME-ICP61	0.61%

Lu	ME-MS81	0.68	Ga	ME-ICP61	<10
Nb	ME-MS81	1.0	K	ME-ICP61	<0.01
Nd	ME-MS81	14.3	La	ME-ICP61	70
Pr	ME-MS81	3.83	Mg	ME-ICP61	0.02%
Rb	ME-MS81	0.4	Mn	ME-ICP61	1320
Sm	ME-MS81	3.10	Mo	ME-ICP61	12
Sn	ME-MS81	<1	Na	ME-ICP61	0.03%
Sr	ME-MS81	137.0	Ni	ME-ICP61	<1
Ta	ME-MS81	0.6	P	ME-ICP61	<10
Tb	ME-MS81	0.81	Pb	ME-ICP61	69
Th	ME-MS81	2.14	S	ME-ICP61	0.03%
Tm	ME-MS81	0.63	Sb	ME-ICP61	<5
U	ME-MS81	1.23	Sc	ME-ICP61	<1
V	ME-MS81	153	Sr	ME-ICP61	139
W	ME-MS81	1	Th	ME-ICP61	<20
Y	ME-MS81	56.8	Ti	ME-ICP61	0.05%
Yb	ME-	4.64	Tl	ME-ICP61	<10

	MS81					
Zr	ME-MS81	50	U	ME-ICP61	10	
			V	ME-ICP61	20	
			W	ME-ICP61	<10	
			Zn	ME-ICP61	129	
			Li		ME-ICP82b	0.004%

**Tablo 8.2.** Siyah turalin örneğinin element analizi sonuçları.

Element	Yöntem	ppm	Element	Yöntem	Ppm
Ba	ME-MS81	4.0	Ag	ME-ICP61	<0.5
Ce	ME-MS81	10.1	Al	ME-ICP61	8.62%
Cr	ME-MS81	10	As	ME-ICP61	<5
Cs	ME-MS81	0.67	Ba	ME-ICP61	<10
Dy	ME-MS81	1.73	Be	ME-ICP61	<0.5
Er	ME-MS81	1.08	Bi	ME-ICP61	<2
Eu	ME-MS81	0.28	Ca	ME-ICP61	0.19%
Ga	ME-MS81	45.7	Cd	ME-ICP61	0.8
Gd	ME-MS81	1.88	Co	ME-ICP61	1
Hf	ME-	7.0	Cr	ME-ICP61	7

	MS81				
Ho	ME-MS81	0.31	Cu	ME-ICP61	16
La	ME-MS81	4.4	Fe	ME-ICP61	2.50%
Lu	ME-MS81	0.17	Ga	ME-ICP61	20
Nb	ME-MS81	2.0	K	ME-ICP61	0.02%
Nd	ME-MS81	6.7	La	ME-ICP61	<10
Pr	ME-MS81	1.37	Mg	ME-ICP61	2.46%
Rb	ME-MS81	1.1	Mn	ME-ICP61	124
Sm	ME-MS81	1.40	Mo	ME-ICP61	2
Sn	ME-MS81	3	Na	ME-ICP61	1.16%
Sr	ME-MS81	42.9	Ni	ME-ICP61	8
Ta	ME-MS81	0.1	P	ME-ICP61	10
Tb	ME-MS81	0.26	Pb	ME-ICP61	30
Th	ME-MS81	11.45	S	ME-ICP61	0.02%
Tm	ME-MS81	0.18	Sb	ME-ICP61	<5
U	ME-MS81	1.22	Sc	ME-ICP61	13
V	ME-MS81	172	Sr	ME-ICP61	24

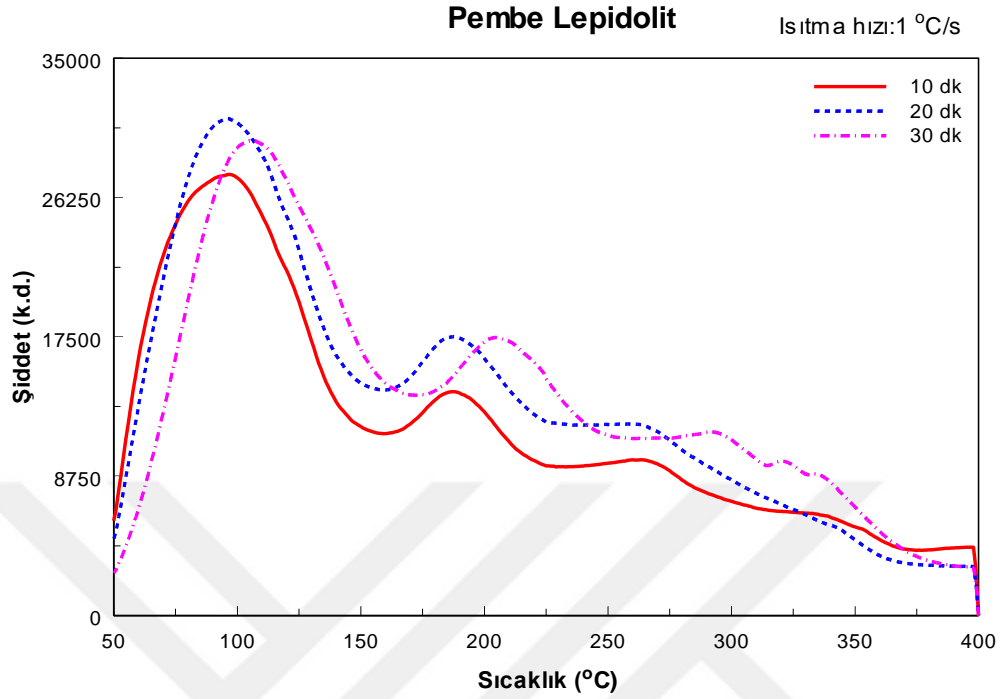


W	ME-MS81	1	Th	ME-ICP61	<20
Y	ME-MS81	10.7	Ti	ME-ICP61	0.17%
Yb	ME-MS81	1.11	Tl	ME-ICP61	<10
Zr	ME-MS81	303	U	ME-ICP61	<10
			V	ME-ICP61	74
			W	ME-ICP61	<10
			Zn	ME-ICP61	95
			Li	ME-ICP82b	0.003%

## 8.2. Termoluminesans Verileri

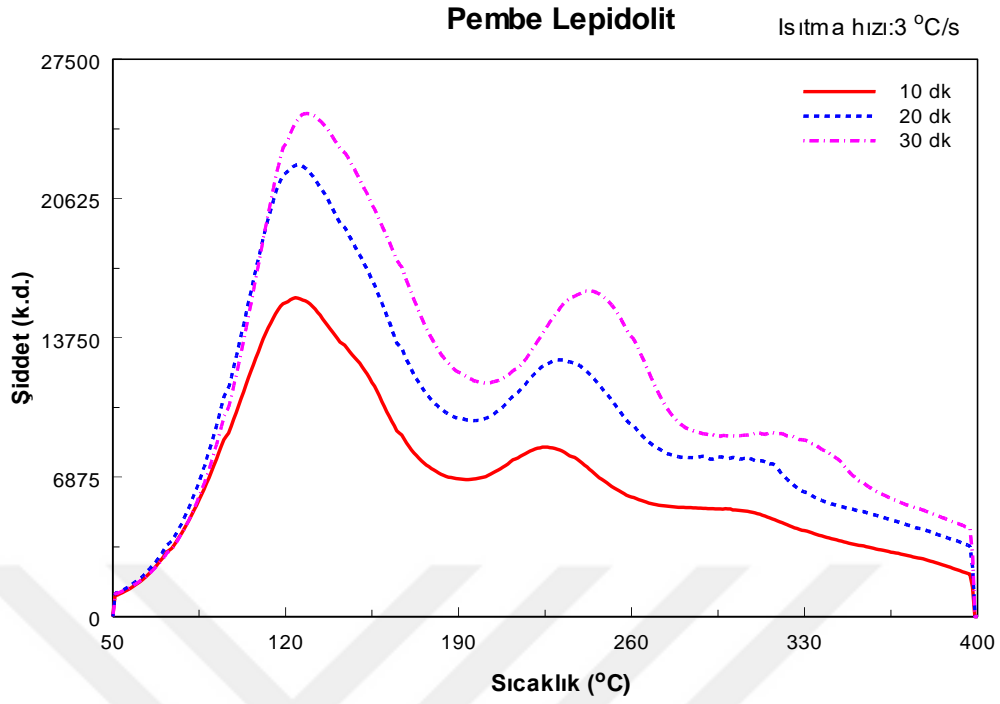
Lepidolit ve turmalin minerallerinin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan Termoluminesans (TL) (RA94 TLD Reader Analyser) sistemi kullanılarak, farklı sürelerle (10, 20, 30 dk) X-ışınına maruz bırakıp farklı ısıtma hızlarında (1, 3, 5 °C/s ) 50- 400 °C sıcaklık aralığında TL ölçümü alındı. Kullanılan X-ışını tüpünün maksimum hızlandırma potansiyeli 50 kV ve maksimum hızlandırma akımı 20 mA olmasına rağmen, burada yapılan deneysel çalışmalarda uygulanan potansiyel 30 kV ve akım 15 mA'dir. Bu durumda numuneler yaklaşık 30 Gy/dk'lık bir doz hızı ile ışınlanmıştır. Alınan ölçümler sonucunda ısıtma hızı arttıkça TL pikinin yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı gözlemlenmiştir. Piklerin sağa doğru kaymasının nedeni, ısıtıcı plaka üzerindeyken plakaya temas eden bölgesi termocouple ile aynı sıcaklıktayken örneğin üst kısmı ve içi henüz aynı sıcaklığa ulaşmamış olmasıdır. Termal gradiyent adı verilen bu durum ve özellikle yüksek ısıtma hızlarında pik maksimumlarının yüksek sıcaklıklara doğru kaymasına neden olmuştur.

