

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Halime TUGAY**

**AKÇAKENT FLORİTLERİNİN TERMOLÜMİNESANS (TL)  
KARAKTERİSTİĞİ ÜZERİNE TAVLAMANIN ETKİSİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2008**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AKÇAKENT FLORİTLERİNİN TERMOLÜMİNESANS (TL)  
KARAKTERİSTİĞİ ÜZERİNE TAVLAMANIN ETKİSİ**

**Halime TUGAY**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

Bu tez .../.../2008 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL

Danışman

İmza:.....

Prof. Dr. Yüksel UFUKTEPE

Üye

İmza:.....

Yrd.Doç.Dr.Mustafa TOPAKSU

Üye

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ**

**Enstitü Müdürü**

**İmza ve mühür**

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: FEF2007.YL.22

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZ

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### AKÇAKENT FLORİTLERİNİN TERMOLÜMİNESANS (TL) KARAKTERİSTİĞİ ÜZERİNE TAVLAMANIN ETKİSİ

**Halime TUGAY**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**Danışman:** Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL

**Yıl:** 2008, **Sayfa:** 122

**Jüri :** Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL

Prof. Dr. Yüksel UFUKTEPE

Yrd. Doç. Dr. Mustafa TOPAKSU

Bu çalışmada Türkiye'nin Çiçekdağı Masifi, Kırşehir ilinin Akçakent ilçesinden alınan doğal florit ( $\text{CaF}_2$ ), ısısal muamele işlemleri için 350°C'den 700°C'ye kadar 50°C'lik artışlarla 0.5 ve 1 saat, daha sonra 500°C ve 550°C'de 6, 12 ve 24 saat tavlandı. Başlangıç ısısal muamele rejiminde 24 saat 550°C'de tavlanan örneğin bütün doğal dozu sildiği belirlendi. En uygun tavlama sıcaklığını elde etmek için yapılan deneylerde 40°C'den 100°C'ye kadar sıcaklık 10°C arttırılarak 24'er saat tavlanan, her tavlama sonrası 1 Gy doz verilerek elde edilen termolüminesans tepelerinin 40°C'de en yüksek doz tepkisini verdiği belirlendi. Ayrıca 40°C'de 24 saatlik tavlama işleminden sonra farklı ısıtma oranlarının ve 0.5 Gy ile 50 Gy arasındaki değişik doz değerlerinin TL ışıma tepelerine etkisi araştırıldı. Çalışılan örneğin tepe şiddetlerinin artan doz oranı ile doğrusal olarak arttığı, diğer taraftan tüm ışıma tepesi şiddetlerinin artan ısıtma oranı ile azaldığı gözlemlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Akçakent Floritleri, Termolüminesans (TL) Dozimetresi, Doz Tepkisi, Isıtma Oranı, Floritlerin Tavllanması

## ABSTRACT

### MSc THESIS

#### THE EFFECT OF ANNEALING ON THE THERMOLUMINESCENCE CHARACTERISTICS OF AKÇAKENT FLUORITES ( $\text{CaF}_2$ )

Halime TUGAY

DEPARTMENT OF PHYSICS  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

**Supervisor:** Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL

**Year:** 2008, **Pages:** 122

**Jury :** Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL

Prof. Dr. Yüksel UFUKTEPE

Assoc. Prof. Dr. Mustafa TOPAKSU

In this study, natural fluorit ( $\text{CaF}_2$ ) material obtained from Kırşehir province of Akçakent region in Çiçekdağı Massif, is annealed from 350°C to 700°C by increasing the temperature with steps of 50°C for 0.5 and 1 hours, A respectively ferwards they were annealed for 6, 12, and 24 hours at 500°C and 550°C for the initial thermal treatment regime. In the initial rise thermal treatment regime, it was deduced that annealing at 550°C for 24 hour erased all the natural dose. In experiments to obtainin optimum annealing temperature, cyristal is annealed from 40°C to 100°C with en inceaments of 10°C for 24 hour. After each annealing TL intensities were recorded by giving 1 Gy dose. From the measurements it was observed that dose responses of TL glow-peaks have the highest points at 40°C. Furthermore the effect of various dose values between 0.5 Gy and 50 Gy and the effects of different heating rates on the TL glow peaks after 24 hours annealing were investigated. It was detected that peak intensities of all glow peaks increase linearly with increasing dose response; on the other hand, all glow peak intensities decrease with increasing heating rate.

**Key Words:** Akçakent Fluorites, Thermoluminescence (TL) Dosimetry, Dose Response, Heating Rate, Annealing of Fluorites

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca beni her konuda yönlendiren ve her türlü desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL'e, yine çalışmalarımın her aşamasında her türlü desteğini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa TOPAKSU'ya, çalışmalarımda bana yardımcı olan arkadaşım Ceyda HABİBOĞLU'na çok teşekkür ediyorum.

Çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan ve daima desteklerini hissettiğim anneme, babama ve kardeşime çok teşekkür ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZ .....                                                                                        | I   |
| ABSTRACT .....                                                                                  | II  |
| TEŞEKKÜR .....                                                                                  | III |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                               | IV  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                                           | VII |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                                                   | XII |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                  | 1   |
| 2. KATILARIN BAND YAPILARI VE ÖZELLİKLERİ .....                                                 | 5   |
| 2.1. Kristallerde Bağlanma ve Bağ Çeşitleri .....                                               | 5   |
| 2.1.1. İyonik Bağ .....                                                                         | 6   |
| 2.1.2. Kovalent Bağ .....                                                                       | 6   |
| 2.1.3. Metalik Bağ .....                                                                        | 6   |
| 2.1.4. Van der Waals Bağı .....                                                                 | 7   |
| 2.2. Katıların Band Teorisi .....                                                               | 7   |
| 2.2.1. Katılarda İletkenlik ve Yalıtkanlık .....                                                | 8   |
| 2.2.2. Katılarda Yarıiletkenlik .....                                                           | 8   |
| 3. TERMOLÜMİNESANS TEORİSİ .....                                                                | 14  |
| 3.1. Lüminesans .....                                                                           | 14  |
| 3.2. Kristaller ve Kusurlar .....                                                               | 22  |
| 3.2.1. Asıl ya da Yerel Kusurlar .....                                                          | 23  |
| 3.2.2. X-Kristalindeki Y-Kimyasal Safsızlıkları gibi, Harici ya da Safsızlık<br>Kusurları ..... | 24  |
| 3.2.3. Alkali Halojenürlerde Daha Fazla Kusur Üreten İyonlaştırıcı<br>Radyasyon .....           | 26  |
| 3.3. Termolüminesans Nedir? .....                                                               | 27  |
| 3.4. Termolüminesansın Temel Teorileri .....                                                    | 30  |
| 3.4.1. Termal Uyarmalı Yöntem Olarak TL .....                                                   | 30  |
| 3.4.2. Sanki Denge .....                                                                        | 38  |

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.3. Birinci Derece Kinetikler (Yavaş Yeniden Tuzaklanma) .....             | 38 |
| 3.4.4. İkinci Derece Kinetik (Hızlı Yeniden Tuzaklanma) .....                 | 41 |
| 3.4.5. Genel Derece Kinetikler .....                                          | 44 |
| 3.5. Termolüminesans Modelleri .....                                          | 46 |
| 3.5.1. Jablonski Modeli .....                                                 | 46 |
| 3.5.2. Konfigürasyonel-Koordinat Modeli .....                                 | 47 |
| 3.5.3. Enerji Band Modeli .....                                               | 50 |
| 4. $\text{CaF}_2$ 'NİN TERMOLÜMİNESANSI .....                                 | 54 |
| 5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                                                     | 59 |
| 5.1. Doğal Floritlerin Termolüminesansı ile İlgili Önceki Çalışmalar .....    | 59 |
| 5.2. Sentetik Floritlerin Termolüminesansı ile İlgili Önceki Çalışmalar ..... | 62 |
| 6. MATERYAL VE METOD .....                                                    | 68 |
| 6.1. Materyal .....                                                           | 68 |
| 6.1.1. Florit ve Florit Yatakları .....                                       | 68 |
| 6.2. Metod .....                                                              | 72 |
| 6.2.1. Termolüminesans TL Sistemi .....                                       | 72 |
| 6.2.1.1. Tavlama Fırını .....                                                 | 72 |
| 6.2.1.2. Riso TL/OSL Lüminesans Okuyucu Model TL/OSL-DA-20 .....              | 74 |
| 6.2.1.2.(1). Radyasyon Tutma .....                                            | 76 |
| 6.2.1.2.(2). Beta ( $\beta^-$ ) Radyasyonu .....                              | 77 |
| 6.2.1.2.(3). Işık Algılama Sistemi .....                                      | 77 |
| 6.2.1.2.(4). Isısal Uyarılma Sistemi.....                                     | 78 |
| 6.2.2. Deneysel Aşamalar.....                                                 | 78 |
| 6.2.2.1. Isısal İşlemler .....                                                | 78 |
| 6.2.2.2. Uygun Tavlama Süresinin ve Sıcaklığının Belirlenmesi                 |    |
| Deneyleri .....                                                               | 79 |
| 6.2.2.2.(1). Tavlamasız TL Okuması .....                                      | 79 |
| 6.2.2.2.(2). Değişik Tavlama Koşulları ile TL Okuması .....                   | 79 |
| 6.2.2.3. Değişken Doz Oranları Deneyleri.....                                 | 80 |
| 6.2.2.4. Farklı Isıtma Oranları Deneyleri .....                               | 81 |
| 7. BULGULAR VE TARTIŞMA .....                                                 | 82 |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1. Isısal İşlemler .....                                                | 82  |
| 7.2. Uygun Tavlama Süresinin ve Sıcaklığının Belirlenmesi Deneyleri ..... | 97  |
| 7.2.1. Tavlamasız TL Okuması .....                                        | 97  |
| 7.2.2. Değişik Tavlama Koşulları ile TL Okuması .....                     | 97  |
| 7.3. Değişken Doz Oranları Deneyleri .....                                | 105 |
| 7.4. Farklı Isıtma Oranları Deneyleri .....                               | 107 |
| 8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                | 112 |
| KAYNAKLAR .....                                                           | 114 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                            | 122 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Bir katıdaki iletkenlik ve valans bandlarının gösterimi .....                                                                                                                                                                                                | 7  |
| Şekil 2.2. a) Bir iletkenin band yapısı, b) bir yarıiletkenin band yapısı, c) bir yalıtkanın band yapısı .....                                                                                                                                                          | 8  |
| Şekil 2.3. İki farklı sıcaklık için enerjinin bir fonksiyonu olarak fermi faktörü .....                                                                                                                                                                                 | 10 |
| Şekil 2.4. Verici ve alıcı enerji seviyelerinin yasak enerji aralığındaki yeri.....                                                                                                                                                                                     | 12 |
| Şekil 2.5. Alıcı ve verici yarıiletkenler için Fermi enerji seviyesinin sıcaklıkla değişimi .....                                                                                                                                                                       | 13 |
| Şekil 3.1. Lüminesans olayı ve uyarma metodları .....                                                                                                                                                                                                                   | 14 |
| Şekil 3.2. Floresans olayı .....                                                                                                                                                                                                                                        | 16 |
| Şekil 3.3. Fosforesans olayı.....                                                                                                                                                                                                                                       | 16 |
| Şekil 3.4. Lüminesans olayının soy ağacı Uyarma ve yayım arasındaki gecikme $\tau_c$ floresans ve fosforesansı ayırırken, lüminesans terimindeki örnek uyarma modlarını ayırır.....                                                                                     | 18 |
| Şekil 3.5. Radyasyon soğurma ve floresans, fosforesans ve termolüminesans arasındaki ilişki $T_0$ ısınlamanın olduğu sıcaklık; $\beta$ ısıtma oranı (heating rate); t ısınlamanın sona erdiği ve fosforeans bozunumunun (decay of fosforesans) başladığı sıcaklık ..... | 18 |
| Şekil 3.6. a) floresansı b)fosforesansı içeren enerji geçişleri .....                                                                                                                                                                                                   | 20 |
| Şekil 3.7. İdeal kristalin üç boyutlu yapısı, a) LiF'ün yapısı (●Li, ○F); b) (●Ca, ○F) $CaF_2$ 'in yapısı.....                                                                                                                                                          | 23 |
| Şekil 3.8. İçsel kusurlarıyla birlikte gerçek kristallerin yapısı örneğin LiF + alkali iyon ( $Li^+$ ), - halojenür iyonu ( $F^-$ ) $\oplus$ alkali iyon boşluğu, $\ominus$ halojenür iyon boşluğu, $\oplus$ içsel alkali iyonu, $\ominus$ içsel halojenür iyonu.....   | 24 |
| Şekil 3.9. Yerdeğiştiren iki değerlikli katyon safsızlığı $Mg^{2+}$ .....                                                                                                                                                                                               | 25 |
| Şekil 3.10. a) Kaçan alkali iyonu b) bileşik bir yapı oluşturmak üzere iyonların çekimi.....                                                                                                                                                                            | 25 |
| Şekil 3.11. Gerçek bir kristaldeki V, $V_k$ ve $V_3$ merkezleri .....                                                                                                                                                                                                   | 27 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.12. Oda sıcaklığında 250 rad $\gamma$ -ışınlarıyla ışınlamayı takip eden Mg ve Ti ile katkılanmış LiF termolüminesans ışıma eğrisi Isıtma oranı $\beta = 3\text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$ .....                                                                                                           | 29 |
| Şekil 3.13. TL, TSC, TSEE, TSCap ve DLTS arasındaki ayrımın şematik gösterimi.....                                                                                                                                                                                                                                 | 32 |
| Şekil 3.14. Düzgün bir tuzak dağılımında uyarılma öncesi ve sonrası tuzak dolum fonksiyonları .....                                                                                                                                                                                                                | 34 |
| Şekil 3.15. TL için basit tek tuzak/tek merkez modelinde izin verilen geçişler.....                                                                                                                                                                                                                                | 37 |
| Şekil 3.16. Randall-Wilkins birinci-derece TL denkleminin özellikleri (a) $n_0$ ile değişimi (b) $E_t$ ile değişimi (c) $\beta$ ile değişimi gösteriyor .....                                                                                                                                                      | 40 |
| Şekil 3.17. Garlick-Gibson ikinci-derece TL denkleminin a) $n_0$ ile değişimi b) $E_k$ ile değişimi c) $\beta$ ile değişimi görülmektedir. Şekiller, $\beta = 1\text{ K/s}$ , $E_t = 1\text{ eV}$ ve $n_0=N=1$ alınarak elde edilen TL şiddeti birimi olarak normalize edilmiştir .....                            | 43 |
| Şekil 3.18. Birinci derece (b=1), ikinci derece (b=2) ve ara derece (b=1.3 ve b=1.6) kinetiklerinin karşılaştırılması $E_t = 1\text{ eV}$ , $n_0 = N = 1$ konsantrasyon birimi ve $\beta = 1\text{ K/s}$ kullanılarak TL tepeleri. Birinci derece tepe için şekiller 1 yoğunluk birimine normalize edilmiştir..... | 45 |
| Şekil 3.19. a) floresans b) fosforesans için Jablonski modeli .....                                                                                                                                                                                                                                                | 47 |
| Şekil 3.20. Yarıiletkenlerdeki/yalıtkanlardaki safsızlık atomları için konfigürasyonel koordinat diyagramı .....                                                                                                                                                                                                   | 48 |
| Şekil 3.21. Işıma eğrisinin şematik gösterimi .....                                                                                                                                                                                                                                                                | 50 |
| Şekil 3.22. Enerji band modelinin şematik gösterimi .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 51 |
| Şekil 4.1. MBLE $\text{CaF}_2$ 'nin (doğal) normalize edilmiş ışıma eğrileri; B, $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ (Fowler&Attix, 1966) C, $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ (115°C:'de 10 dakika tavlandıktan sonra ışınlanan, McCurdy, Schaiger & Flack, 1969) .....                                                               | 54 |
| Şekil 4.2. Çeşitli TLD fosforlarının enerji cevabı .....                                                                                                                                                                                                                                                           | 58 |
| Şekil 6.1. Çiçekdağı masifi florit örnekleri .....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 68 |
| Şekil 6.2. Florit örneğinin alındığı Kırşehir masifi .....                                                                                                                                                                                                                                                         | 72 |
| Şekil 6.3. Tavlama fırını.....                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 73 |

|                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 6.4. Etüv .....                                                                                                                                                                                                                          | 74 |
| Şekil 6.5. Riso TL/OSL-DA-20 model TL/OSL okuyucu sistemi.....                                                                                                                                                                                 | 75 |
| Şekil 6.6. Aynı anda 48 örneğin okunmasını sağlayan döner levha.....                                                                                                                                                                           | 76 |
| Şekil 6.7. Kontrol paneli.....                                                                                                                                                                                                                 | 76 |
| Şekil 6.8. $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ $\beta$ kaynağının şematik görünümü .....                                                                                                                                                            | 77 |
| Şekil 7.1. Yarım saat tavlanan birinci örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 650, 60, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri.....  | 83 |
| Şekil 7.2. Yarım saat tavlanan ikinci örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 650, 60, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri.....   | 84 |
| Şekil 7.3. Yarım saat tavlanan üçüncü örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 650, 60, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri.....   | 85 |
| Şekil 7.4. Yarım saat tavlanan dördüncü örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 650, 60, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri..... | 86 |
| Şekil 7.5. Yarım saat tavlanan beşinci örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 650, 60, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri.....  | 87 |
| Şekil 7.6. Bir saat tavlanan altıncı örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 650, 60, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri.....    | 88 |
| Şekil 7.7. Bir saat tavlanan yedinci örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen                                                                                                  |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ışırma eğrileri, (III) 550, 650, 60, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışırma eğrileri.....                                                                                                                                                                                                      | 89 |
| şekil 7.8. Bir saat tavlanan sekizinci rneğin; (I) doğal doz (natural) ışırma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışırma eğrileri, (III) 550, 650, 60, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışırma eğrileri.....                                                     | 90 |
| şekil 7.9. Bir saat tavlanan dokuzuncu rneğin; (I) doğal doz (natural) ışırma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışırma eğrileri, (III) 550, 650, 60, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışırma eğrileri.....                                                     | 91 |
| şekil 7.10. Bir saat tavlanan onuncu rneğin; (I) doğal doz (natural) ışırma eğrisi, (II) 350°C’de tavlama ve farklı TL sıcaklıklarında okuma, (III) 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışırma eğrileri, (IV) 550, 650, 60, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışırma eğrileri ..... | 92 |
| şekil 7.11. 500°C’de 6 saat tavlannış florit örneğinin Termolüminesans okuması .....                                                                                                                                                                                                                 | 94 |
| şekil 7.12. 550°C’de 6 saat tavlannış florit örneğinin Termolüminesans okuması .....                                                                                                                                                                                                                 | 94 |
| şekil 7.13. 500°C’de 12 saat tavlannış florit örneğinin Termolüminesans okuması .....                                                                                                                                                                                                                | 95 |
| şekil 7.14. 550°C’de 12 saat tavlannış florit örneğinin Termolüminesans okuması .....                                                                                                                                                                                                                | 95 |
| şekil 7.15. 500°C’de 24 saat tavlannış florit örneğinin Termolüminesans okuması .....                                                                                                                                                                                                                | 96 |
| şekil 7.16. 550°C’de 24 saat tavlannış florit örneğinin Termolüminesans okuması .....                                                                                                                                                                                                                | 96 |
| şekil 7.17. Doğal ışırma eğrisi ve tavlama yapılmadan 1 Gy’lik $\beta$ dozuna maruz bırakılan florit örneğinin TL okuması.....                                                                                                                                                                       | 97 |
| şekil 7.18. Bir florit örneğinin doğal TL ışırma eğrisi ve farklı tavlama sıcaklıklarına maruz kaldıktan sonra TL okuması ile elde edilen TL                                                                                                                                                         |    |

|                                                                                        |                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----|
| ışırma eğrisleri                                                                       | (1) Natural ışırma eğrisi, (II) Fon (background) |     |
| ışırma eğrisi, (III) Farklı tavlama sıcaklıklarındaki ışırma eğrisleri .....           |                                                  | 98  |
| şekil 7.19. Bir florit örneğinin doğal TL ışırma eğrisi ve farklı tavlama              |                                                  |     |
| sıcaklıklarına maruz kaldıktan sonra TL okuması ile elde edilen TL                     |                                                  |     |
| ışırma eğrisleri; (I) Natural ışırma eğrisi, (II) Fon (background) ışırma              |                                                  |     |
| eğrisi, (III) Farklı tavlama sıcaklıklarındaki ışırma eğrisleri .....                  |                                                  | 99  |
| şekil 7.20. Bir florit örneğinin doğal TL ışırma eğrisi ve farklı tavlama              |                                                  |     |
| sıcaklıklarına maruz kaldıktan sonra TL okuması ile elde edilen TL                     |                                                  |     |
| ışırma eğrisleri; (I) Natural ışırma eğrisi, (II) Fon (background) ışırma              |                                                  |     |
| eğrisi, (III) Farklı tavlama sıcaklıklarındaki ışırma eğrisleri .....                  |                                                  | 100 |
| şekil 7.21. Doğal ve fon (background) okuması sonucu elde edilen ışırma                |                                                  |     |
| eğrisleri; (I) Natural ışırma eğrisi, (II) Fon (background) ışırma eğrisi .....        |                                                  | 101 |
| şekil 7.22. Tavlamadan 1 Gy $\beta$ dozu verilerek ve daha sonra farklı sıcaklıklarda  |                                                  |     |
| tavlanarak elde edilen TL ışırma eğrisleri.....                                        |                                                  | 102 |
| şekil 7.23. Doğal ve fon (background) okuması sonucu elde edilen ışırma                |                                                  |     |
| eğrisleri; (I) Natural ışırma eğrisi, (II) Fon (background) ışırma eğrisi .....        |                                                  | 103 |
| şekil 7.24. Tavlamadan 5 Gy $\beta$ dozu verilerek ve daha sonra farklı sıcaklıklarda  |                                                  |     |
| tavlanarak elde edilen TL ışırma eğrisleri.....                                        |                                                  | 103 |
| şekil 7.25. (I) Natural ışırma eğrisi, (II) Fon (background) ışırma eğrisi.....        |                                                  | 104 |
| şekil 7.26. Tavlamadan 1 Gy $\beta$ dozu verilerek ve daha sonra farklı sıcaklıklarda  |                                                  |     |
| tavlanarak elde edilen TL ışırma eğrisleri.....                                        |                                                  | 105 |
| şekil 7.27. Örneğin (I) Natural ışırma eğrisi, (II) Fon (background) ışırma eğrisi ... |                                                  | 106 |
| şekil 7.28. (1) Doğal doz okuması, (2) background lm, (3) Farklı doz              |                                                  |     |
| oranları deneyinden (0.5-50 Gy ) elde edilen ışırma eğrisi .....                       |                                                  | 106 |
| şekil 7.29. a) Tepe 1 için (100°C) Termoluminesans şiddeti ve doz oranı                |                                                  |     |
| arasındaki lineer ilişki b) Farklı doz oranları deneyinden elde edilen                 |                                                  |     |
| TL şiddetlerinin tepe noktalarının kaymaları .....                                     |                                                  | 10  |
| şekil 7.30. Örneğin (I) Natural ışırma eğrisi, (II) Fon (background) ışırma eğrisi ... |                                                  | 108 |
| şekil 7.31. (III), (IV), (V), (VI) ve (VII) farklı ısıtma oranlarında llen ışırma  |                                                  |     |
| eğrisleri .....                                                                        |                                                  | 110 |
| şekil 7.32. Birinci tepe için artan ısıtma oranı ile TL şiddetinin azalma .....        |                                                  | 111 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış olan bazı simgeler ve kısaltmalar, aşağıda açıklamaları ile birlikte verilmiştir.

| Simgeler   | Açıklama                               |
|------------|----------------------------------------|
| $\beta^-$  | Beta parçacığı                         |
| $\beta$    | Isıtma oranı                           |
| $r$        | Atomlar arası uzaklık                  |
| $s$        | Frekans faktörü                        |
| $t$        | Zaman                                  |
| $k, l$     | Sabitler                               |
| $n, m$     | Küçük tam sayı değerli sabitler        |
| $F(r)$     | Atomik kuvvet                          |
| $V(r)$     | Potansiyel enerji                      |
| $E_g$      | Yasak enerji aralığı                   |
| $F(E)$     | Fermi faktörü                          |
| $K$        | Boltzmann sabiti                       |
| $T$        | Mutlak sıcaklık                        |
| $n(E)$     | Elektronlarla dolu durumların enerjisi |
| $N(E)$     | Durum enerji yoğunluğu                 |
| $\sigma$   | İletkenlik                             |
| $\sigma_n$ | (-) yüklü elektronların iletkenliği    |
| $\sigma_p$ | (+) yüklü boşlukların iletkenliği      |
| $\mu_n$    | Elektronların mobiliteleri             |
| $\mu_p$    | Boşlukların mobiliteleri               |
| $q$        | Elektrik yükü                          |
| $E_1$      | İletkenlik bandındaki enerji seviyesi  |
| $E_2$      | Valans bandındaki enerji seviyesi      |

**Simgeler** $E_v$ **Açıklama**

Verici elektronların enerji seviyesinin valans bandından uzaklığı

 $E_a$ 

Alıcı elektronların enerji seviyesinin iletkenlik bandından uzaklığı

 $\Delta E$ 

Enerji farkı

 $\sigma_v$ 

Verici iletkenliği

 $\sigma_a$ 

Alıcı iletkenliği

 $N_v^+$ 

Verici elektronların iyonize olan yoğunluğu

 $N_a^-$ 

Alıcı boşlukların elektronlarla dolma yoğunluğu

 $\mu_v$ 

Verici elektron mobilitesi

 $\mu_a$ 

Alıcı elektron mobilitesi

 $N_v$ 

Vericilerin maksimum katkı yoğunluğu

 $N_a$ 

Alıcıların maksimum katkı yoğunluğu

 $\tau_c$ 

Radyasyonun soğurulmasından ışığın yayıma kadar geçen süre

 $E_s$ 

Uyarılmış seviye enerjisi

 $E_0$ 

Temel seviye enerjisi

 $E_m$ 

Yarıkararlı seviye enerjisi

 $G$ 

Temel seviye

 $M$ 

Yarıkararlı seviye

 $C$ 

Orantılılık sabiti

 $I_0$ 

t=0'daki yoğunluk

 $p$ 

Her bir birim zamandaki olasılık

 $E_k$ 

Maksimum tepedeki sıcaklığın tuzak derinliği

**Simgeler** $E_f$ **Açıklama**

Fermi seviyesi

 $E_{fm}$ 

Elektronlar için Sanki Fermi Seviyesi

|                                  |                                                                  |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| $E_{fp}$                         | Holer için Sanki Fermi Seviyesi                                  |
| $F_m(E)$                         | Durum fonksiyonları                                              |
| $E_{D_m}$                        | Elektronlar için ayırma seviyeleri                               |
| $E_{D_p}$                        | Holler için ayırma seviyeleri                                    |
| $E_c$                            | İletkenlik bandının tepesi                                       |
| $E_v$                            | Valans bandının tepesi                                           |
| $p_n(E), p_p(E)$                 | Tuzaklardan termal uyarma olasılıkları                           |
| $n_c$                            | İletkenlik bandındaki serbest elektron konsantrasyonu            |
| $n_p$                            | Valans bandındaki serbest hollerin konsantrasyonu                |
| $v_c, v_p$                       | Hız olarak adlandırılan serbest elektronlar ve holler            |
| $\sigma_n(E), \sigma_p(E)$       | Serbest yüklerin yeniden tuzaklanması için yakalama enine kesiti |
| $\sigma_{mn}(E), \sigma_{np}(E)$ | Serbest yükler için yeniden birleşme enine kesiti                |
| $T_0$                            | Işınlamanın olduğu sıcaklık                                      |
| $A_n$                            | Yeniden tuzaklanma olasılığı                                     |
| $A_{mn}$                         | Yeniden birleşme olasılığı                                       |
| $\eta$                           | Radyoaktif etkinlik                                              |
| $\theta$                         | Sıcaklığı gösteren iki değerlikli bir birim                      |
| $b$                              | Genel derece parametresi                                         |