## 8.2.1. Lepidolitin Termolüminesans Verileri



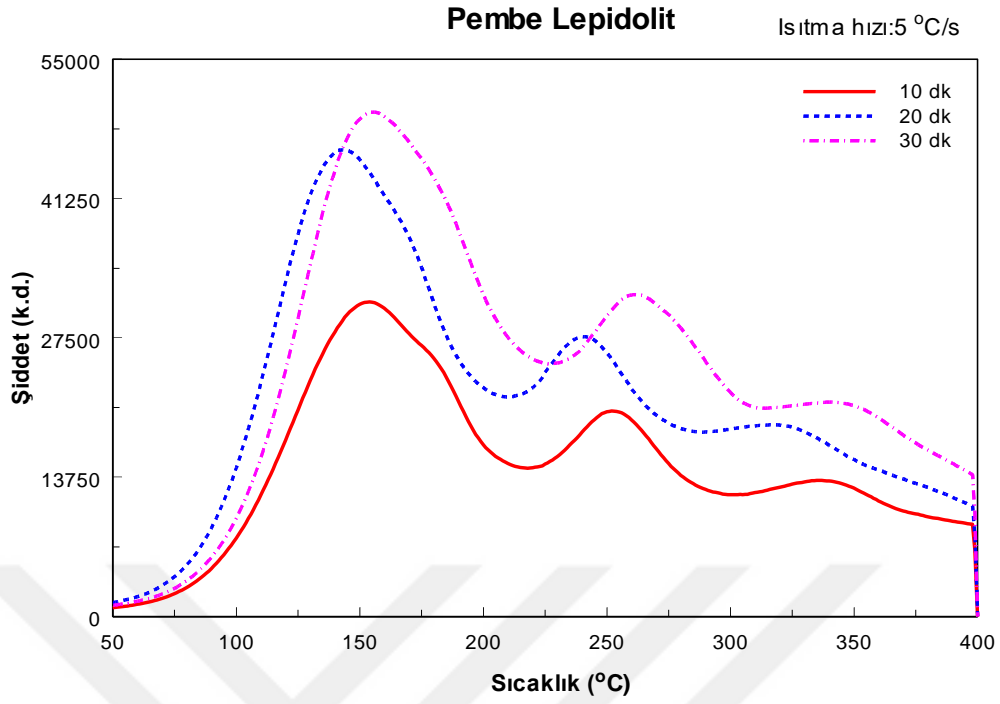
**Şekil 8.1.** Pembe lepidolitin ısıtma hızı 1 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ısıtılma sürelerindeki TL ölçümü.

Pembe lepidolitin 1 °C/s ısıtma hızı ile farklı ısıtılma sürelerinde (10, 20,30 dk ) alınan TL spektrumları 98, 193 , 280 °C’da 3 tane pike sahiptir. Üç farklı sıcaklıkta gözlenen bu TL pikleri içeriğindeki Li elementinden kaynaklandığı düşünülmektedir. ısıtılma süresi arttırıldığında TL pikinin şiddeti artmaktadır.



**Şekil 8.2.** Pembe lepidolit için 3 °C/s ısıtma hızında 10, 20 ve 30 dk ışınlanma sürelerindeki TL ölçümü.

Pembe lepidolit için 3 °C/s ısıtma hızında ve 10, 20, 30 dk ışınlanma süresi sonrasında TL şiddetinin arttığı görülmektedir. 128, 244, 327 °C’de 3 tane TL spektrumu gözlemlenmiştir.

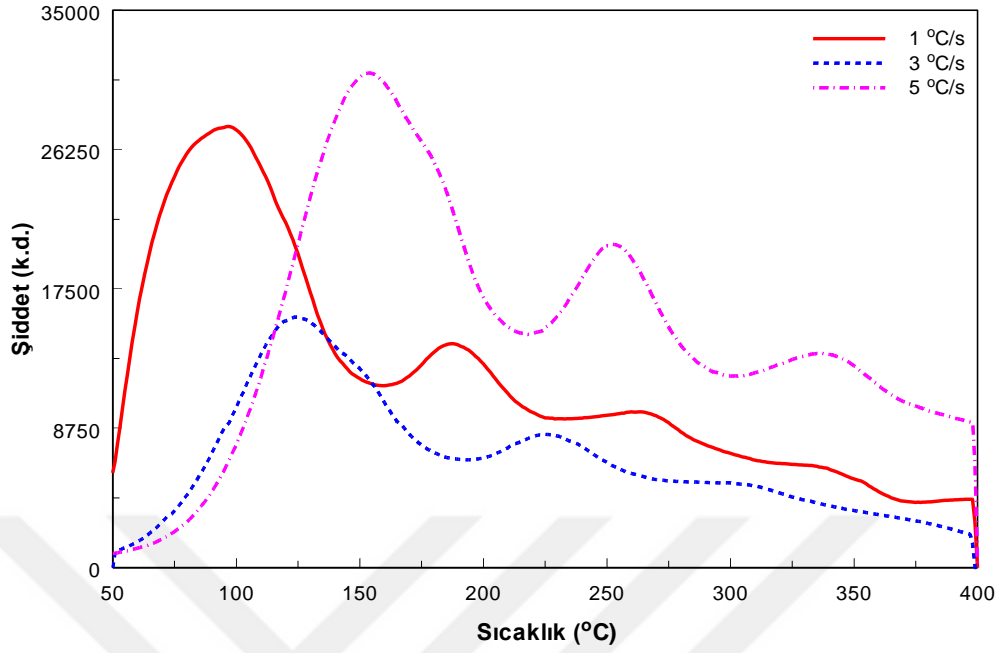


**Şekil 8.3.** Pembe lepidolit için 5 °C/s ısıtma hızında 10, 20 ve 30 dk ısıtılma sürelerindeki TL ölçümü.

Pembe lepidolit için 5 °C/s ısıtma hızında ve 10, 20, 30 dk ısıtılma süresi sonrasında TL şiddetinin arttığı görülmektedir. 155, 273 ve 350 °C’de olmak üzere 3 tane TL spektrumu gözlemlenmiştir.

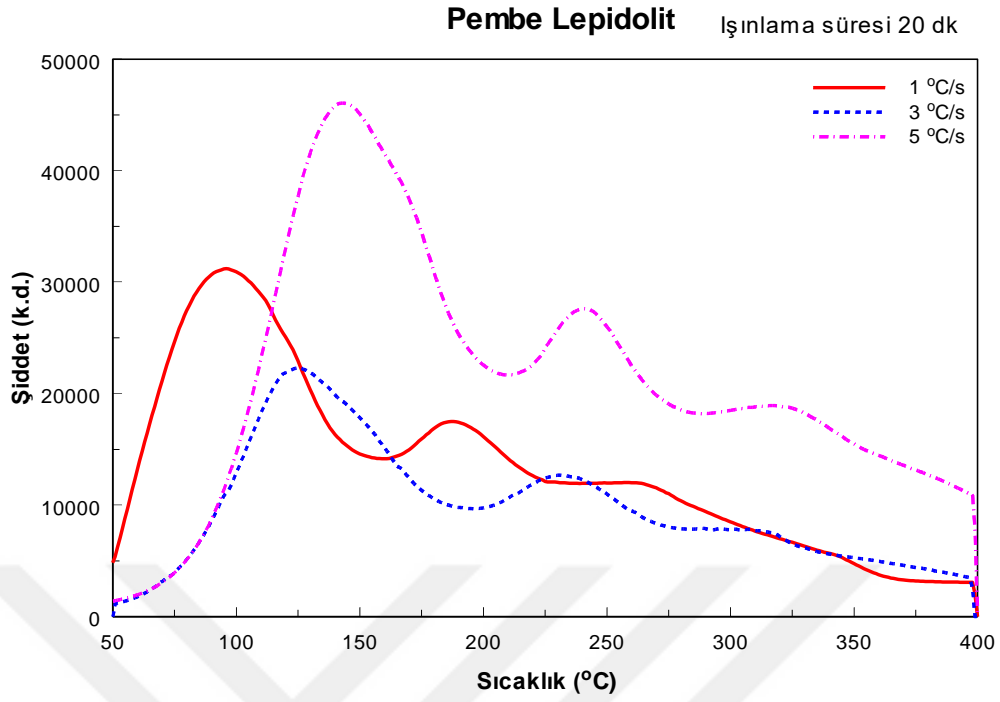
### Pembe Lepidolit

Işınlama süresi 10 dk



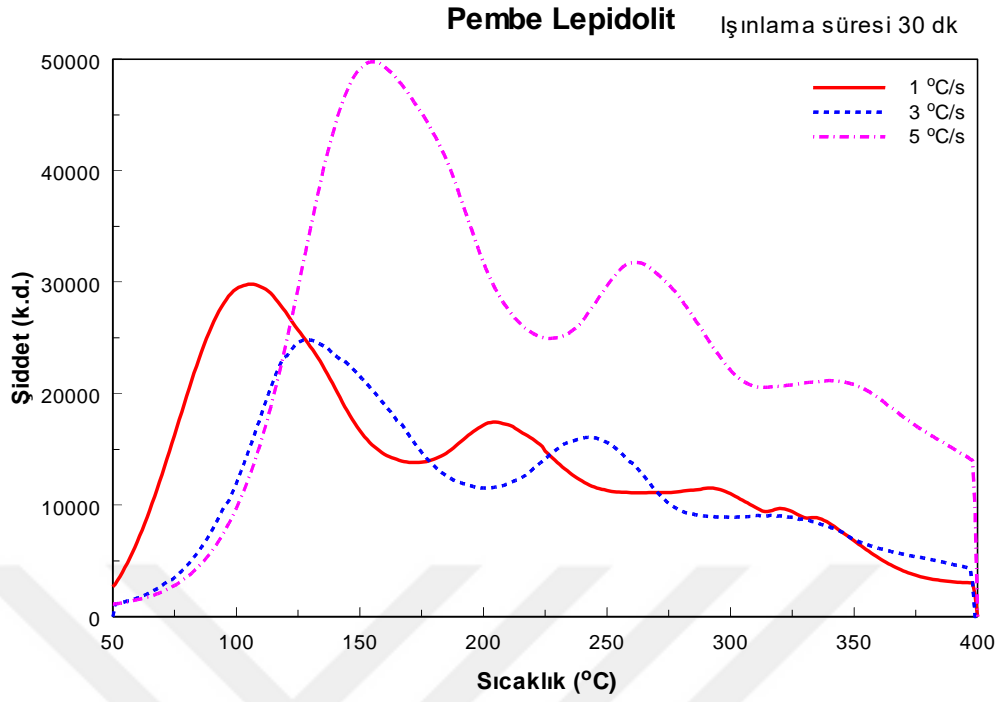
**Şekil 8.4.** Pembe lepidolit için farklı ısıtma hızlarında (1, 3, 5 °C/s) ve 10 dk ışınlama süresinde TL ölçümü.

Pembe lepidolit için 10 dk ışınlama süresinde ve 1, 3, 5 °C/s ısıtma hızı sonrasında TL şiddetinin arttığı görülmektedir. 155, 252, 338 °C' de olmak üzere TL spektrumu gözlemlenmiştir.