#### **Kısaltmalar**

RTL

RPL

RLI

TL/TSL

TSP

TSC

TSEE

TSCap

#### **Açıklama**

Radyo-termolüminesans

Raadyo-fotolüminesnas

Radyo-lyolüminesans

Termolüminesans

Termal olarak uyarılmış yöntem

Termal olarak uyraılmış işetkenlik

Termal olarak uyarılmış egzoelektron yayımı

Termal olarak uyarılmış sığa

|                    |                                               |
|--------------------|-----------------------------------------------|
| DLTS               | Derin seviye kısa süreli Spektrometre         |
| Gy                 | Gray                                          |
| IR                 | Kızılötesi                                    |
| R                  | Röntgen                                       |
| mR                 | Miliröntgen                                   |
| PTTL               | Fototransfet termolüminesans                  |
| COSL               | Soğutulmuş OSL                                |
| RT                 | Oda sıcaklığı                                 |
| KCI                | Sodyum klorür                                 |
| RIR                | Yinelenen başlangıç artışı                    |
| RE                 | Nadir toprak                                  |
| PS                 | Pik biçimi                                    |
| LMOSL              | Lineer modülasyonlu OSL                       |
| POS�               | Pulsel OSL                                    |
| GOT                | Genel tek tuzak                               |
| QE                 | Sanki denge                                   |
| eV                 | Elektron volt, enerji birimi                  |
| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>                               |
| ns                 | nano saniye, $1\text{ ns} = 10^{-9}\text{ s}$ |
| nm                 | nano metre, $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$  |
| a.u.               | Keyfi birim                                   |
| Bq                 | Beuquerel                                     |
| $\text{CaF}_2$     | Kalsiyum florür                               |
| CGCD               | Bilgisayarla ışıma eğrisi ayrıştırma          |
| exp                | Eksponansiyel                                 |
| Ci                 | Curie                                         |
| TLD                | Termolüminesans dozimetre                     |
| UV                 | Ultra-viyole                                  |
| $Z_{eff}$          | Etkin atom numarası                           |
| PMT                | Fotokatlandırıcı tüp                          |

**1. GİRİŞ**

Termolüminesans (TL) ya da termal olarak uyarılmış lüminesans önceden radyasyonla uyarılan katı örnekten (yalıtkan ya da yarıiletken) ışık yayımıdır. TL maddesi radyasyona (iyonlaştırıcı, görünür ışık, UV. vs. ) maruz kalma süresince enerjiyi soğurur ve ısıtılana kadar bu enerjiyi depo eder. Sıcaklığın fonksiyonu olarak yayılan ışığın şiddeti termolüminesans ışıma eğrisidir. Genellikle ısıtma oranı sabittir ve bu yüzden ışıma eğrisi literatürde ölçüm çemberinin zamanının fonksiyonu olarak TL şiddetini ya da sıcaklık yerine kanal sayısını gösterilir. Bu durumda ışıma eğrisine ek olarak zaman sıcaklık grafiğini çizmek uygundur.

Termolüminesansın teorik açıklaması elektron band teorisine dayanır. TL maddeleri kristal yapılı yalıtkanlar ya da yarıiletkenlerdir. En basit modele göre (bir tuzak-bir merkez modeli) ideal bir kristalde elektronlar iletkenlik bandından yasak band aralığıyla ayrılan valans bandlarını işgal ederler. Gerçek bir kristalde çeşitli kusurlar iyonlaştırıcı radyasyonun ya da örgüdeki safsızlıkların sonucu olarak meydana gelir. Her iki durumda da elektronlar "yasak" enerjilere sahip olabilirler. Elektronların valans bandından iletkenlik bandına uyarılması, valans bandında holler kalırken, ışınlama sonucu olarak meydana gelebilir. Bazı holler ve elektronlar ışık yayımıyla tekrar birleşebilir (radyolüminesans).

Termolüminesans (TL) metodu tuzak ve lüminesans merkezi içerdiği için karmaşıktır. Yalıtkan ya da yarıiletken oda sıcaklığında ya da düşük sıcaklıklarda iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldığı zaman, elektronlar valans bandından iletkenlik bandına geçerler. Bu valans bandında bir boşluk bırakır. Her iki çeşit taşıyıcı tekrar yeniden birleşene ya da katı kristaldeki örgü kusurlarında tuzaklanana kadar kendi bandlarında hareketli hale gelir. Bu örgü kusurları TL yönteminde çok kritik bir rol oynar. Tuzaklanmış elektronlar kristaller oda sıcaklığında depolandığı zaman uzun bir süre oldukları gibi kalırlar. Bunlar kristal ısıtıldığı zaman elektrona verilen yeterli enerjiden dolayı serbest kalabilirler. Bu elektronlar hol içeren uygun yeniden birleşme merkezleriyle ışık yayımıyla birlikte tekrar birleşene kadar kristal

katıda hareket edebilirler. Işınlamadan sonra kristalden uyarmayla bu ışık yayımı yöntemi "termal olarak uyarılmış yöntem" ya da kısaca "termolüminesans" adını alır.

Bu açıklamada termolüminesansın üretimi için üç ana madde bulunabilir. İlk olarak madde yalıtkan ya da yarıiletken olmalıdır. Metaller lüminesans özellikleri sergilemezler. İkinci olarak madde radyasyona maruz kalma süresince belirli bir süre enerjiyi soğurmalıdır. Üçüncü olarak lüminesans yayımı maddeyi ısıtarak sağlanmalıdır. Ek olarak bu ifadelerden çıkarılamayan, şu an mevcut olan termolüminesansın bir önemli özelliği daha vardır. Işık yayımını sağlamak için madde ısıtıldığı zaman, örneği basitçe soğuttuğumuzda ve tekrar ısıttığımızda madde tekrar termolüminesans yayamaz. Tekrar lüminesans özellik göstermesi için madde tekrar radyasyona maruz bırakılmalıdır. Böylece sıcaklığı yükseltmek tekrar ışık yayımı üretecektir. Termolüminesans üretimini yöneten temel prensipler lüminesans yöntemini yöneten temel prensiplerle aynıdır. Böylece termolüminesans sadece lüminesans yönteminin geniş ailelerinden biridir.

Soğurulan radyasyon dozunun ölçümü için termolüminesans olayı Daniel ve arkadaşları tarafından ilk olarak çalışılmasından bu yana çok fazla ilerledi (McKeevr, 1985). Birçok termolüminesans fosforu şu an birçok dozimetrik uygulamada kullanılmaktadır.

Termolüminesans dozimetresi için fosforun seçimi göz önüne alınan belirli uygulamaların kesin bir bilgisini gerektirir. Genel olarak uygulamalar kişisel dozimetre (vücut dokusundaki dozun belirlenmesi), medikal uygulamalar ve reaktör dozimetresi için özel düşüncelerle çevresel izleme (havadaki dozun belirlenmesi) olarak güvenilir bir şekilde listelenebilir. Açıkça her bir kullanım arasında geniş bir üst üste gelme bölgesi vardır. Modern dozimetreler özel uygulamalarla yapılmıştır, örneğin derinin altındaki yüzeyde,  $5 \text{ mgcm}^{-2}$  ( $\sim 50 \text{ }\mu\text{m}$ ) derinlikte epidermis tarafından soğurulan X-ışını ya da  $\beta$  dozu ölçümü, ya da  $1000 \text{ mgcm}^{-2}$  derinlikte vücut dokusu tarafından soğurulan karışık nötron alanındaki doku eşdeğerinin ölçümü. Kabul edilen belirsizlik limitleri arasında bu ölçümleri yapabilmek için doğru dozimetrenin seçimi önemlidir.

Dozimetre performansı için uygulamalara yönelik bazı standartlar önerilmiştir. Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO, 1982) doz kısıtlamaları

üzerinde Radyolojik Korunma Uluslar arası Komisyonun (ICRP, 1977) tavsiyelerini karşılamak amacıyla, çevresel ve kişisel dozimetreler için bu aralar performans taleplerini kurma eğilimindedir. TLD fosforları için diğer tavsiye edilen standartlar Avrupa Toplulukları Komisyonu (CEC, 1975), Amerikan Ulusal Standartları Enstitüsü (ANSI, 1978), ve Sağlık Fiziği Topluluğu Standartları Komitesi (HPSSC, 1977) tarafından tartışıldı. Dozimetre performansı için test prosedürleri bu dökümanlara başvurarak bulunabilir. Britanya Kalibrasyon Servisi yayınları 0803 ve 0823 de (BCS, 1977) yararlıdır. Elektroteknik Komisyonu da TLD okuması birimleri için yakın zamanlarda mümkün standartları incelemektedir (McKeever, 1985).

Dozimetrenin performansı lineerlik, doz oranı, enerji cevabı, tekrar üretilebilirlik, depolanan bilginin sabitliği, izotropisi, dozimetre performansı üzerine çevrenin etkisi vb. etkenlere bağlıdır.

TLD dedektörünün arzu edilen bir özelliği termolüminesans şiddeti (I) ve soğurulan doz (D) arasında lineer bir ilişkinin olmasıdır. Termolüminesans maddeleri belirli doz aralıklarında soğurulan dozla birlikte lineer olmayan büyüme şiddeti artışı sergilerler. Dedektörün doz cevabı eğrisindeki lineer olmayan bölgelerin meydana gelmesi bunun TLD’de kullanımını olumsuzlaştırmaz, fakat dikkatli bir kalibrasyon gerektirir.

$\text{CaF}_2$ ’nin hem doğal hem de sentetik formları dozimetresi yüksek duyarlılığından dolayı radyasyon için oldukça çekicidir. Bu nedenle çevresel ve kişisel radyasyon dozimetresi alanında, bazı anormal soldurma (fading), yeniden kullanımı süresince bozulması, sıfır-doz problemleri ve doku ile karşılaştırıldığında yüksek etkin atomik sayısından dolayı zayıf enerji cevabı gibi bazı problemler hariç, geniş kullanım alanına sahiptir. Doku eşdeğerine sahip olamaması bunun kişisel dozimetre olarak kullanılmasını olanaksızlaştırır. Fakat yüksek duyarlılığı onu mükemmel bir çevresel dozimetrik madde yapar. Sıfır doz problemlerinde TLD’ler radyasyona tutulmadan karanlıkta depolandığı zaman (örneğin önceden ışına maruz kalmasından bağımsız olarak)  $\sim 0.1$  mGy ya da daha yüksek dozlar okur. Bu problemlerin sebeplerini tanımlamak için birkaç yıldan bu yana birçok çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan florti örneği Akçakent-Çiçekdağı masifinden alınmıştır. Çiçekdağı masifi, volkanik fasiyeste gelişmiş üst kretast yaşlı birimler ile bunları kesen asit ve bazik platonik kayalardan oluşur. Paleosen yaşı verilen platonik kayalar granit, siyenit ve gabro türevlerinden meydana gelmiştir. Masif, Eosen, Oligosen ve Neojen yaşlı sedimanter formasyonlarla çepe çevre örtülüdür (Ketin, 1959). Bazik ve asit karakterli platonik kayalar çoğu kez birbirlerine geçişler gösterirler. Gabro türü kayaların anklavlar şeklinde bazen siyenitler içerisinde görülmesi masifin ilk sokulumundan olduğunu gösterir.(Yaman, 1985). Bu çalışmada Çiçekdağından alınan doğal florit ( $CaF_2$ ) örneğinin termolüminesans (TL) ışıma tepelerine tavlamanın etkisi araştırılmıştır.

**2. KATILARIN BAND YAPILARI VE ÖZELLİKLERİ**

Bu bölümde çalışmamızın fiziksel temelini oluşturan termolüminesans olayının alt yapısı olan kristallerde bağlanma ve band çeşitleri, termolüminesans açıklamamızda kullanacağımız band teorisi ve buna bağlı iletkenlik özellikleri verilmektedir.

**2.1. Kristallerde Bağlanma ve Bağ Çeşitleri**

Atom veya moleküllerin bir araya gelerek katıları oluşturmada etkili olan kuvvetlere bağ kuvvetleri denir.

Atomlar arası ve atom içi bağlanmalarda etkili olan kuvvetler, atomları bir arada tutan çekme kuvveti ile atomların birbirine yakın olmasını önleyen itme kuvvetidir. Bu kuvvetlerin etkilediği A ve B gibi iki atomlu bir sistem göz önüne alınırsa A atomunun potansiyel alanından dolayı B atomunun potansiyel enerjisi,

$$V(r) = -\frac{k}{r^n} + \frac{l}{r^m} \quad (2.1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada r, atomlar arası uzaklığı, n ve m küçük tamsayı değerli sabitleri, k ve l de sabitler olarak  $(-k/r^n)$  çekme potansiyelini,  $(l/r^m)$  itme potansiyelini temsil eder. Atomik kuvvet ise,

$$F(r) = -\frac{dV}{dr} = -\frac{nk}{r^{n+1}} + \frac{ml}{r^{m+1}} \quad (2.2)$$

eşitliği ile verilir.

Kristalin bağlanma enerjisi ise aynı elektron düzenini koruyacak şekilde kristali serbest ve yüksüz atom bileşenlerine ayırmak için verilmesi gereken enerji olarak tanımlanır (Güneşdoğdu, 1998).

Bağlanma türlerindeki farklılıklar maddeye farklı özellikler kazandırır. Kazandırdığı özelliklere bağlı olarak bu bağ çeşitleri dört bölümde incelenir. (Nichols ve Vervolin, 1966)

**2.1.1. İyonik Bağ**

Bu bağ iki atomun bir veya daha fazla elektronunun komşu atoma geçerek negatif ve pozitif yüklü iyonlar oluşturmasıyla meydana gelir. Örnek olarak sodyum klorür (NaCl) kristali verilebilir. Bu kristalde iyonik bağ, sodyumun bir elektronunun klor tarafından alınarak sodyumun (+) klorun (-) değerlikli olmasıyla açıklanır ve iki iyon arasındaki bağlanma enerjisi yaklaşık olarak 6.13 eV'dur. Bu zıt yüklü iyonlar arasındaki etkileşme elektrostatik kuvvet şeklinde olup, yük dağılımları komşu atomlarla etkileştikleri bölgeler dışında küresel simetri gösterir.

**2.1.2. Kovalent Bağ**

Aynı veya farklı atomların elektron çiftlerinin birbirine bağlanması ile oluşur. Atomlar arasında elektron alışverişi olmadığı için iyonik bağ oluşmaz. Bu elektronlar bağlanan atomların birine değil, ikisine birden aittir. 4A grubundaki bütün yarıiletken elementler (Karbon(C), Silisyum (Si), Germanyum (Ge) vs. ) ve elmas kovalent bağlı kristallere örnek olarak verilebilir. Elmasın yapısındaki her karbon atomu kendine en yakın dört atom ile 109°'lik açılarla bağlanır. Bu atomların bağlanma enerjileri 7.3 eV olarak verilmektedir.

Bazı kristalleri tamamiyle iyonik ya da kovalent olarak sınıflandırmak olanaklı değildir. Kuvarsta görüldüğü gibi bu katılar ara karakterli bağlara sahiptir.

**2.1.3. Metalik Bağ**

Metallerin en dış yörüngesinde bulunan valans elektronların sayısı çok azdır ve zayıf olarak çekirdeğe bağlıdırlar. Bu bağlanma sonucu sıkı kovalent bağ oluşturmazlar. Bundan dolayı metallerin valans elektronları, pozitif iyonların oluşturduğu potansiyel içinde serbestçe hareket eden bir gaz bulutu olarak düşünülebilir. Metallerin iletken olma özelliği, bu serbest elektron bulutunun varlığı ile açıklanır. Elektron bulutu ile pozitif yüklü iyonlar arasında Coulomb elektrostatik

etkileşmesi meydana gelerek metalik bağ oluşur. Örnek olarak lityum atomunun metalik bağlanması verilebilir.

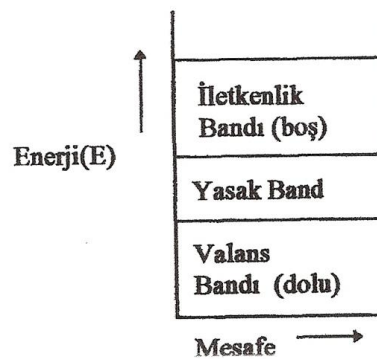
#### 2.1.4. Van der Waals Bağı

Bu bağ iki atomun son yörüngesindeki elektronların zayıf dalgalanmalarından oluşan dipollerin zayıf etkileşmesi sonucu oluşur. İyonik ve kovalent bağdan daha zayıftır. Kristal ortamındaki elektron dağılımı serbest atomdaki elektron dağılımından farklı değildir. Van der Waals bağı birçok organik molekülde ve asal gazda görülür (Durlu, 1992).

#### 2.2. Katıların Band Teorisi

Katı yapılar içinde atomlar veya moleküller, kısa mesafede periyodik olarak yerleştiklerinde kristalleri oluştururlar. Kristaller içinde atomların bulunabileceği izinli ve izinsiz (yasak) enerji bandları bulunur.

İzinli enerji bandları ikiye ayrılır (Şekil 2.1). Bunlardan valans (değerlik) elektronlarının yer aldığı enerji bandına valans bandı, valans bandının üstünde yer alan ve tümü ile boş olan enerji bandına ise iletkenlik bandı denir. İzinli olmayan banda ise yasak enerji band aralığı denir ve kristal içerisinde valans bandı ile iletkenlik bandı arasında bulunur (Şekil 2.1).

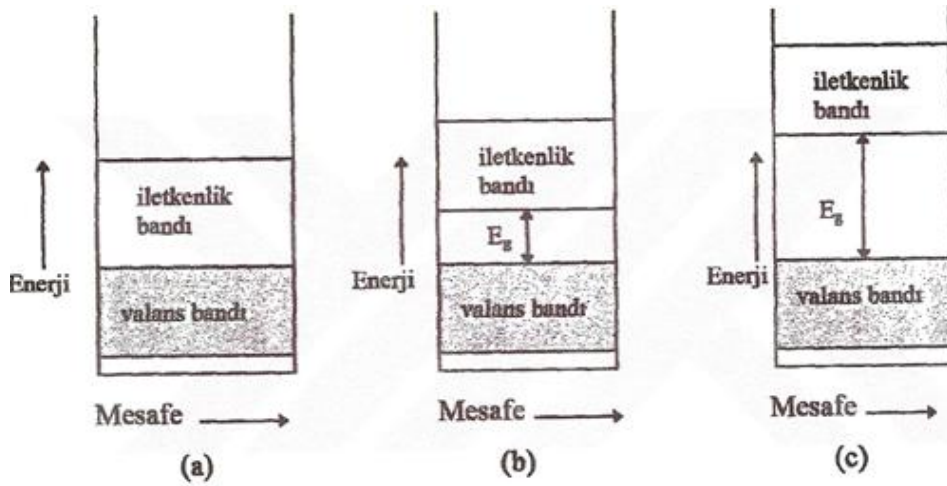


**Şekil 2.1.** Bir katıdaki iletkenlik ve valans bandlarının gösterimi

### 2.2.1. Katılarda İletkenlik ve Yalıtkanlık

İzinli ve izinli olmayan bandlar katı yapının farklılaşmasına neden olurlar. Eğer izinli enerji bandları valans elektronlarıyla tamamen dolu veya tamamen boş ise, kristal yalıtkan gibi davranır. Yalıtkanlarda dolu bir bandla (valans badi) bir sonraki boş band (iletkenlik bandı) arasındaki yasak enerji aralığı ( $E_g$ ) bir elektronun geçemeyeceği kadar geniştir (Şekil 2.2.c) Bu yüzden ısı ve elektriği iletmezler.

İzinli enerji bandları iç içe geçmiş ve kısmen dolu iki band gibi davranırsa kristal iletken olur. (Şekil 2.2.c). Buna göre tüm metaller iletkendir. Isı ve elektriği iletirler.



Şekil 2.2. a) Bir iletkenin band yapısı, b) bir yarıiletkenin band yapısı, c) bir yalıtkanın band yapısı.

### 2.2.2. Katılarda Yarıiletkenlik

Mutlak sıfır sıcaklığında ( $T=0^\circ\text{K}$ 'de) iletkenlik bandı tamamen boş olan ve dolu valans bandından bir elektronun geçebileceği bir  $E_g$  enerji aralığı ile ayrılan katılara yarıiletken denir (Şekil 2.2.b). Valans bandındaki bir elektrona iletkenlik bandına çıkmaya yetecek kadar bir enerji verilmezse elektriksel iletkenlik sağlanmaz, katı bir yalıtkan olarak davranır. Gerekli ayrılma enerjisi, yasak enerji aralığının ölçüsüdür. Bu enerji optik, ısısal veya mekanik yolla sağlanabilir. Valans bandında

bulunan elektronlar yeterli miktarda bir enerji alarak ayrıldıkları zaman, valans band sınırından yasak enerji bölgesine, oradan da iletkenlik band sınırına geçerler ve geride, valans bandında boşluklar bırakırlar. Boşluklar, bir elektriksel veya manyetik alan içerisinde artı elektron yüküne (+e) sahipmiş gibi davranırlar ve elektronlarla birlikte elektriksel iletkenliğe katkıda bulunurlar.

Genel olarak iki tip yarıiletken vardır. Bunlar,

1) Has yarıiletkenler: Saf germanyum veya silisyum içinde termal yolla elde edilen boşluklar ve elektronlara sahip yarıiletkenlerdir.

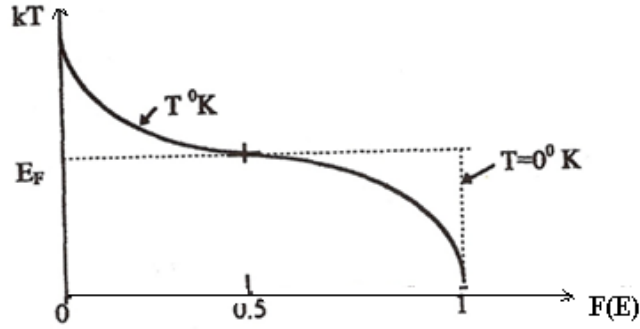
2) Katı yarıiletkenler: Has yarıiletkenlere periyodik tablodaki III. veya V. grup elementlerin (boşlukları veya elektronlarının) eklenmesiyle elde edilen yarıiletkenlerdir.

Birim hacimdeki elektron ve boşlukların sayısı, yarıiletkenlerin önemli bir özelliğidir ve onun elektriksel iletkenliğini tayin eder. Bu yüzden, yasak enerji aralığına bağlı olarak, has yarıiletkenlerin elektron veya boşluk konsantrasyonunu bulmak gerekmektedir. Bu istatistiksel denge Fermi seviyesi ile sağlanır. Fermi seviyesi gerçekte varolmayan ancak yasak enerji bölgesinin herhangi bir yerinde bulunduğu kabul edilen bir enerji düzeyidir. Herhangi bir nedenle elektron veya boşluk sayıları artarsa, dengeyi sağlamak için Fermi seviyesi sırasıyla iletkenlik veya valans bandına doğru yaklaşır.

Fermi faktörü olarak bilinen ve  $F(E)$  ile gösterilen E enerjili bir düzeyin, bir katı yapı içinde elektronlarla dolma olasılığı

$$F(E) = \frac{1}{1 + e^{(E - E_F)/kT}} \quad (2.3)$$

ifadesi ile verilir. Burada  $E_F$  Fermi seviyesini, k Boltzman sabitini, T ise mutlak sıcaklığı ifade eder.  $F(E)$  Fermi fonksiyonunun (kT) enerjisiyle değişimi Şekil 2.3'te gösterilmektedir (Croisette, 1965).



Şekil 2.3. İki farklı sıcaklık için enerjinin bir fonksiyonu olarak fermi faktörü.

Denklem (2.3)'e göre Fermi fonksiyonu  $T=0^\circ\text{K}$ 'de iki değer alır. Bunlar  $E > E_F$  için,

$$F(E) = \frac{1}{1+e^\infty} = 0 \quad (2.4)$$

$E < E_F$  için,

$$F(E) = \frac{1}{1+e^{-\infty}} = 1 \quad (2.5)$$

şeklinde. Buradan  $F(E)$  değerinin Fermi enerjisinin altındaki bütün enerji değerleri için 1 değerini aldığı, üstündeki bütün enerji değerleri için 0 değerini aldığı görülür. Eğer  $T=0^\circ\text{K}$ , Denk. (2.3)'de yerine konulursa, değeri  $E = E_F$  için,

$$F(E) = \frac{1}{1+e^0} = \frac{1}{2} \quad (2.6)$$

elde edilir. Fermi seviyesinin yerini bulmak için

$$\int N(E)dE = \int n(E)F(E)dE \quad (2.7)$$

denklemini kullanılabilir. Burada  $n(E)$  elektronlarla dolu durumların sayısı,  $N(E)$  de durum enerji yoğunluğudur. Bu integralin sınırları bir bandın en üst ve en alt seviyeleri olup band içindeki elektronların toplam sayısını gösterir.

Has yarıiletkenler olan III. ve V. grup yarıiletkenleri aralarında oluşan kovalent bağlı bileşiklerin valans elektronu elektriksel alan veya ısı enerjisiyle ayrılırlar ve  $\sigma$  iletkenlik, (-) yüklü elektronların sağladığı  $\sigma_n$  ile, (+) yüklü boşlukların sağladığı  $\sigma_p$  iletkenliklerinin toplamına, yani

$$\sigma = n(\mu_n + \mu_p)q \quad (2.8)$$

eşitliği olacaktır. Burada  $n$ , elektron veya boşluk yoğunluğu, (has yarıiletkenlerde elektronlarla boşluklar çiftler halinde bulunduğu için yoğunlukları eşittir ( $p=n$ ));  $\mu_n$ ,  $\mu_p$  elektron ve boşlukların mobiliteleri,  $q$  da elektrik yüküdür. Has yarıiletkenlerde elektronlar ve boşluklar yasak enerji aralığında bulunmazlar ve Fermi seviyesinin yeri sıcaklığa bağlı değildir ve

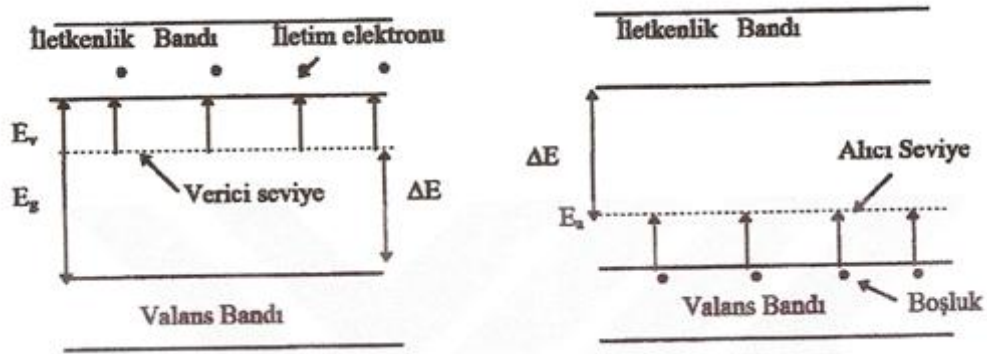
$$E_F = (E_1 + E_2)/2 \quad (2.9)$$

Bağıntısından görüldüğü gibi yeri  $E_g$ 'nin tam ortasındadır.  $E_1$  burada iletkenlik bandındaki enerji seviyesini,  $E_2$  ise valans bandındaki enerji seviyesini gösterir. Bu enerji seviyeleri, yasak enerji aralığının ortasına göre simetrik yerleşmişlerdir.

Katkılı yarıiletkenlik, yarıiletken atomun yerine katkı atomu adı verilen ve genellikle periyodik tabloda III. veya V. grupta yer alan elementlerin atomlarının birinin geçmesiyle oluşur. Eğer katkı atomu V. grubun elementlerinden birisi ise (As, P ve Sb gibi) bu elementlerin atomlarının boş valans elektronu vardır. Bu atomlar saf germanyum veya silisyum has yarıiletkenleriyle 4 kovalent bağ yaparak, bağların dışında bir elektron bırakırlar. Böyle bir yarıiletkene n-tipi (negatif akım taşıyıcısı) veya verici (donor) yarıiletken denir ve elektrik akımını negatif yükler oluşturur. Öte yandan katkı atomu III. Grup elementlerinden biri ise (B, Al, Ga, In gibi) atomun üç valans elektronu vardır. Bu atomlar saf germanyum veya silisyum kristali ile 4 kovalent bağ yaparak, bağların tamamlanması için diğer bağdan bir elektron alırlar. Elektron alınan bağda geride bir boşluk kalır. Bu tip yarıiletkenlere ise p-tipi (pozitif akım taşıyıcısı) veya alıcı (acceptor) yarıiletkenler denir ve elektrik akımını boşluklar yani pozitif yükler oluşturur.