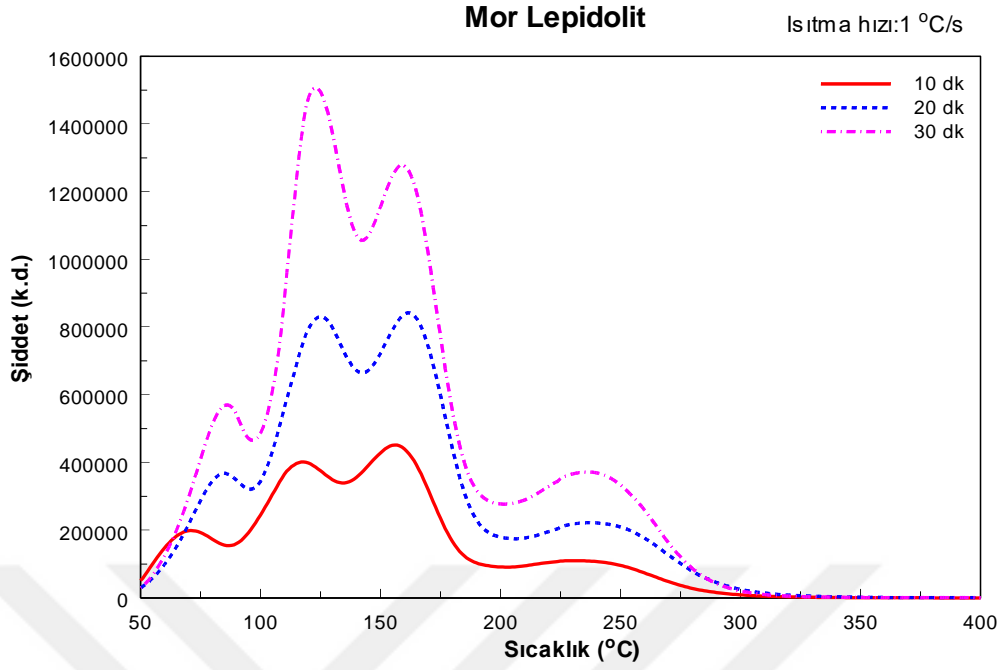
**Şekil 8.5.** Pembe lepidolitin farklı ısıtma hızlarında(1,3,5 °C/s) ve 20 dk ışınlama süresinde TL ölçümü.

Pembe lepidolit için 20 dk ışınlama süresinde ve 1, 3, 5 °C/s ısıtma hızı sonrasında TL şiddetinin arttığı görülmektedir. 148, 240, 325 °C’de olmak üzere TL spektrumu gözlemlenmiştir.



**Şekil 8.6.** Pembe lepidolit için farklı ısıtma hızlarında (1, 3, 5 °C/s) ve 30 dk ışınlama süresinde TL ölçümü.

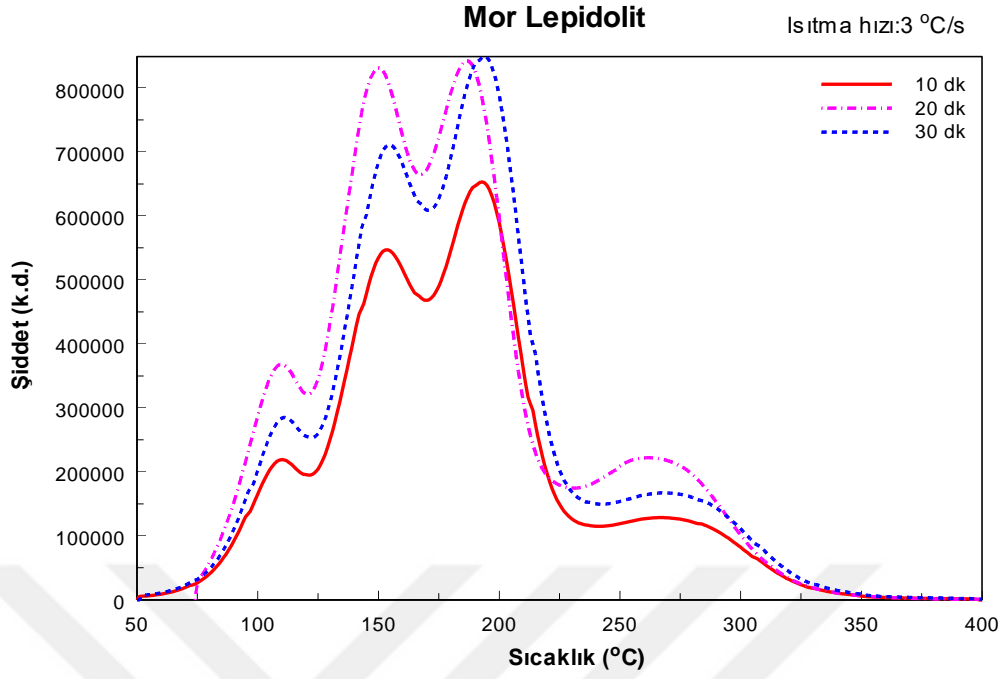
Pembe lepidolit için 30 dk ışınlama süresinde ve 1, 3, 5 °C/s ısıtma hızı sonrasında TL şiddetinin arttığı görülmektedir. 155, 260 ve 345 °C’de olmak üzere TL spektrumu gözlemlenmiştir.



**Şekil 8.7.** Mor lepidolit için 1 °C/s ısıtma hızında ve 10, 20 ve 30 dk ışınlama sürelerindeki TL ölçümü.

Mor lepidolit için 1 °C/s ısıtma hızında ve 10, 20, 30 dk ışınlama süresi sonrasında TL şiddetinin arttığı görülmektedir. 85, 122, 158, 239 °C olmak üzere 4 adet TL spektrumu gözlemlenmiştir.

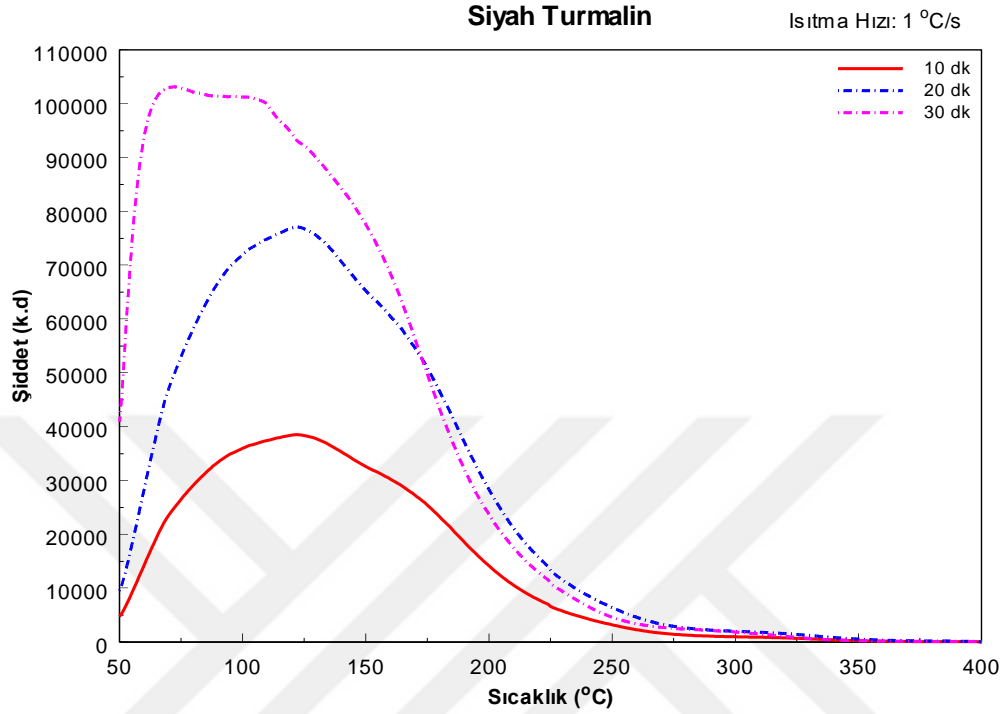




**Şekil 8.8.** Mor lepidolit için ısıtma hızı 3 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlama sürelerindeki TL ölçümü.

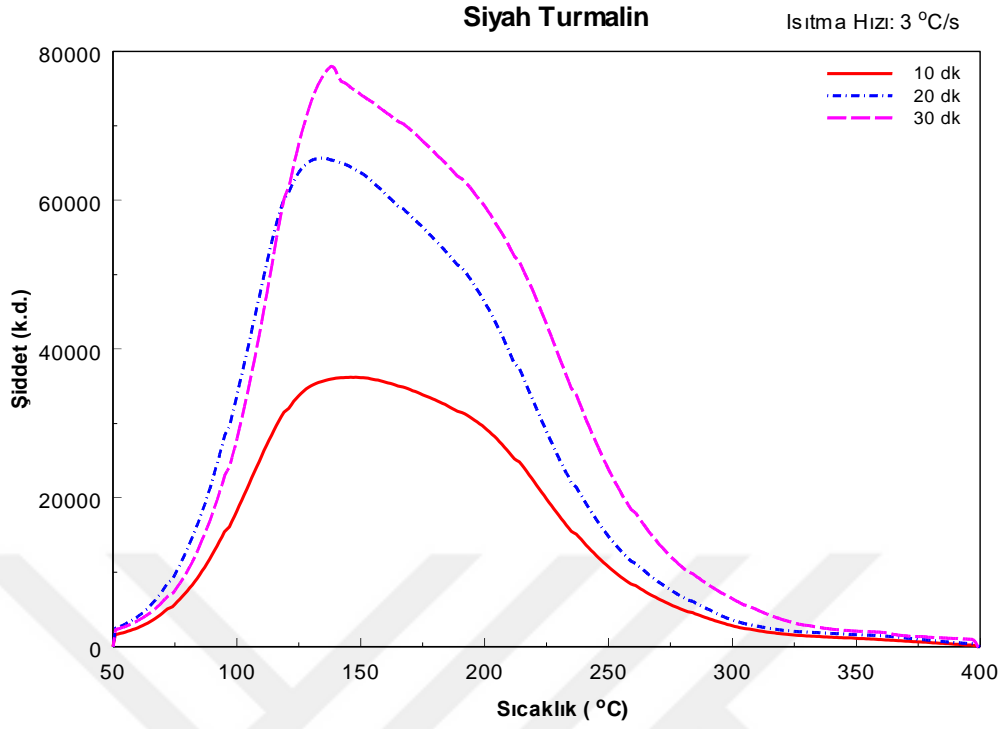
Mor lepidolit için 3°C/s ısıtma hızında ve 10, 20, 30 dk ışınlama süresi sonrasında TL şiddetinin arttığı görülmektedir. 115, 155, 190 ve 275 °C’da olmak üzere 4 adet TL spektrumu gözlemlenmiştir.

## 8.2.2. Turmalinin Termoluminesans Verileri



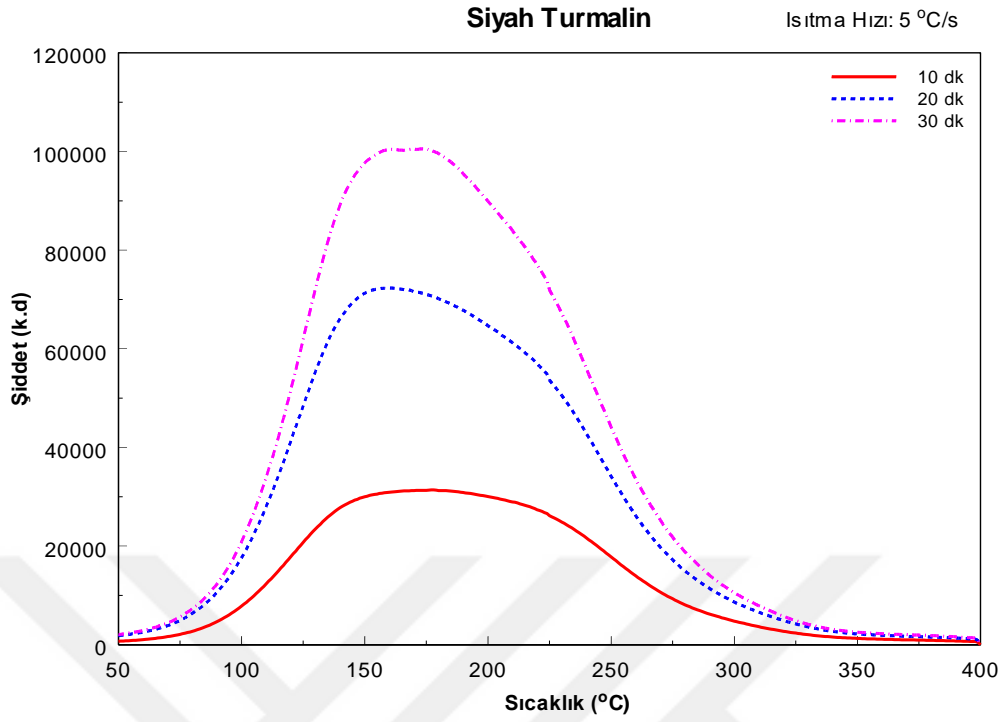
**Şekil 8.9.** Siyah turmalinin ısıtma hızı 1 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlama sürelerindeki TL ölçümü.

Siyah turmalinin 1 °C/s ısıtma hızında ve 10, 20, 30 dk ışınlama süresinde TL ölçümleri görülmektedir. Işınlanma süresi arttıkça TL pikinin şiddetinin arttığı fakat pik değerine karşılık gelen sıcaklık değerinde çok fazla değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık değeri 75 ile 125 °C arasında değişmektedir.



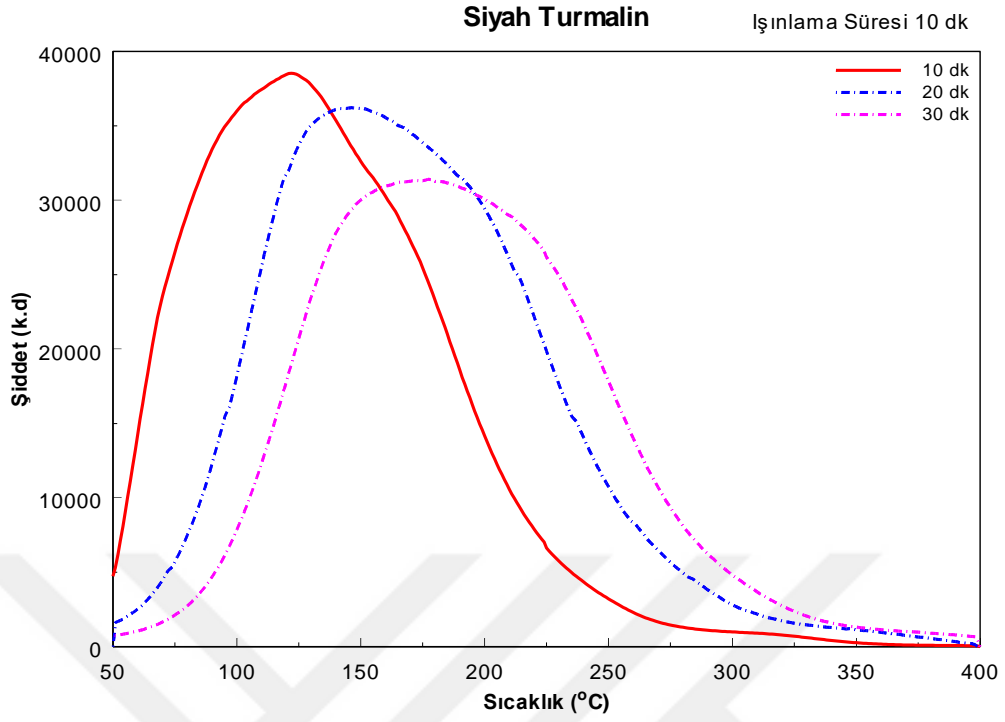
**Şekil 8.10.** Siyah turmalinin ısıtma hızı 3 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlanma sürelerindeki TL ölçümü.

Siyah turmalinin 3 °C/s ısıtma hızında ve 10, 20, 30 dk ışınlanma süresinde TL ölçümleri görülmektedir. Tekrar edilen ölçümler sonucunda siyah turmalinin 165 °C’de TL piki tespit edilmiştir.



**Şekil 8.11.** Siyah turmalinin ısıtma hızı 5 °C/s iken 10, 20 ve 30 dk ışınlama sürelerindeki TL ölçümü.

Siyah turmalinin 5 °C/s ısıtma hızında ve 10, 20, 30 dk ışınlama süresinde TL ölçümleri görülmektedir. Yaklaşık 100 °C’de başlayıp 300 °C’ye kadar giden geniş bir spektrum elde edilmiştir.. Tekrar edilen ölçümler sonucunda siyah turmalinin 154, 175, 221 °C’de TL piki gözlemlenmiştir.



**Şekil 8.12.** Siyah turmalinin farklı ısıtma hızlarında (1,3,5 °C/s) ve 10 dk ışınlama süresinde TL ölçümü.

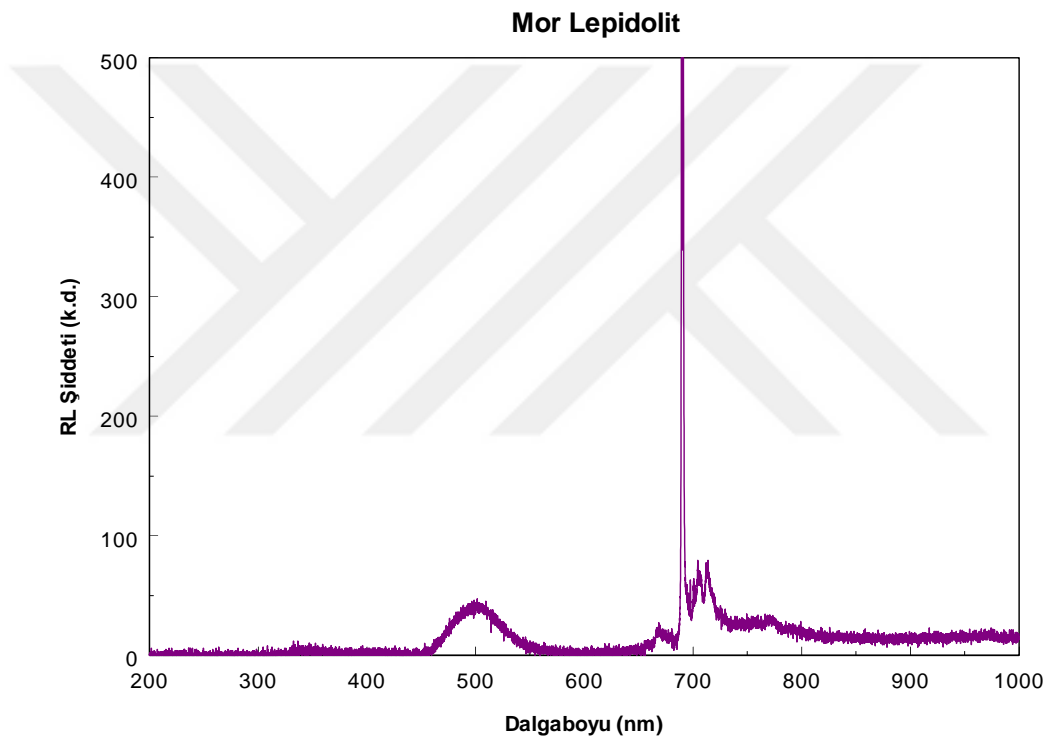
Siyah turmalinin 10 dk ışınlama süresinde ve 1,3,5 °C/s ısıtma hızlarında TL ölçümleri görülmektedir. Tekrar edilen ölçümler sonucunda siyah turmalinin 125,150 ve 180 °C’de TL piki tespit edilmiştir.

Pembe turmalin ile anlamlı TL verileri elde edilememiştir.