Katkılı yarıiletkenlerde katkılar yasak enerji aralığında bulunabilirler. Bu durum band modeline göre mümkün değildir. Fakat bunlar safsızlık durumunu belirttiği için  $E_g$  aralığına yerleşebilirler. Vericilerin beşinci elektronunun enerji seviyesi, iletkenlik bandının tam altındadır ve valans bandan  $E_v$  enerji aralığı kadar yukarıdadır. İletim elektronu adı verilen beşinci elektron  $\Delta E = E_g - E_v$  kadar bir enerji alarak iletkenlik bandına geçer ve iletimi sağlar (Şekil 2.4). Aynı şekilde

alıcıların diğer bandan bir elektron alarak geride boşluk bırakan enerji seviyesi, valans bandının tam üstündedir ve valans bandan  $E_a$  enerji aralığı ile ayrılır. Bu elektron,  $\Delta E = E_g - E_a$  farkına eşit enerji ile valans bandaki elektron iyonize olarak, boşluk enerji seviyesine geçer.



**Şekil 2.4.** Verici ve alıcı enerji seviyelerinin yasak enerji aralığındaki yeri.

Vericilerde  $\sigma_v$  iletkenliği,  $N_v^+$  elektronlarının iyonize olan yoğunluğunu,  $\mu_v$  verici elektron mobilitesini ve q elektrik yükünü göstermek üzere,

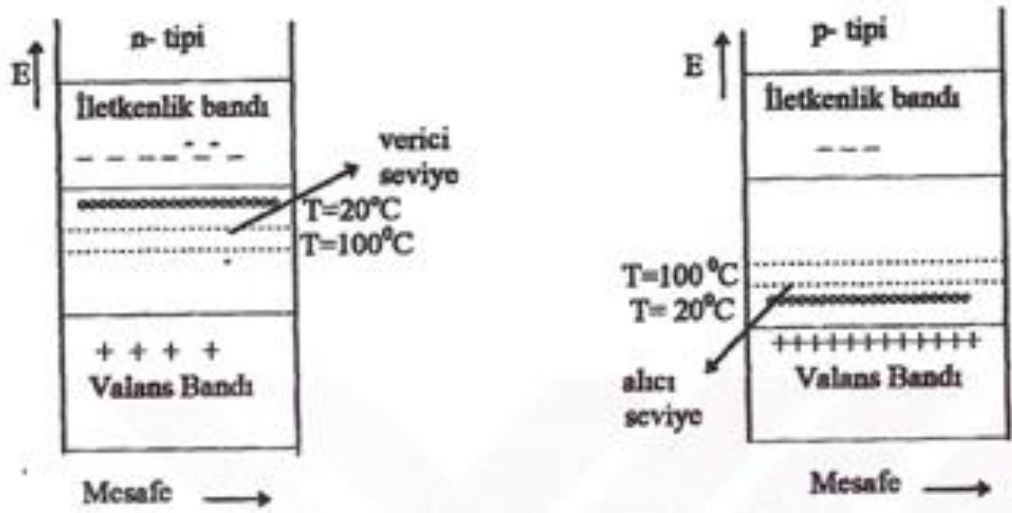
$$\sigma_v = \mu_v N_v^+ q \quad (2.10)$$

denklemleriyle verilir. Elektriksel alan veya sıcaklık arttırılırsa  $N_v^+$  verici yoğunluğu artar ve sınır halinde  $N_v$  maksimum katkı yoğunluğuna eşit olur.

Alıcı yarıiletkenlerde  $\sigma_a$  iletkenliği,  $N_a^-$  alıcı boşlukların elektronlarla dolma yoğunluğunu,  $\mu_a$  alıcı boşluk mobilitesini ve q elektrik yükü ise,  $\sigma_a$  iletkenliği

$$\sigma_a = \mu_a N_a^- q \quad (2.11)$$

denklemleriyle verilir. Elektriksel alan veya sıcaklık arttırılırsa,  $N_a^-$  alıcı yoğunluğu artar ve bütün boşlukların dolduğu sınır halinde  $N_a^- = N_a$  olur. İletkenlik bandındaki elektron sayısı valans bandındaki elektron sayısından fazla olup alıcı yarıiletken oluşursa, Fermi enerji seviyesinin yeri yasak enerji aralığının ortasının altına kayar. Alıcı ve verici yarıiletkenlerinin sıcaklık değişimi Şekil 2.5'te verilmektedir.



Şekil 2.5. Alıcı ve verici yarıiletkenler için Fermi enerji seviyesinin sıcaklıkla değişimi.

**3. TERMOLÜMİNESANS TEORİSİ****3.1. Lüminesans**

Lüminesans, fosfor olarak adlandırılan bazı katılardan ışığın yayımıdır. Kara cisim ışıması içermeyen bu yayım katı elektronik sistemin önceki uyarımının bazı çeşitleri (örneğin, görünür, infrared (IR) ya da ultraviyole (UV) ışık ve iyonlaştırıcı radyasyon) vasıtasıyla katı içindeki depolanan enerjinin serbest kalmasıdır. Radyasyon, madde üzerine düştüğü zaman enerjisinin bir kısmı soğurulabilir ve daha uzun dalgalı boylarında ışık olarak tekrar yayınlanabilir. (Stoke's Kanunu). Bu lüminesans yöntemidir. Yayılan ışığın dalgalı boyu lüminesans maddenin karakteristiğidir. Genellikle lüminesans maddeyle birçok çalışması görünen ışığın yayımıyla ilgilidir fakat ultraviyole ya da kızılötesi (infra-red) gibi diğer dalgalı boylarında da yayınlanabilir. Radyasyon enerjisini depolama yeteneği lüminesans dozimetrede önemlidir ve genellikle aktivatörlerin varlığıyla ilgilidir. (örneğin, safsızlık atomları ve yapısal kusurlar) Şekil 3.1 lüminesans olayının bazı çeşitlerini ve uyarma yöntemlerini gösteriyor (Furetta ve Weng, 1998).

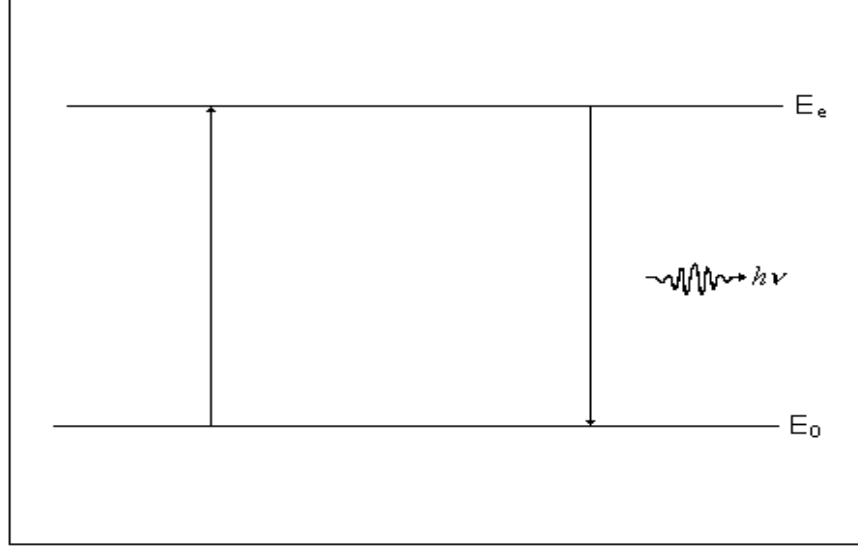
| Lüminesans Olayı  | Uyarma Yöntemleri                                   |
|-------------------|-----------------------------------------------------|
| Biolüminesans     | → Biyokimyasal reaksiyonlardan olan enerji          |
| Katodolüminesans  | → Katod ışınları                                    |
| Kemilüminesans    | → Kimyasal reaksiyonlardan olan enerji              |
| Elektrolüminesans | → Elektrik alanı                                    |
| Fotolüminesans    | → Optiksel fotonlar (UV, görünür ve infrared ışığı) |
| Piezolüminesans   | → Basınç (10 ton $m^{-2}$ )                         |
| Tribolüminesans   | → Sürtünme                                          |
| Radyolüminesans   | → İyonlaştırıcı radyasyon                           |
| Sonolüminesans    | → Ses dalgaları                                     |
| Floresans         | → İyonlaştırıcı radyasyon, UV, görünür ışık         |
| Fosforesans       |                                                     |
| Termolüminesans   |                                                     |

**Şekil 3.1.** Lüminesans olayı ve uyarma metodları

Işığın yayımı radyasyonun soğurulmasından sonra  $\tau_c$  karakteristik zamanında meydana gelir ve bu parametre bizim lüminesans yöntemini alt sınıflara ayırmamızı sağlar. (Şekil 3.4'e bakınız) Bu yüzden biz  $\tau_c \leq 10^{-8} \text{ s}$  olan floresansı ve  $\tau_c \geq 10^{-8} \text{ s}$  olan fosforesansı ayırt edebiliriz. (Garlick,1949; Curie,1960)

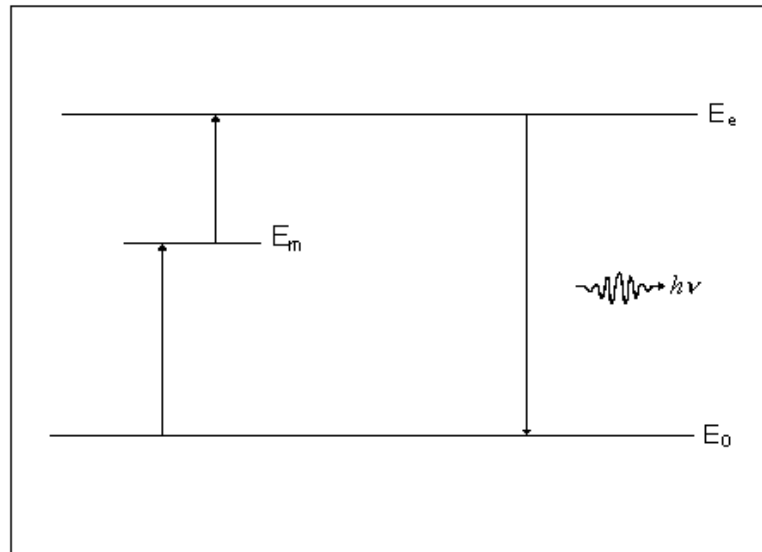
$\tau_c \leq 10^{-8} \text{ s}$  değeri aslında floresans yayımının doğal bir yöntemidir. Bu yüzden Şekil 3.5'de floresans yayımı radyasyonun soğurulmasıyla eş zamanlı olarak meydana gelmiş gibi ve radyasyon kesildiğinde hemen durmuş gibi anlatılabilir. Diğer taraftan fosforesans tam bir yoğunluğa ulaşmak için radyasyon soğurulması ve  $\tau_{\text{max}}$  arasındaki gecikme olarak tanımlanabilir. Bundan başka uyarma kaldırıldıktan sonra belirli bir süre devam ediyor olarak görülür. Açıkça gecikme zamanı  $\tau_c$  1 s mertebesindeyse, yayımı fosforesans olarak sınıflandırmak kolaydır. Fakat daha kısa gecikmeler için floresans ve fosforesansı ayırmak çok zordur. Fosforesansın kendisi uygun bir şekilde iki ana çeşide tekrar bölünebilir (Garlick & Wilkins,1945; Randall & Wilkins, 1945a,b; Curie,1960) yani, kısa periyot ( $\tau_c \leq 10^{-4} \text{ s}$ ) ve uzun periyot ( $\tau_c \geq 10^{-4} \text{ s}$ ) fosforesans. Pratik bakış açısından floresans ve fosforesansı ayırmanın açık bir yolu lüminesansın azalması üzerinde sıcaklığın etkisini çalışmaktır.

Floresansın bozunum zamanı sıcaklıktan bağımsızdır. Bu uyarılmış seviye  $E_s$ 'den temel seviye  $E_0$ 'a geçiş olasılığıyla belirlenir. Bu yöntem Şekil 3.2'de gösteriliyor (Furetta ve Weng, 1998).



Şekil 3.2. Floresans olayı

Fosforesansın bozunma zamanı sıcaklığa bağlıdır. Şekil 3.3'e bakılarak bu durumun elektron temel seviye  $E_0$ 'dan yarıkararlı seviye  $E_m$ 'ye (elektron tuzağı) uyarıldığı zaman arttığı gözlenebilir, (örneğin, iyonlaştırıcı radyasyonla) buradan elektron bir fotonun yayınlanmasıyla temel seviyeye dönemez (örneğin  $E_m$ 'den  $E_0$ 'a geçiş) çünkü bu tamamen ya da kısmen seçim kuralları tarafından yasaklanmıştır.



Şekil 3.3. Fosforesans olayı

Eğer daha yüksek seviye  $E_e$ 'nin, soğurma enerjisi  $E_e - E_m$  tarafından arttırılan ve radyoaktif geçiş  $E_e - E_m$ 'ye izin verilen sistem için mevcut olduğu varsayılırsa, oda sıcaklığında  $E_e - E_m$  enerjisi termal yollarla sağlanabilir. Bundan sonra devam eden lüminesans yayımı (fosforesans) kaynak kaldırıldıktan sonra bile devam eder. Bu yayım yarıkararlı seviyede artık hiçbir yük olmayana kadar azalan yoğunlukla devam eder. Kısa bir gecikme süresi için, buna  $10^{-4}$ s'den daha kısa diyelim, floresans ve fosforesansı ayırmak çok zordur. Bunun tek yolu olayın sıcaklığa bağlı olup olmadığını kontrol etmektir. Şayet sistem daha yüksek sıcaklığa yükseltirirse  $E_e$ 'den  $E_0$ 'a geçiş artan oranda meydana gelecektir, sonuç olarak fosforesans daha parlak olacaktır ve yarıkararlı seviyenin daha hızlı boşalmasından dolayı bozunma zamanı daha kısa olacaktır. Fosforesans daha sonra termolüminesans olarak adlandırılacaktır. Uyarma ve ışık yayımı arasındaki gecikme şimdi dakikadan  $10^{10}$  yıla kadar değişiyor.

Lüminesans etkileri iyonlaştırıcı radyasyon dozunun ölçümü için katı hal dozimetrelerinde kullanılabilir; başlıca lüminesans dozimetrik teknikleri:

a) Radyo-termolüminesans (RTL): ısıtıldığı zaman ışınlanan katıdan ışığın kısa süreli bir yayımına bağlıdır.

b) Radyo-lyolüminesans (RLL): suda ya da diğer çözücülerde eriyen ışınlanmış katıdan kısa süreli ışık yayımına bağlıdır.

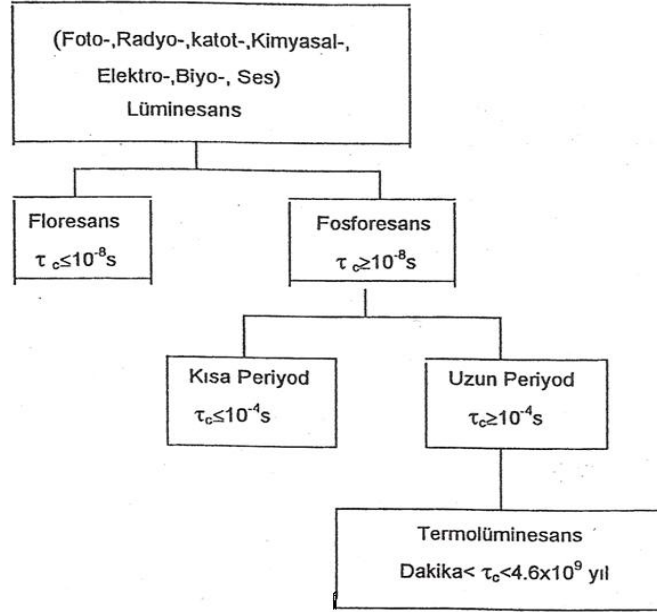
c) Radyo-fotolüminesans (RPL): UV-ışınıyla uyarılan ışınlanmış katıdan ışık yayımına bağlıdır.

a) ve b) teknikleri üç olguyla birbirine bağlıdır:

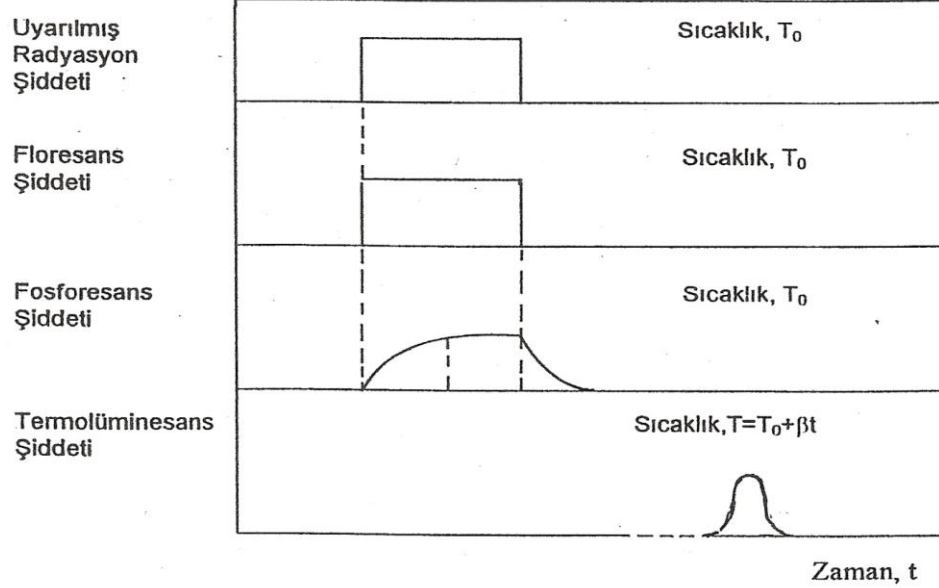
- Hepsi asıl fonun (background) üzerine konulan kısa süreli etkiler gösterir.

- Bunlar bir bellek önerirler fakat kalıcı bir radyasyon doz kaydı değil.

- Bütün teknikler için temel bellek mekanizması verilen inorganik madde için benzerdir, sadece radyasyonun neden olduğu sinyal iki farklı teknik için farklıdır.



Şekil 3.4. Lüminesans olayının soy ağacı. Uyarma ve yayım arasındaki gecikme  $\tau_c$  floresans ve fosforesansı ayırırken, lüminesans terimindeki örnek uyarma modlarını ayırır.



Şekil 3.5. Radyasyon soğurma ve floresans, fosforesans ve termolüminesans arasındaki ilişki:  $T_0$  ışınlamanın olduğu sıcaklık;  $\beta$  ısıtma oranı (heating rate);  $t$  ışınlamanın sona erdiği ve fosforesans bozunumunun (decay of fosforesans) başladığı sıcaklık.

Genel olarak lüminesans yayımı radyasyondan katının elektronlarına enerji transferi olarak açıklanır, bu yüzden elektronlar temel seviye g'den uyarılmış seviye e'ye uyarılır. (Şekil 3.6 a'daki geçiş (i)) Lüminesans fotonunun yayımı uyarılmış elektron temel seviyeye dönerken meydana gelir (geçiş (ii)) Bu yüzden floresans için (i) ve (ii) geçişleri arasındaki gecikme  $10^{-8}s$ 'den azdır ve bu yöntem sıcaklıktan bağımsızdır. Uyarılmış seviyedeki ömürler çok kısa olabilir ya da şayet geçiş hem spin hem de kısmen yasaklanmış ise,  $CaF_2; Mn$ 'deki  $Mn^{2+}$  iyonlarındaki d-elektronu pariteyi üstlenir ve  ${}^6A_{1g}({}^6S)$  temel seviyeden  ${}^4T_{1g}({}^4G)$  ilk uyarılmış seviyeye spin yasak geçişi ışığın soğurulmasıdır. Foton yayımıyla (dalga boyu  $\lambda=500$  nm) geriye temel seviye g'ye geçiş yapmadan önce uyarılmış seviye elektronu  $\tau=5$  ms olan ömre sahiptir.

Chen & Kirsh'e göre (1981) Jablonski (1935) fosforesansın sıcaklığa bağlılığının ilk açıklamasını verdi. Burada (Şekil 3.6 b) enerji seviyesi diyagramı e ve g arasındaki 'yasak' enerji aralığında yarı kararlı seviyenin varlığıyla belirlenir, g'den e'ye uyarılan bir elektron e'ye, buradan da sonraki ışık yayımıyla normal geçişe uğrayabildiği g'ye geri dönmesi için yeterli enerji E verilinceye kadar kalacağı m'de tuzaklanır. Bu yüzden fosforesansta gözlenen gecikme elektronun elektron tuzağı m'de harcadığı zamana uyar. Termodinamik tartışmalardan T sıcaklığında tuzakta harcanan ortalama zamanın

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

olduğu gösterilebilir. Burada s bir sabittir ve E, m ve e arasındaki enerji farkıdır; (tuzak derinliği olarak adlandırılır.) k Boltzmann sabitidir. Bu yüzden fosforesans yöntemi sıcaklığa eksponansiyel olarak bağlıdır. ,

Katıların enerji band teorisine dayanan fosforesansın bu basit resmi birçok fosforun lüminesans özelliklerini açıklamada başarıyla kullanılmıştır (örneğin; Johnson, 1939). Fakat Randall & Wilkins'in (1945a) çalışmasına kadar teoriye tam bir biçim verilmedi. Bu yazarlar elektronun tuzağından serbest kaldığı zaman (örneğin; Şekil 3.6.b'deki m-e geçişini yaptığında) m'ye dönme olasılığının temel seviye g'ye dönme olasılığından daha az olduğunu varsaydılar. Herhangi bir anda fosforesans yayımının yoğunluğu yeniden birleşme oranıyla orantılıdır (örneğin; e-g

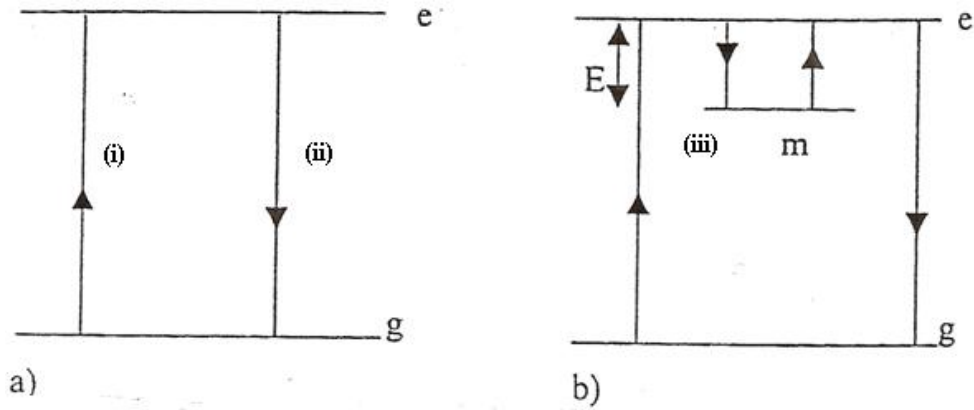
geçişlerinin oranı). Bu durumda e-g geçişleri basitçe m-e geçişleri tarafından yönetilir ve bu yüzden  $I(t)$  elektronların serbest kalma oranıyla orantılıdır. Bu nedenle,

$$I(t) = -Cdn/dt = -Cn/\tau \quad (3.2)$$

dir. Burada  $C$  orantılılık sabitidir ve  $n$ ,  $m$ 'de tuzaklanan elektronların sayısıdır. /3.2)'yi integre etmek

$$I(t) = I_0 \exp(-t/\tau) \quad (3.3)$$

verir. Burada  $\tau$  denklem (3.1) ile verilir,  $t$  zamandır ve  $I_0$   $t=0$ 'daki yoğunluktur. Denklem (3.3) ışınlamanın bitişi takip eden sabit sıcaklıkta fosforesansın bozunma denklemidir, örneğin; şekil 3.5'de  $t > t_0$  için. Sabit sıcaklıkta bozunma bu yüzden basit bir eksponansiyel, ya da birinci derece bozunmadır.



Şekil 3.6. a) Floresansı b) Fosforesansı içeren enerji geçişleri

Fakat pratikte sık sık fosforesansın bozunması lineer olmayacak şekilde bulunur. Bunun bir sebebi birçok birinci derece oluşumların üst üste binmesi herhangi bir sıcaklıkta böylece her biri farklı  $E$  enerjili birçok tuzagın denenmesi olabilir. İkinci bir sebepte Randall & Wilkins tarafından da ele alınan tuzaklardan serbest kalan elektronların hem  $m$ 'ye geri dönme hem de  $g$ 'de yeniden birleşebilme olasılığıyla ilgilidir. Bu durumda yeniden birleşme oranı sadece elektron sayılarıyla değil ayrıca uygun yeniden birleşme yerleriyle de orantılıdır. Bunların eşit olması varsayımı

$$I(t) = -Cdn/dt = \alpha n^2 \quad (3.4)$$

verir. Burada  $\alpha$  sabit T’de bir sabittir.

Denklem (3.4)’ün denklem (3.2) ile karşılaştırılması fosforesans yoğunluğunun n yerine  $n^2$  ile orantılı olmasını sağlar ve integrasyonu

$$I(t) = I_0/(n_0\alpha t + 1)^2 \quad (3.5)$$

verir. Bu çeşit bozunma ikinci-derece olarak adlandırılır.  $\alpha$  sabiti ortalama ömür  $\tau$  ve m’de elektronların yeniden tuzaklanmasının ve onların g’de yeniden birleşmesinin göreceli olasılıklarını tanımlayan terimle ilgilidir.

Denklem (3.1) ortalama ömür  $\tau$ ’nın sıcaklığa eksponansiyel olarak bağlı olduğunu gösterir. Fosforesans için E ve T’nin bağlı değerlerinde  $\tau$  çok küçüktür ve luminesans ışınlamanın meydana geldiği  $T_0$  sıcaklığında kolaylıkla gözlenir. Fakat tuzak yeterince derinse E ve  $T_0$  değerleri öyle bir değer alır ki  $E > T_0$ ’dır ve bu yüzden  $\tau$  çok büyüktür. Aslında bu m seviyesinde elektronun belirsiz bir şekilde tuzaklanmış olarak kalması demektir ya da daha doğrusu tuzaklanmış elektronların serbest kalma oranı  $dn/d\tau = -t/\tau$   $T_0$ ’da çok küçüktür. Örneğin E=1.5 eV tuzak derinliği için ve  $s = 10^{12} s^{-1}$  varsayarak T=298 K’de  $\tau = 7.3 \times 10^5$  yıl bulunur. Pratik bakış açısından bu luminesansın  $T_0 = 298 K$ ’de bu tuzaktan asla gözlenmeyeceği demektir. Fakat sıcaklık yükseltilerek luminesans yayımına sebep olunabilir. Örneğin sıcaklık lineer oran  $\beta = dT/dt$ ’da yükseltilirse burada gözlenen termoluminesans için  $I(t) = t/\tau$  yeterince büyük olan bir sıcaklık olacaktır. T artarken  $\tau$  düşer ve sonuç olarak elektronlar tuzaklardan serbest kalırken yoğunluk artar ve yeniden birleşme meydana gelir. Sonuçta tuzak boşaltılırken I(t) azalmaya başlar ve sıcaklık eğrisine karşı ortaya çıkan yoğunluk tepe şeklindedir. Çünkü ısıtmayla uyarılan luminesans termoluminesanstır. Bir termoluminesans tepesinin floresans ve fosforesans yayımıyla karşılaştırılması Şekil 3.5’de gösteriliyor. Verilen şekilde bu olay  $\beta = dT/dt$  ile sıcaklığa bağlı olarak zamana karşı çizilmiştir. Uygun şekilde derin tuzak için ışınlama kesildikten sonra termoluminesans belirsiz bir zamanda başlatılabilir. Bu zaman dakikalardan yıllara kadar sıralanabilir. Işınlama ve

termolüminesans okuması arasındaki zamandaki pratik bir limit  $4.6 \times 10^9$  yılda sadece güneş sisteminin yaşıyla ayarlanır. (Şekil 3.4)

### 3.2. Kristaller ve Kusurlar

Termolüminesans dozimetresinde iletkenlik elektronlarının tamamıyla soğurulan radyasyon dozundan dolayı olduğu ilgilenilen maddeler çoğunlukla yalıtkanlardır. Böyle yalıtkanlara örnek LiF ve NaCl gibi alkali halojenürlerdir.