### 8.3. Radyolüminesans Verileri

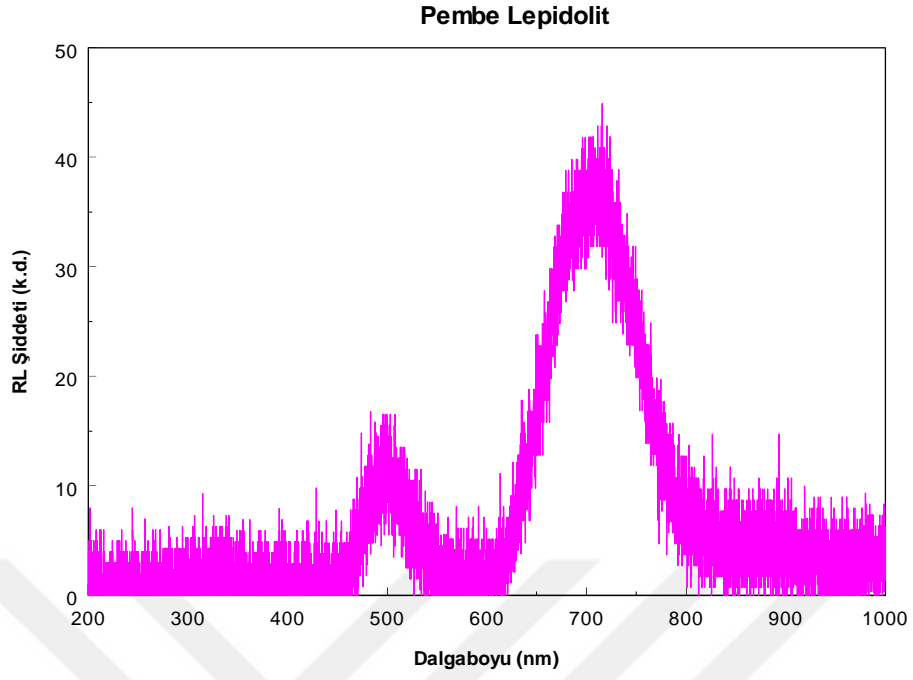
Turmalin ve lepidolit minerallerinin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan Radyolüminesans (RL) sistemi kullanılarak alınan RL spektrum değerleri aşağıda verilmiştir.

#### 8.3.1. Lepidolit RL verileri



**Şekil 8.13.** Mor lepidolit in 200-1000 nm'deki RL ölçümü

Mor lepidolit in 500, 670, 690, 705 ve 713 nm'de RL spektrumu olduğu görülmüştür.

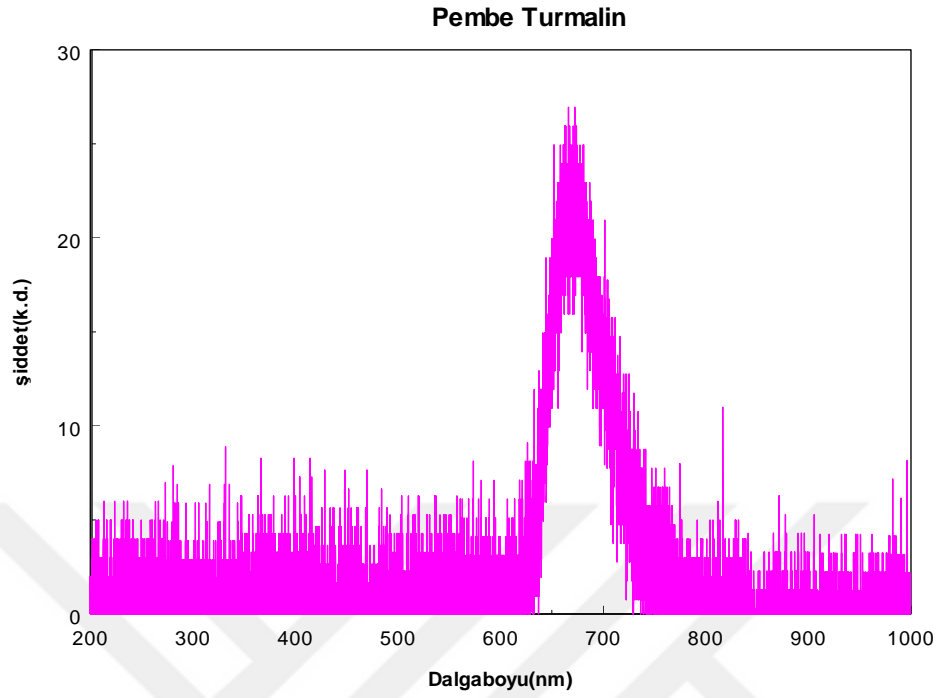


**Şekil 8.14.** Pembe lepidolitin 200-1000 nm'deki RL ölçümü.

Pembe lepidolitin 500 ve 705 nm'de RL spektrumu olduğu görülmüştür.

Mor ve pembe lepidolitin RL verilerindeki 500-600 nm'deki bant aralığındaki pik değerlerinin demir elementine, 690 nm'deki pik değerinin kroma, 705 ve 713 nm'deki spektrumların ise pik değerlerinin Alüminyum elementine bağlı olarak gözlendiği düşünülebilir.

### 8.3.2. Turmalinin RL Verileri



**Şekil 8.15.** Pembe turmalinin 200-1000 nm'deki RL ölçümü.

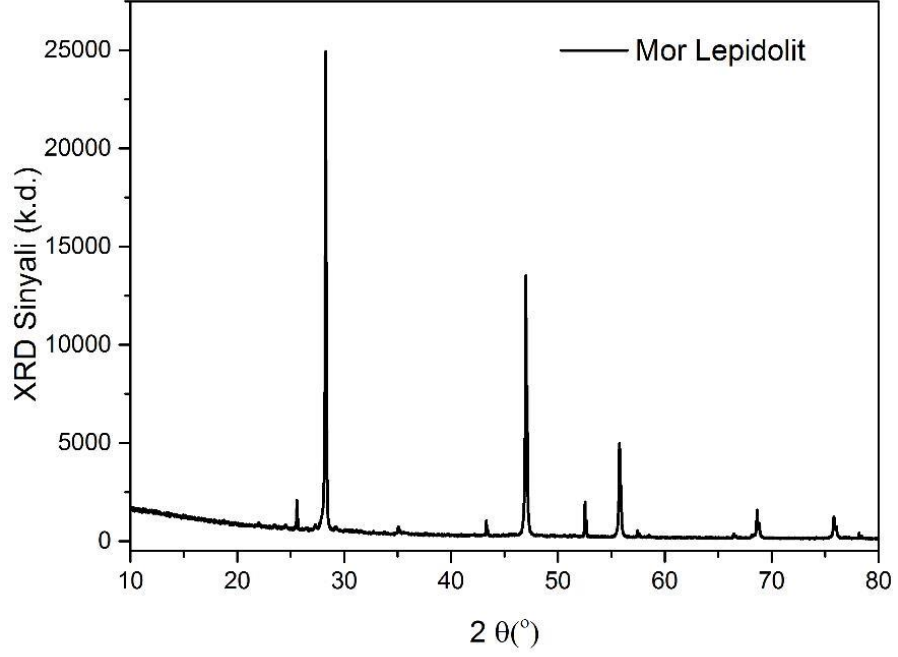
Pembe turmalinin 665 nm'de RL spektrumu olduğu görülmüştür.

Siyah turmalin mineralinin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarında bulunan Radyolüminesans (RL) sistemi kullanılarak alınan RL spektrumu sonucunda RL piki bulunmamaktadır.



## 8.4. XRD Ölçümleri

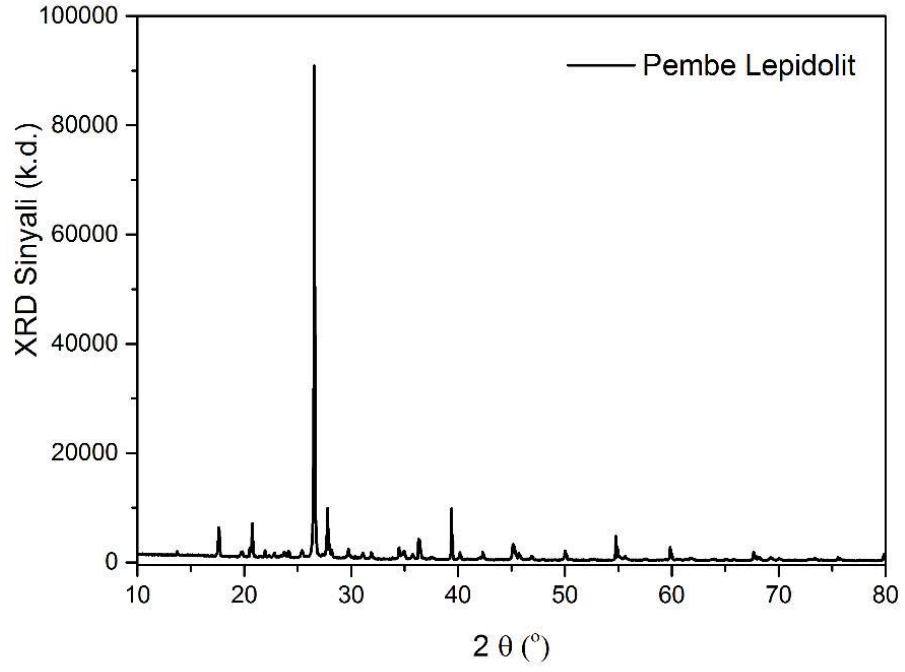
### 8.4.1 Lepidolit'in XRD Ölçümleri



Şekil 8.16. Mor lepidolit'in XRD ölçümü

Mor lepidolit için pdf kart no: 98-018-1907

98-003-1548



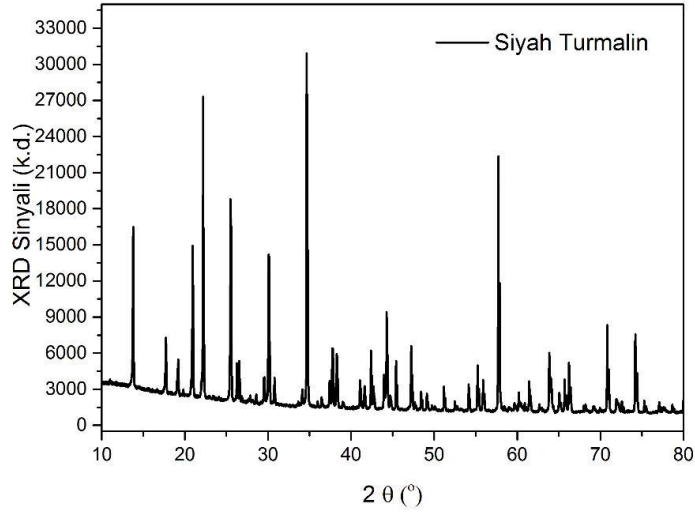
Şekil 8.17. Pembe lepidolitin XRD ölçümü

Pembe lepidolit için pdf kart no: 98-010-0414

Lepidolitin kristal yapı parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

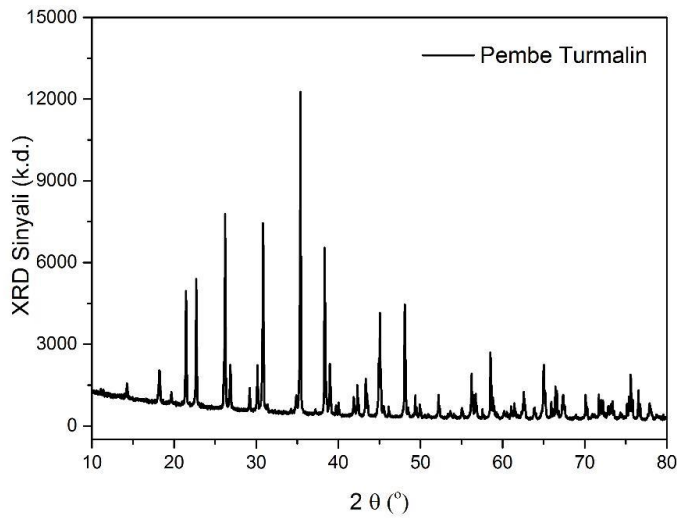
a(°A) : 5.2090  
b(°A) : 9.0530  
c(°A) : 20.0530  
Alpha (°) : 90.0000  
Beta (°) : 95.7400  
Gamma (°) : 90.0000

#### 8.4.2. Turmalinin XRD Ölçümleri



Şekil 8.18. Siyah turmalin XRD ölçümü

Siyah turmalin için pdf kart no: 98-016-8121



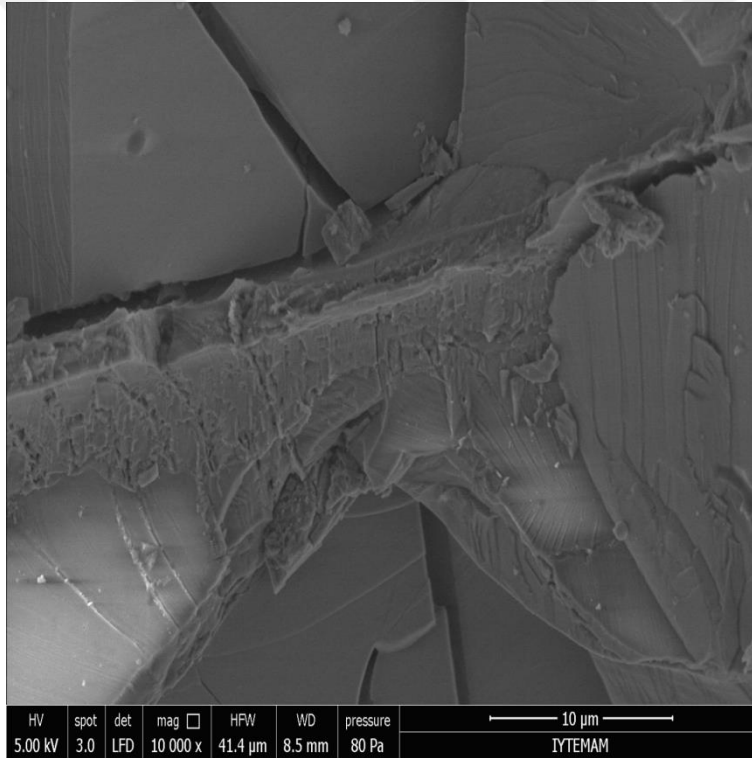
Şekil 8.19. Pembe turmalin XRD ölçümü

Pembe turmalin için pdf kart no: 98-042-4156

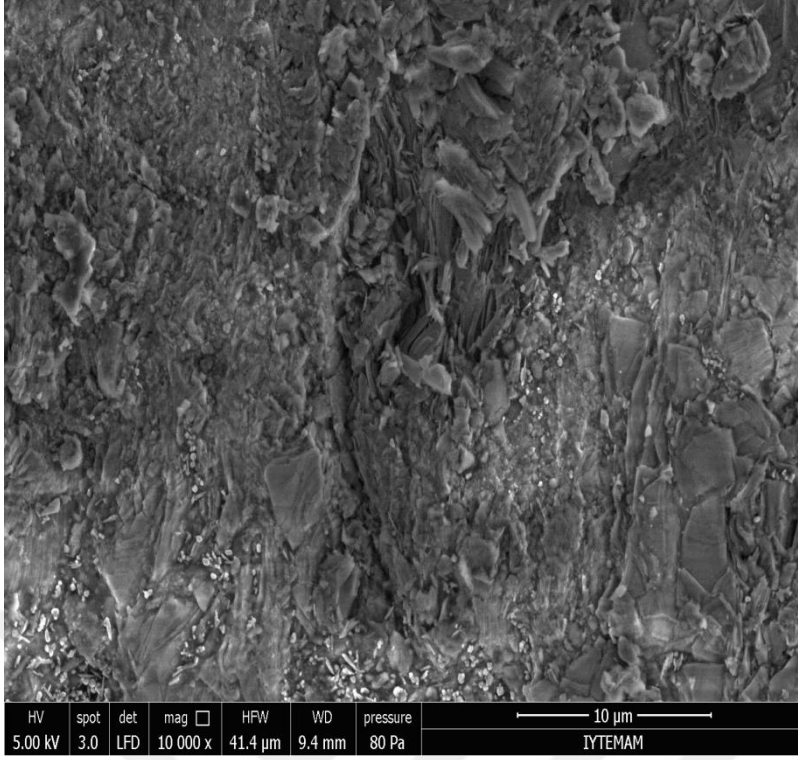
Turmalin kristal yapı parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

a(°A) : 15.7530  
b(°A) : 15.7530  
c(°A) : 7.0530  
Alpha (°) : 90.0000  
Beta (°) : 90.0000  
Gamma (°) : 120.0000