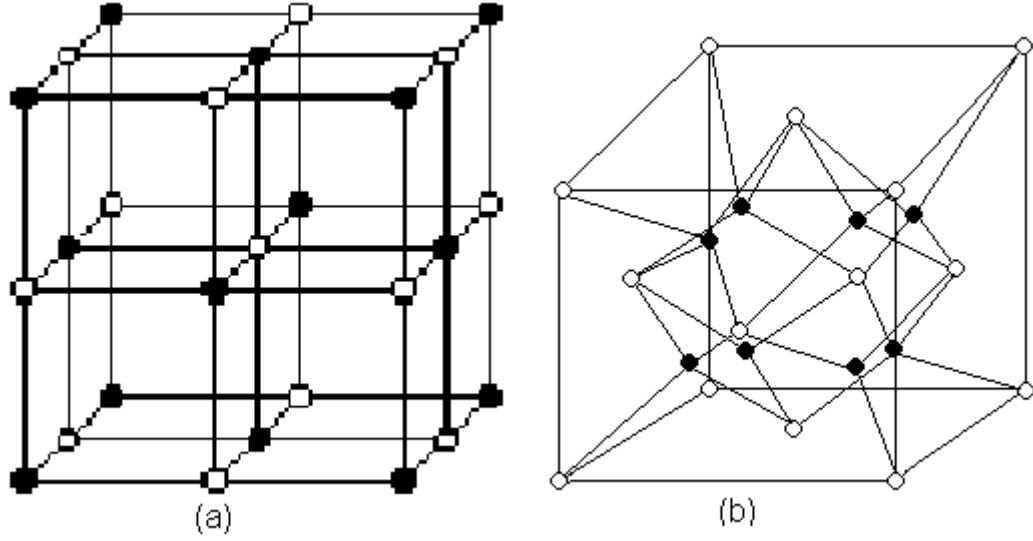
Bir kristal atomların ya da moleküllerin toplandığı 3-boyutlu yapıyla nitelendirilir. Kristali tamamen tanımlamak için tek bir birim hücredeki atomların (ya da moleküllerin) konumlarını tanımlamak gerekir. Keyfi orjinli üç vektör  $\vec{a}_i$  ( $i = 1,2,3$ ) oluşturulur. Kristalin tüm atomları  $\vec{r}$  dönüşümleriyle tek bir birim hücrenin atomlarından elde edilir.

$$\vec{r} = \sum_i \alpha_i \vec{a}_i \quad (3.6)$$

Burada  $\alpha_i$  tüm pozitif ve negatif tamsayıları gösterir.

Denklem (3.6) ile tanımlanan kristal ideal olarak adlandırılır. Termal titreşimler periyodikliği bozar ve kristali denklem (3.6)'ya uymaya imkansız hale getirir, böylece kristal kusurlu olarak adlandırılır. Denklem (3.6) için diğer bir kanıt sonlu kristal boyutudur. Kristaller kristal kusurunun ilk şekli olan serbest yüzeyler tarafından sınırlandırılır. Serbest yüzeylere ve muhtemelen diğer kusurlara sahip olan bir kristal gerçek bir kristaldir.

Alkali halojenürler ve kusurları özellikle lüminesans olayını anlamada uygun olduğu için, bunlar gerçek kristalin davranışını ele almak için kullanılacaklardır, bunların tün kusurları ışınlama süresince ikinci derecede yüklü parçacıklar tarafından oluşturulan yük taşıyıcıları için potansiyel olarak tuzaklar gibi davranırlar. Alkali halojenür yapısı tüm üç yönde değişen alkali ve halojenür iyonlarının düzenli olarak yerleşmesinden meydana gelir. Şekil 3.7 ideal bir kristali gösterir, örneğin, LiF.



Şekil 3.7. İdeal kristalin üç boyutlu yapısı, a) LiF 'ün yapısı (●Li, ○F); b)  $\text{CaF}_2$  'in yapısı (●Ca, ○F)

### 3.2.1. Asıl ya da Yerel Kusurlar

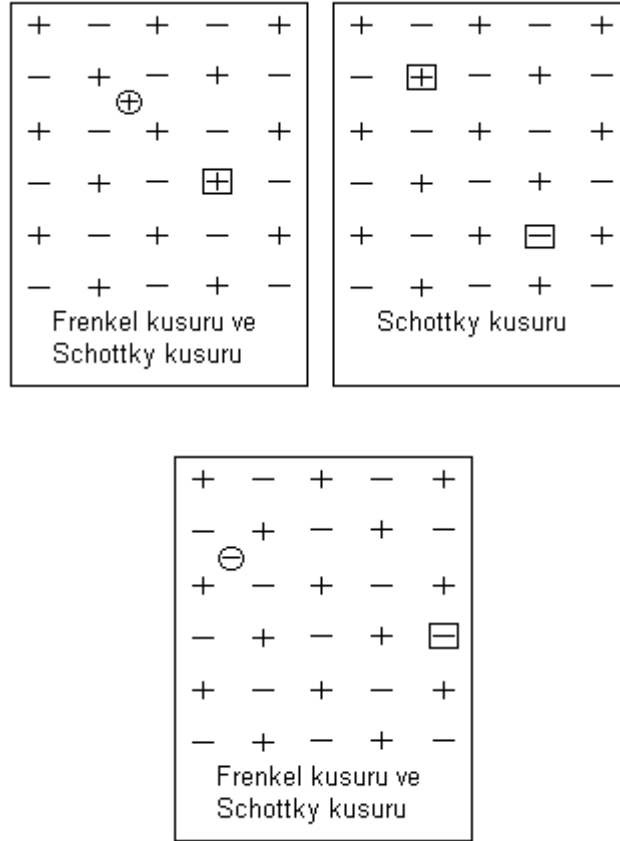
a) Boşluklar ya da kaçan atomlar (Schottky kusurları adı verilir.). Boşluk atomun kendi bölgesinden çıkarılması ve yerine geçmediği zaman elde edilen bir kusurdur.

b) Frenkel kusuru, bu kristalde araya giren X atomuna bağlıdır. X uygun olmayan örgü yeridir.

c) Yerdeğiştiren kusurlar; alkali yerlerdeki halojenür iyonları

d) Üstteki kusurların bir araya gelmiş biçimi,

Şekil 3.8 önceden bahsedilen kusurları anlatıyor.

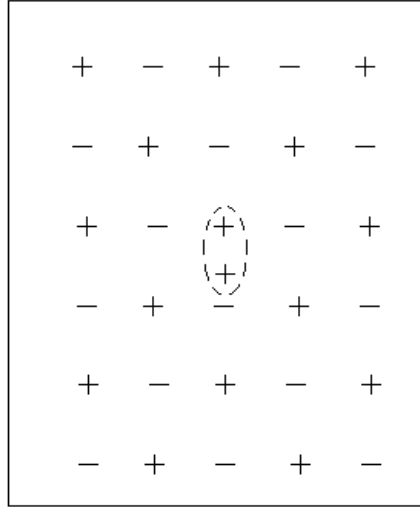


**Şekil 3.8.** İçsel kusurlarıyla birlikte gerçek kristallerin yapısı, örneğin LiF + alkali iyon ( $Li^+$ ), - halojenür iyonu ( $F^-$ )  $\oplus$  alkali iyon boşluğu,  $\boxminus$  halojenür iyon boşluğu,  $\oplus$  içsel alkali iyonu,  $\ominus$  içsel halojenür iyonu

### 3.2.2. X-Kristalindeki Y-Kimyasal Safsızlıkları gibi, Harici ya da Safsızlık Kusurları

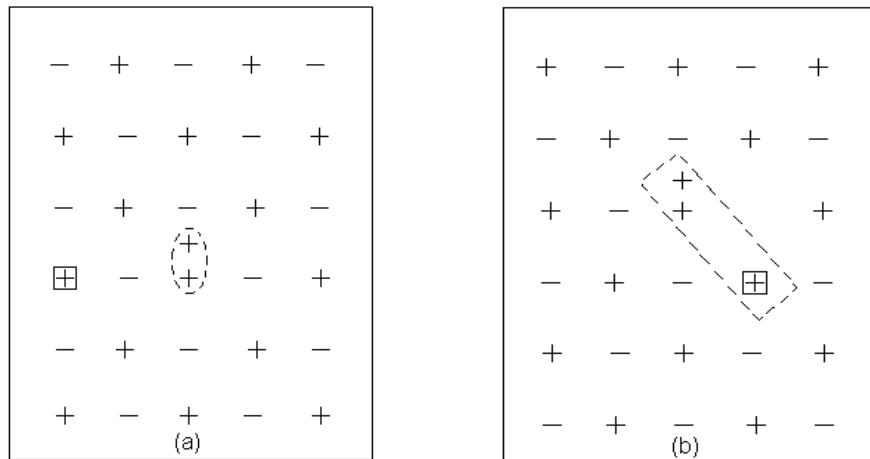
- Yer değiştirme safsızlığı; Y atomu X atomunun yerini alır.
- İnterstisyel (arada olan) safsızlıklar; Y atomu mükemmel kristale ait olmayan ekstra bir bölgeye yerleştirilir.

Bu safsızlıklar diğer evredeki erimeden ya da yayılmadan ya da implanttan (radyoaktivite sokma) kristal yapısında meydana getirilmiştir. Şekil 3.9 LiF içindeki iki değerlikli  $Mg^{2+}$  katyonunun davranışını gösteriyor, bu  $Li^+$  iyonunun yerine geçer.



Şekil 3.9. Yerdeğiştiren iki değerlikli katyon safsızlığı  $Mg^{2+}$

Şekil 3.10 (a)'da gösterildiği gibi kimyasal safsızlıkların mekanizmasını anlamak için boşluk konsantrasyonundaki iki değerlikli iyonun etkisi gözlenebilir. Pozitif yük fazlalığı safsızlıklarını karşılamak için bir alkali iyon yayınlanmalıdır, ayrıca iki değerlikli katyon safsızlığı lokal pozitif yük olduğundan ve katyon boşluğu lokal negatif yük olduğundan ikisi de Şekil 3.10 (b)'de gösterildiği gibi kompleks olduklarından dolayı birbirlerinden etkilenirler.



Şekil 3.10. a) Kaçan alkali iyonu b) bileşik bir yapı oluşturmak üzere iyonların çekimi

### **3.2.3. Alkali Halojenürlerde Daha Fazla Kusur Üreten İyonlaştırıcı Radyasyon**

Bu kusurlar, soğurma merkezleri, renklendirici iyonik kristaller olan renk merkezleri olarak adlandırılırlar. Örneğin, negatif iyon boşlukları lokalize olmuş pozitif yüklerin bölgesidir, çünkü bir bölgeyi işgal eden negatif iyon kaçır ve çevredeki iyonların negatif yükleri normalize edilmez. İyonlaştırıcı radyasyonun sonucu, elektron kristal içinde serbesttir ve lokalize olmuş pozitif yüke doğru coulomb kuvveti tarafından çekilebilir ve boşluklarda tuzaklanabilir. Bu sistem ya da merkez F-merkezi olarak adlandırılır. Benzer şekilde pozitif bir iyon boşluğu holleri gösterir ve sistem V-merkezi olarak adlandırılır fakat bunun hakkında hiçbir deneysel veri bilinmiyor. Hol merkezlerinin diğer çeşitleri de mümkündür.

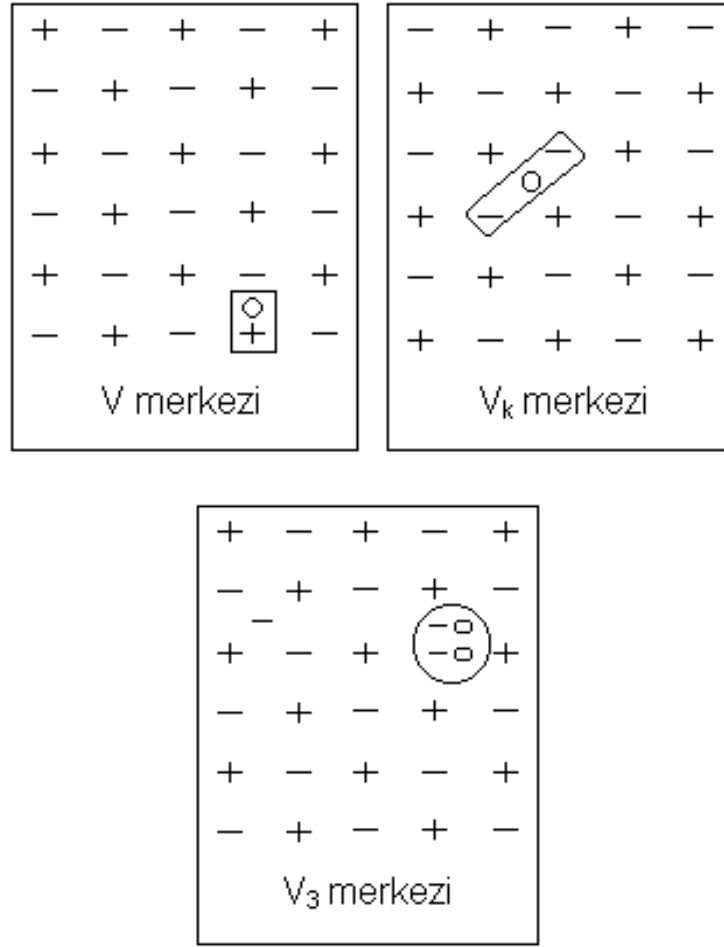
- Hol bir negatif iyon çifti tarafından tuzaklandığı zaman bir  $V_K$  merkezi elde edilir.

- Doğal halojen molekülde bağlı bulunan, hidrojen iyonunun yerini işgal eden  $V_3$  merkezi: aslında tuzaklanan iki holle birlikte iki holejenür iyonudur.

Tüm önceki kusurlar Şekil 3.11’de gösteriliyor.

Radyasyon süresince kusur üretiminin öneminin altını çizmemiz gerekir, çünkü yüksek doz seviyeleri TL maddelerinde termolüminesans dozimetrik sistemin kurulumunda ve sürdürülmesinde (örneğin; duyarlılıktaki azalma, doyum (saturasyon) etkisi vs.) önemli olan, radyasyon hasarı olarak bilinen istenmeyen etkilere neden olabilir. Ayrıca, çeşitli lüminesans tekniklerini kullanarak renk merkezlerini çalışmak, örneğin, fotolüminesans, termolüminesans olayıyla ilgili bilgileri geliştirebilir.