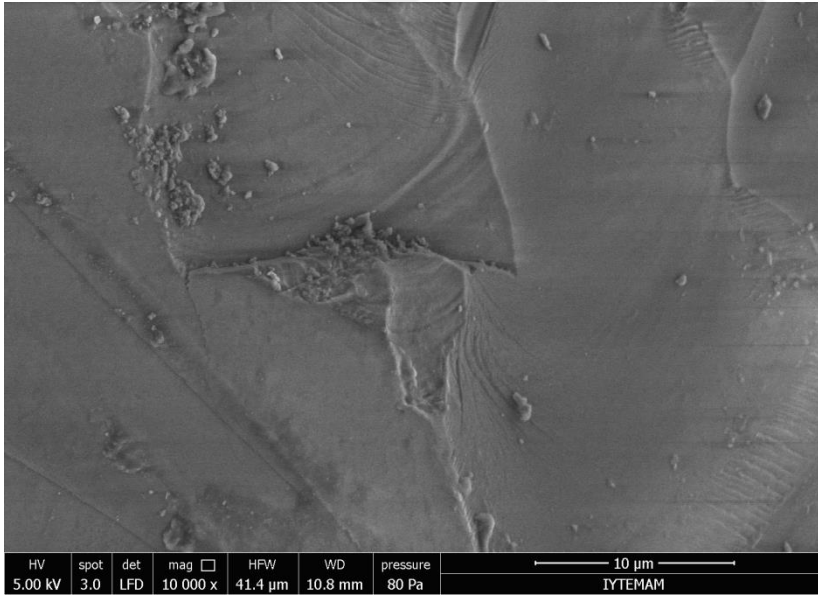
### 8.5. SEM Görüntüleri



Şekil 8.20. Mor lepidolitin 10µm'deki SEM görüntüsü

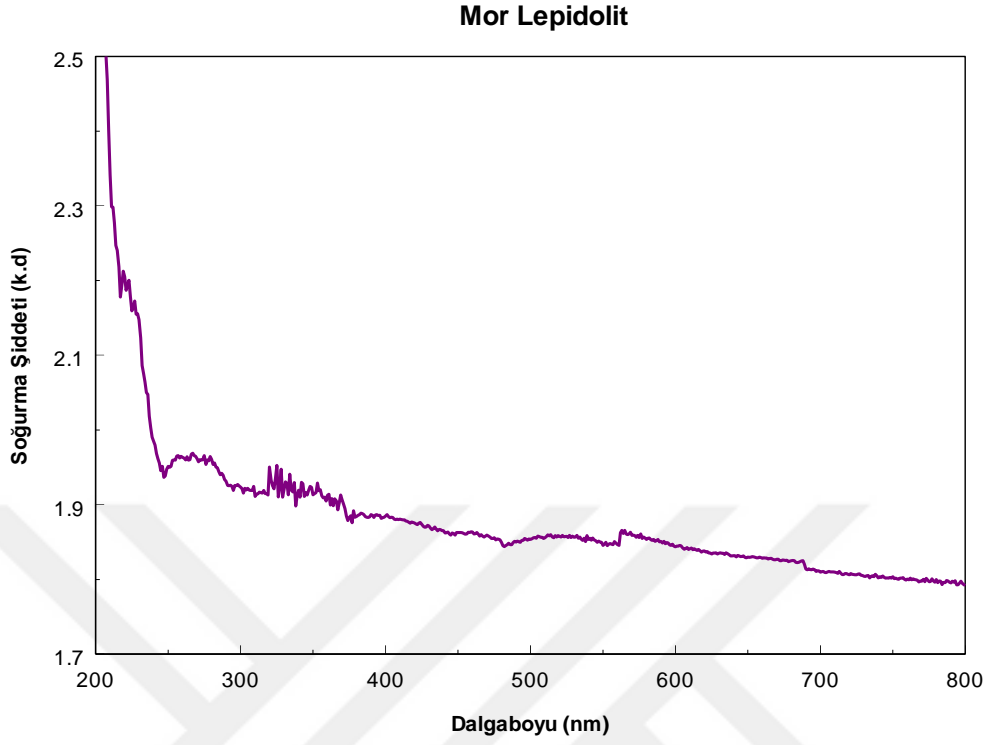


Şekil 8.21. Pembe Lepidolitin 10 μm'deki SEM görüntüsü



Şekil 8.22. Pembe Turmalinin 10 μm'deki SEM görüntüsü

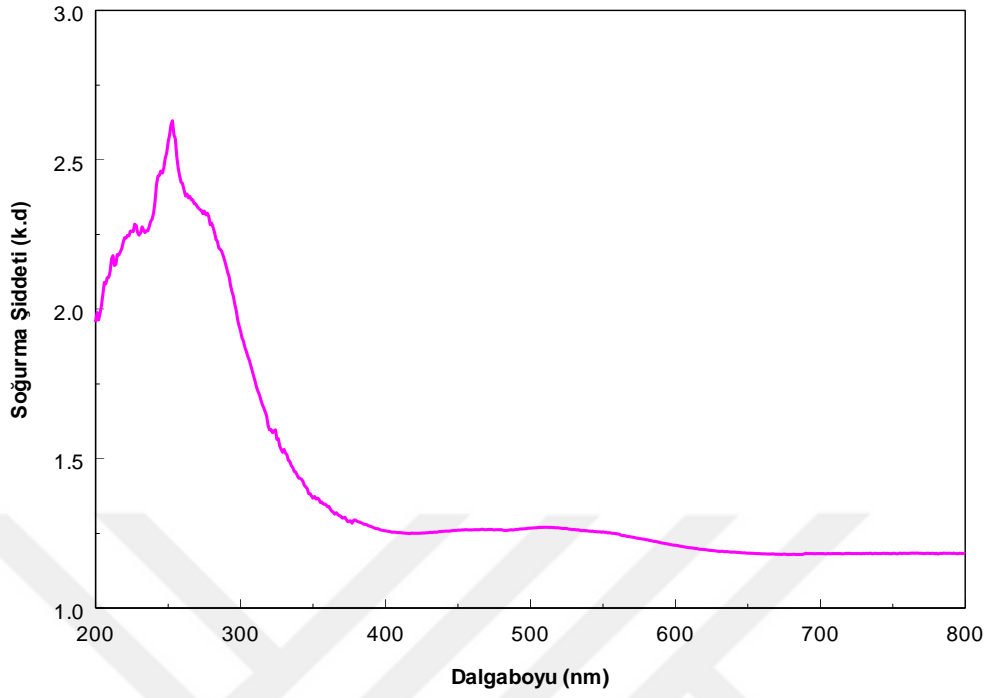
## 8.6. Optik Soğurma Ölçümleri



**Şekil 8.23.** Mor lepidolit optiksel soğurma spektrumu.

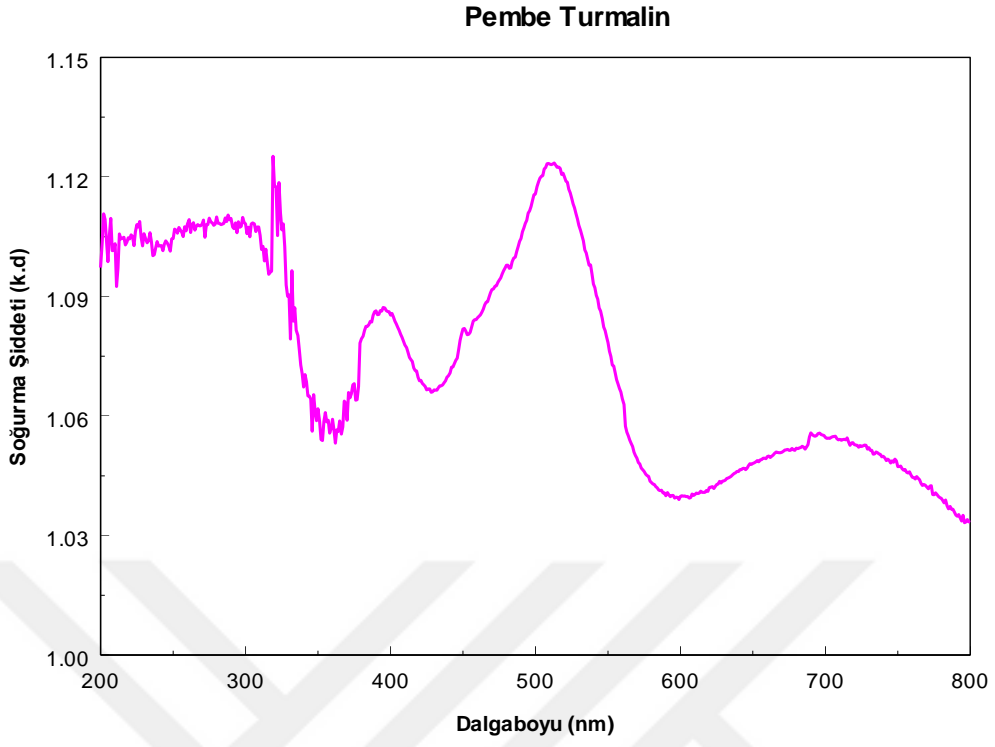
Mor lepidolit için 246, 266, 457 ve 518 nm’de pik değerleri gözlemlenmiştir. Soğurma şiddetinin gittikçe düşmüştür. Numune 246 nm’ye kadar güçlü bir soğurmaya sahiptir. Bu değerden sonra soğurma şiddetinin düşmesi numunenin kuvvetle muhtemel geçirdiğini göstermektedir.

### Pembe Lepidolit



Şekil 8.24. Pembe lepidolitin optiksel soğurma spektrumu

Pembe lepidolit için 251, 276, 345, 455, ve 510 nm’de pik değerleri gözlemlenmiştir. Numune 345 nm’ye kadar iyi bir soğurmaya sahiptir. Grafikten de anlaşılacağı üzere pembe lepidolitin UV bölgede bir soğurmaya sahiptir diyebiliriz.



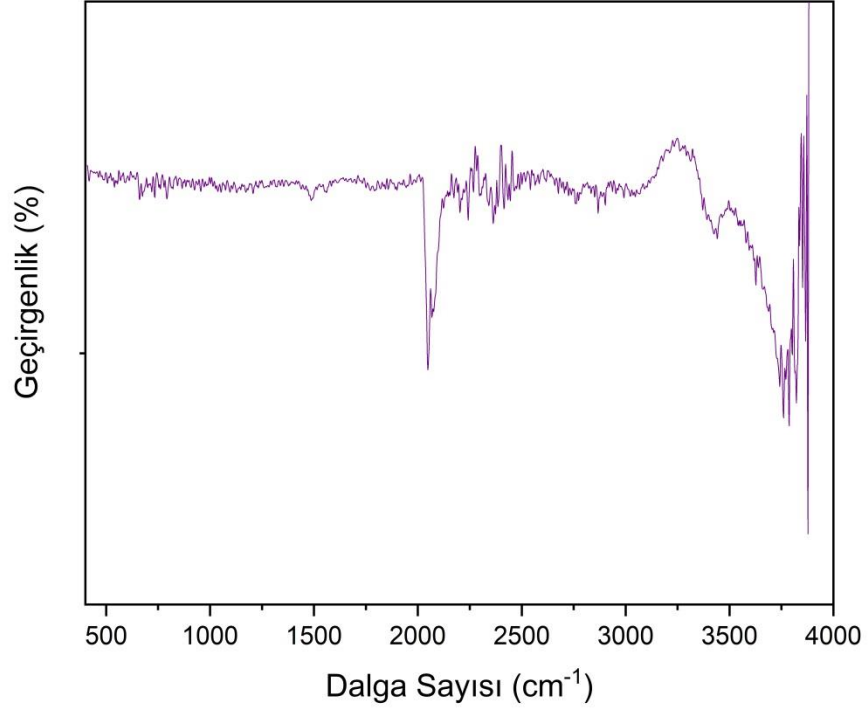
**Şekil 8.25.** Pembe turmalinin optiksel soğurma spektrumu

Pembe turmalin için 393, 510 ve 692 nm’de pik değerleri gözlemlenmiştir.

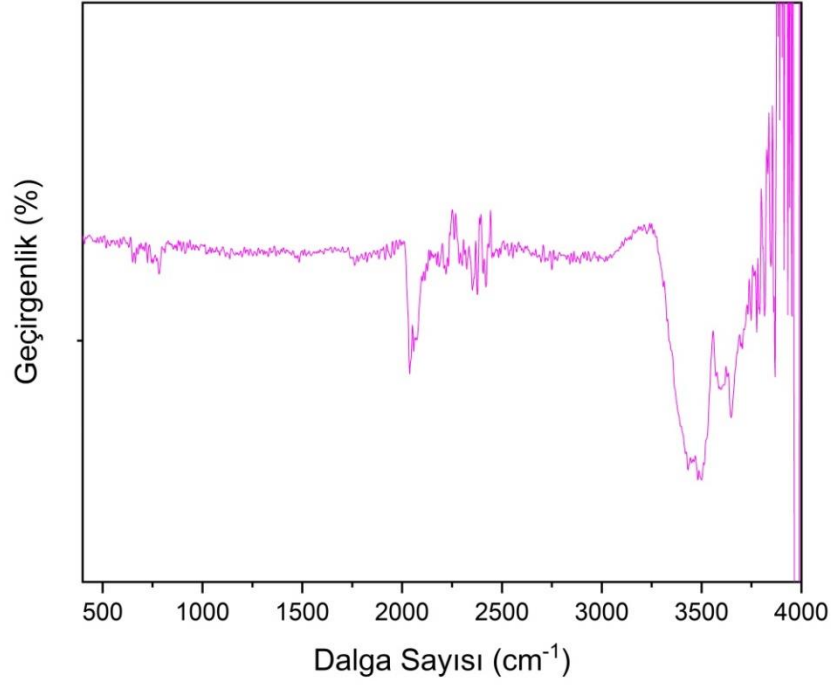


## 8.7. FT-IR Analiz Sonuçları

### 8.7.1.Lepidolitın FT-IR Sonuçları

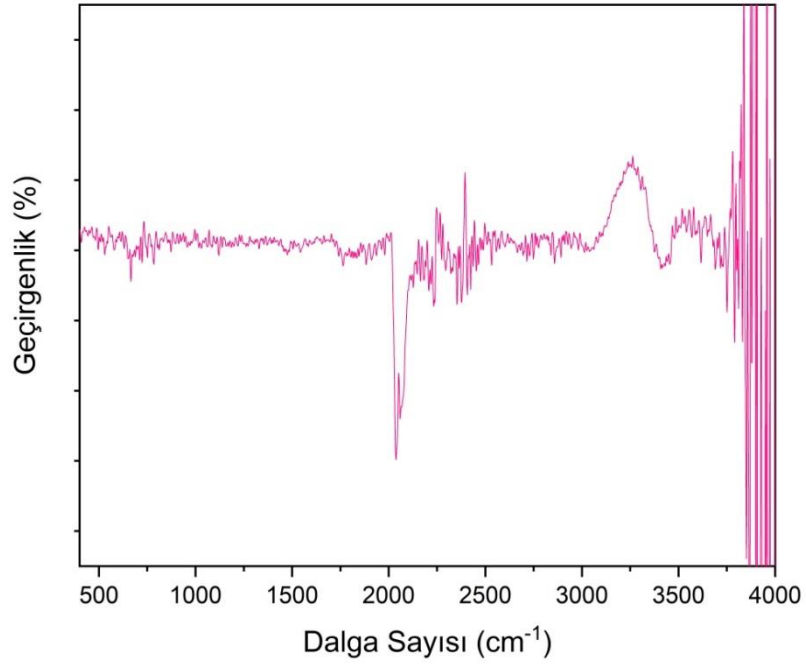


Şekil 8.26. Mor lepidolit için FT-IR spektrumu

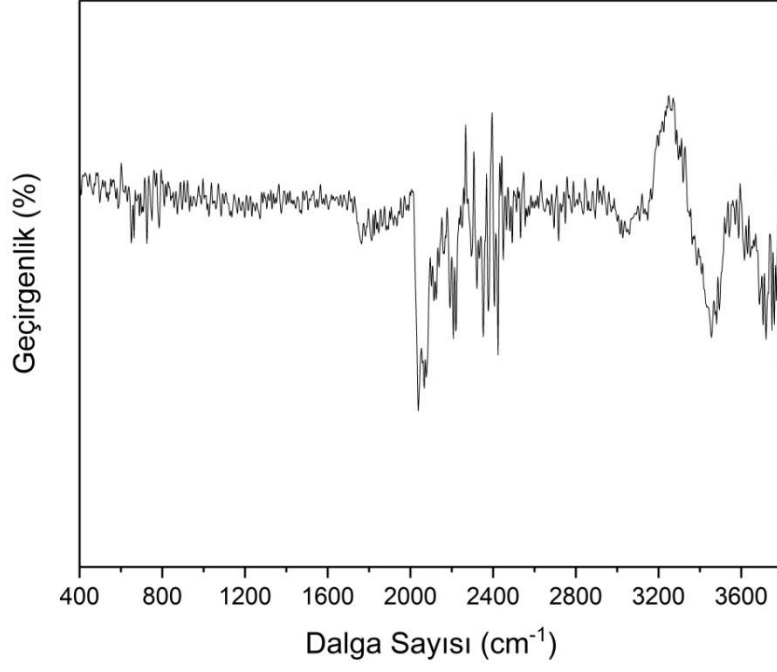


Şekil 8.27. Pembe lepidolit için FT-IR spektrumu

### 8.7.2. Turmalinin FT-IR Sonuçları



Şekil 8.28. Pembe turmalin için FT-IR spektrumu



**Şekil 8.29.** Siyah turlmalin için FT-IR spektrumu

## KAYNAKLAR

- [1]- Toptaş E., “Agate ve kemmererite minerallerinin lüminesans özelliklerinin incelenmesi”, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü Bilim Dalı, Manisa, 2008.
- [2]- Rutherford, E., 1913. Radioactive Substance and Their Radiations. Cambridge University Press
- [3]- Lyman, T., 1932. Notes on the Luminescence of Glass and Fluorite, Phys. Rev., 40:578-582, (1932).
- [4]- Aitken MJ, 1985. Thermoluminescence Dating. London, Academic Press: 359 pp.
- [5]- WEINBERG, W.H., MERRILL, R.P.,1970. Atomic and Molecular Diffraction of Helium and Deuterium from a Tungsten Carbide Surface Characterized by Low-Energy Electron Diffraction, Phys. Rev. Lett. 25, pp. 1198-1201(1970).
- [6]- C. Soliman “ The pre-dose effect in natural white mica ( $H_2KA1_3(SiO_4)_3$ )
- [7]- M. Kasuya, T. Sakai, S. Takahashi, T. Hashimoto, Nucl. Track Radiat.Means. 16 (1989) 283-286
- [8]- Y. Rodríguez-Lazcano, V. Correcher, J. Garcia- Guinea “ Thermo- and cathodoluminescence properties of lepidolite ”
- [9]- J.M. Go’mez-Ros, V. Correcher, J. Garcia- Guinea, A. Delgado, Radiat. Prot.Dasim. 119 (2006) 93
- [10]- V. Correcher, J.M. Go’mez-Ros, J. Garcia-Guinea, P.L. Martin, A. Delgado, Radiat. Prot.Dosim. 119 (2006) 176
- [11]- V. Correcher, J. Garcia-Guinea, E. Crespo-Feo, Y. Rodriguez-LazcanoP. Prado-Herrero, Thermochim. Acta 503 (2010) 12
- [12]- Shigue Watanable, Nilo F. Cano, Lucas S. Carmo, Renata F. Barbosa, Jose F.D. Chubaci “ High- and very-high-dose dosimetry using silicate minerals ”
- [13]- Sam G., “Spodümenin Lüminesans ve Optik Soğurma Özelliklerinin İncelenmesi” Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Genel Fizik, Manisa, 2015
- [14]- Keskin İ., “Kemererit’in Karakterizasyonu ve Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi ”Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Genel Fizik, Manisa, 2012

[15]- Aitken, M.J., An introduction to optical dating,. Oxford University Press, 267 s,Oxford. 1998

[16]- Kibar R., “Farklı metal iyonları ile bombalanan SrTiO<sub>3</sub> kristalinin ve bazı minerallerin nükleer ve diğer yöntemlerle incelenmesi”, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü Bilim Dalı, Manisa, 2007

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

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

[19]- Furetta, C., Weng, P.S., 1998. Operational Thermoluminescence Dosimetry. World Scientific Publishing, Singapore, 252 p.

[20]- Yüksel M.,“Orta Anadolu Fluoritlerinin (CaF<sub>2</sub>) Termolüminesans (TL) Işıma Tepelerine Tavlamanın Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2008

[21]- Rasheedy, M.S.,1993. On the general-order kinetics of the thermoluminescence glow peak. J. Phys.: Condens. Matter 5, 633-636

[22]- Katı İ.,” Ege Bölgesi'nden çıkarılan süstaşlarının karakteristik ve optik özelliklerinin incelenmesi” Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Genel Fizik, Manisa, 2012

[23]- Prof.Dr. Mahir Vardar- Arş.Gör. Erkan Bozkurtoğlu 2009-2010 Ders Yılı Notları “ Yer Kabuğunu Oluşturan Maddeler ”

url-1) <https://www.otantiktas.com/akik-tasi-2.html>

url-2)<https://muhendishane.org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/amorf-yapidaki-seramikler/>

url-3) <http://dc390.4shared.com/doc/zw-DwNAV/preview.html>

url-4) <http://www.kuark.org/2013/05/kristal-yapilar>

url-5) <https://slideplayer.biz.tr/slide/10310789/>

url-6) <https://www.slideserve.com/asis/malzeme-kusurlar-i>

url-7) <https://slideplayer.biz.tr/slide/11785014/>

url-8) <https://docplayer.biz.tr/64385420-Malzeme-bilimi-ders-notlari.html>

url-9) <https://www.slideshare.net/hiyaka71/kristal-yapda-noktasal-ve-izgisel-hatalar>

url-10) <https://slideplayer.biz.tr/slide/3002134/>

- url-11)** <https://www.slideshare.net/hiyaka71/kristal-yapda-noktasal-ve-izgisel-hatalar>
- url-12)** <https://docplayer.biz.tr/64385420-Malzeme-bilimi-ders-notlari.html>
- url-13)** [http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/yusufkanca\\_24.10.2018\\_7Z4L.pdf](http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/yusufkanca_24.10.2018_7Z4L.pdf)
- url-14)** <https://muhendishane.org/kutuphane/malzeme-biliminin-fiziksel-temelleri/yayilim-surecini-etkileyen-faktorler/>
- url-15)** <https://slideplayer.biz.tr/slide/3002134/>
- url-16)** <http://slideplayer.biz.tr/slide/11696946/>
- url-17)** <http://tr.wikipedia.org/wiki/Mineral>
- url-17)** <http://fizikliblog.blogspot.com.tr>
- url-18)** <http://slideplayer.biz.tr/slide/10521834/>
- url-19)** <http://www.jemad.com.tr/modul/index/menu/Galenit/38>
- url-20)** <https://www.degerlitaslar.gen.tr/pembe-kuvars.html>
- url-21)** <https://slideplayer.biz.tr/slide/10521834/>
- url-22)** <http://kimyaygs.blogspot.com.tr/2013/11/iyonik-bilesiklerin-orgu-yaps.html>
- url-23)** <https://eodev.com/gorev/5712455>
- url-24)** <https://slideplayer.biz.tr/slide/13345090/>
- url-25)** <https://www.molekul.gen.tr/polar-molekul.html>
- url-26)** <https://www.bilgiustam.com/kimyasal-baglar-ve-cesitleri-nelerdir/>
- url-27)**  
[https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/11765/mod\\_resource/content/1/DSA%20114-bch%20giris-restricted.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/11765/mod_resource/content/1/DSA%20114-bch%20giris-restricted.pdf)
- url-28)** <http://tez.sdu.edu.tr/Tezler/TF03905.pdf>
- url-29)** <https://prezi.com/hqhlahpmju3o/luminesans/>
- url-30)**  
[https://tr.pinterest.com/search/pins/?rs=ac&len=2&q=triboluminescence&eq=tribolum&etslf=14072&term\\_meta\[\]=triboluminescence%7Cautocomplete%7Cundefined](https://tr.pinterest.com/search/pins/?rs=ac&len=2&q=triboluminescence&eq=tribolum&etslf=14072&term_meta[]=triboluminescence%7Cautocomplete%7Cundefined)
- url-31)** <http://www.onlinefizik.com/content/view/836/176/>
- url-32)** <http://www.mrl.ucsb.edu/mrl/centralfacilities/microscopy/index.html>
- url-33)** <http://www.selcukiltek.com/equipment-105-sem-taramali-elektron-mikroskobu.aspx>
- url-34)** <https://slideplayer.biz.tr/slide/1955012/>

**url-35)** <http://ensl.osu.edu/XRD.aspx>

**url-36)** <https://docplayer.biz.tr/64706657-Bolum-xii-silikatlar.html>

**url-37)** <https://madencilikrehberi.files.wordpress.com/2012/02/kitap-a-dan-z-dec49ferli-tac59flar.pdf>



## ÖZGEÇMİŞ

**ADI SOYADI** : Gülberk AKÇAM

**DOĞUM YERİ ve YILI:** Salihli- 1987

### ÖĞRENİM DURUMU :

**İlköğretim** : Yeşilkavak Köyü İlköğretim Okulu(1993-2001)

**Lise** : Salihli Lisesi ( YDA)(2001-2005)

**Lisans** : Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik  
Bölümü(2009-2013)

**Lisans** : Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık  
Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği(2018-.... halen )

**Yüksek Lisans** : Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Katıhal Fiziği Anabilim Dalı(2014-2019)