Bu sebeple kristallerdeki radyasyon hasarının görüngüsel (fenomenolojik) küçük bir özelliği aşağıda veriliyor.



**Şekil 3.11.** Gerçek bir kristaldeki V,  $V_k$  ve  $V_3$  merkezleri

Fotonlar, elektronlar, nötronlar, yüklü ve yüklü olmayan parçacıklar yerdeğiştirmeye kusurlar oluşturabilirler, yani radyasyonla bombardıman etmek boşluklar ve işgal edilmemiş holler üretmek örgüdeki normal konumlarından kristal atomlarının yerini değiştirir. Üretilen kusurların sayısı ışınlama akısıyla ve ışınlama zamanıyla orantılıdır. Fakat uzun ışınlama süresince üretilen kusurların sayısı yavaş yavaş azalacaktır çünkü boşluk-işgal edilmemiş hol yeniden birleşme olasılığı artar.

### 3.3. Termolüminesans Nedir?

Termolüminesans ısıtıldığı zaman yalıtkan ya da yarıiletken ışınlama yayımıdır. Termolüminesans (TL) radyasyondan enerjinin ilk soğurulmasını takip

eden katının ısıtılması süresince meydana gelen ışık yayımıdır (ışığın termal olarak uyarılmış yayımıdır, çoğunlukla görünür ışık yayımıdır.-örneğin ultraviyole ya da yüksek enerjili radyasyon). Bu, gerçekte önceden soğurulan enerjinin ışık şeklinde yayımıdır. Bu olay akkorluğa kadar ısıtıldığı zaman maddeden kendiliğinden yayınlanan ışıkla karıştırılmamalıdır. Çünkü termolüminesans yüksek sıcaklıklarda ısıtılan kaynaktan akkor ışık yayımından oldukça farklıdır.

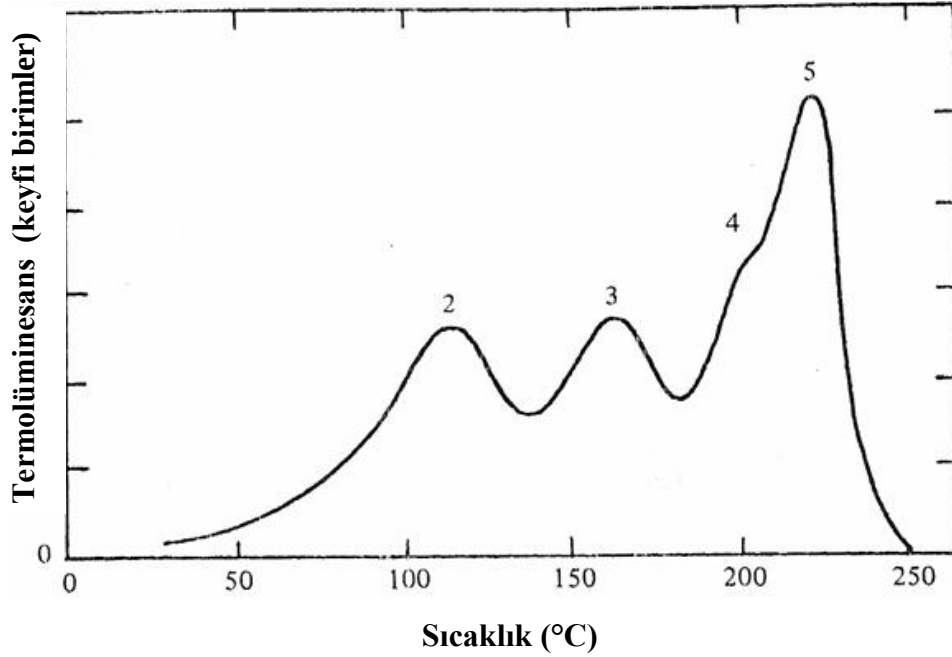
Yalıtkan ve yarıiletkenlerde TL'in meydana gelmesi için başlıca koşul maddenin önceden radyasyona maruz kalmasıdır. TL yayımı gözlemlendiği zaman, örneği basitçe soğuttuktan ve tekrar ısıtıldıktan sonra madde bunu tekrar göstermeyecektir, lakin tekrar TL elde etmek için tekrar radyasyona maruz bırakılmalıdır. TL diğer lüminesans yöntemleri gibi aynı temel prensiplere dayansa da, ısı radyasyonu sadece uyaran olduğu ve uyarıcı araç olmadığı için geleneksel olarak yanlışı adlandırılır.

Bu ifadede termolüminesans üretimi için üç önemli içerik bulunabilir. İlk olarak madde yalıtkan ya da yarıiletken olmalı-metaller lüminesans özellikleri göstermezler. İkinci olarak madde radyasyona maruz kalma süresince uzun bir süre enerji soğurmuş olmalıdır. Üçüncü olarak lüminesans yayımı maddeyi ısıtma ile başlatılmalıdır. Ek olarak bu ifadelerden çıkarılamayan termolüminesansın bir önemli özelliği vardır. Işık yaymak için madde ısıtıldığı zaman, basitçe soğutmayla ve tekrar ısıtmayla bir kez daha termolüminesans yayılımı yapılmasıdır. Tekrar lüminesans göstermesi için madde tekrar radyasyona maruz bırakılmalıdır, madde tekrar radyasyona maruz kaldığında sıcaklığı yükseltmek tekrar ışık yayımı oluşturur.

Termolüminesansın üretimini arttıran belli başlı ilkeler tüm lüminesans yöntemlerini arttıran sebeplerle gerçekte aynıdır, ve böylece termolüminesans sadece lüminesansın geniş ailelerinden biridir.

Termolüminesans verisini göstermenin uygun bir yolu lüminesans şiddetinin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak grafiğini çizmektir-bu ışıma eğrisi olarak bilinir. En çok çalışılan termolüminesans fosforlarından biri olan LiF için tipik bir ışıma eğrisi Şekil 3.12'de gösteriliyor. Tepe maksimumunun görüldüğü sıcaklık tuzak derinliğiyle ilgilidir. Şekil 3.12'de gösterilen 4 pik (2-5) tuzağın 4 farklı türü için bu

belirli sıcaklık oranı içinde aktive edildiğini gösterir; her birinin kendi E ve s değerleri vardır (genel olarak E değeri ne kadar büyükse, piklerin görüleceği sıcaklık da o kadar yüksektir. Fakat bu her zaman doğru değildir.).Her bir tepenin altındaki bölge başlangıçta örneğe verilen radyasyon miktarıyla ilgili olan dolu tuzakların sayısı ile ilgilidir.



**Şekil 3.12.** Oda sıcaklığında 250 rad  $\gamma$ -ışınlarıyla ışınlamayı takip eden Mg ve Ti ile katkılanmış LiF termolüminesans ışıma eğrisi. Isıtma oranı  $\beta = 3 \text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$

Urbach (1930) tuzak-seviyesi analizleri için potansiyel olarak yararlı bir araştırma olarak TL'i önerdi. Arkeoloji, jeoloji, sağlık fiziği, tıp ilmi, klinik dozimetre gibi radyasyon dozimetresinde ve katılardaki kusur yapılarını analiz etmeye (Townsend, 1994) ek olarak, kişisel ve çevresel kontrol için beğeni kazanmaya başladıktan sonra, TL'in temel bir matematik işleyişi ilk kez Randall ve Wilkins (1945) ve Garlick ve Gibson (1948) tarafından verildi. Daniel ve ark. (1953) radyasyon dozimetresinde radyasyon ölçümleri için termolüminesansı bir teknik olarak kullanan ilk kişilerdir. Onların önerileri arkeolojik ve jeolojik örneklerin yaşını belirlemede kullanımına rehberlik etti.

Çok sayıda mineralleri, kayaları, inorganik yarı iletkenleri ve yalıtkanları, camları ve seramikleri, organik bileşikleri, biyolojik maddeleri ve biyokimyasalları içeren dielektrik maddeler TL yayımı gösterirler. Lif,  $CaSO_4$ ,  $CaF_2$ , BeO,  $Al_2O_3$ ,  $Li_2B_4O_7$  gibi maddeler, dozimetredeki uygulamalarından dolayı en yaygın olarak çalışılan TL maddeleridir.

Termolüminesansın ana prensipleri fosforesans ölçümleriyle aynı özelliktedir. Çünkü termolüminesans lüminesans ailesinin bir üyesidir

### 3.4. Termolüminesansın Temel Teorileri

#### 3.4.1. Termal Uyarmalı Yöntem Olarak TL

Fosforesans için aktivasyon enerjisinin  $E = E_t$  olduğu durumda iletkenlik bandının altında  $E_t$  enerjisinde tuzaklanan bir elektron göz önüne alalım.  $E_t = 1.5 \text{ eV}$  ve  $10^{12} \text{ s}^{-1}$  ile tuzaklanan, tüm elverişli durumlar için 298 K'de p'nin hesaplanması tuzağın kendi tuzaklanmış elektronunu asla termal olarak serbest bırakmayacağını ve fosforesansın bu sıcaklıkta gözlenmeyeceğini gösterir. Fakat, şayet sıcaklık yükseltelseydi, p elektron yayımının meydana gelmesini ve lüminesansın gözlenmesini sağlamak için yeterince yüksek olduğu değere ulaştırılabilirdi. Burada p termal uyarmı için her bir birim zamandaki olasılıktır ve,

$$p = s \exp(-E/kT) \quad (3.7)$$

ile verilir. Burada s zamanın tersi boyutunda bir sabittir.

$\beta = dT/dt$  gibi bazı keyfi durumlarda sistemin sıcaklığını arttırdığımızı göz önüne alalım. T artarken p arttırılmış lüminesans yayımı üreterek yükselir. Genellikle sabit sıcaklıkta meydana geldiği varsayılan fosforesanstan farklı olarak, bu durum izotermal olmayan durum olarak uyarılır ve bu yüzden termolüminesans (TL ya da TSL) olarak adlandırılır. Daha fazla sıcaklık artışıyla TL yoğunluğunun azaldığı noktada yarıkararlı seviyedeki tuzaklanmış elektronların yoğunluğunun yeterince azaldığı tüm zamana kadar sıcaklık artmaya devam ettikçe TL yoğunluğu da bu nedenle artar. Maksimum tepedeki sıcaklığın tuzak derinliği  $E_t$ , frekans faktörü s ve

uyarma oranı  $\beta$  ile ilgili olduğu TL tepesi (piki) için, sonuç karakteristik bir TL pikidir. Randall ve Wilkins yük yayımı için olasılığın  $p=1$  olduğu  $T_1$  olarak adlandıracağımız bir sıcaklık tanımlıyor, örneğin,

$$\exp\left(-\frac{E_t}{kT_1}\right) = 1 \quad (3.8)$$

Maksimum tepe sıcaklığı olarak  $T_m$  ile Randall ve Wilkins  $T_m$  ve  $T_1$  arasında bir ilişki tanımladılar, böylece

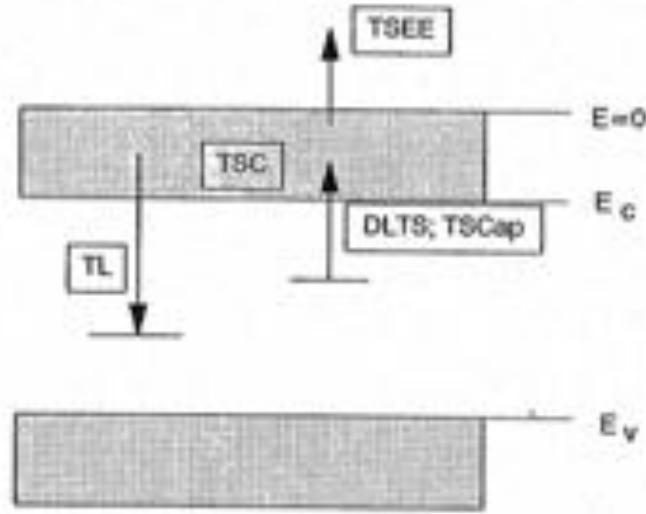
$$T_1 = T_m[1 + f(s, \beta)] \quad (3.9)$$

dir. Burada  $f(s, \beta)$  birle karşılaştırıldığı zaman değeri küçük olan bir fonksiyondur. Bu denklemleri birleştirmek,

$$E_t = T_m[1 + f(s, \beta)]k \ln s \quad (3.10)$$

TL'in yukarıdaki tanımlamasın takip eden ifadede biçimlendirilebilir-termal olarak en çok uyarılmış relaksasyon (gevşeme) olayını tanımlayan ifadedir. TL yarı kararlı seviyedeki dış enerjinin soğurulması yoluyla termodinamik denge durumundaki sistemin düzensizliğini onarır. Bunu daha sonra denge durumuna geri dönen sistemin termal olarak uyarılmış relaksasyonu izler. Termal olarak uyarılmış (TSP) yöntemin tanımlaması olarak bu durum oldukça geneldir. TL'in belirli bir durumunda düzensizlik genellikle iyonlaştırıcı radyasyondan enerjinin soğurulmasıdır ve termal olarak uyarılmış relaksasyonun dengeye geri dönmesini serbest yüklerin temel seviyeye geçişi süresince sistemden lüminesansın yayımının gözlenmesi izler. Yayınlanan lüminesansın yoğunluğu sistemin dengeye döndüğü oranla ilgilidir. Sonuç şematik olarak örnek sıcaklığına karşı lüminesans grafiğindeki lüminesans tepesinden (ya da tepelerinden) meydana gelen karakteristik "ışınma eğrisidir". Diğer TSP'lerde düzensizliğin şekli ısıtma süresince doğru bir şekilde izlenmeyle birbirinden ayrılabilir. Örneğin, Termal Olarak Uyarılmış İletkenlikte (TSC) iyonlaştırıcı radyasyon hala uyarıcı kaynak olarak kullanılıyor, fakat delokalize uyarılmış seviye boyunca serbest yüklerin geçişini izleyerek dengeye geri gelen termal relaksasyon tespit edilebilir (örneğin elektronlar için iletkenlik bandı, holler için valans bandı). Termal Olarak Uyarılmış Egzoelektron Yayımı (TSEE) için relaksasyon yöntemi süresince genellikle yüzey tuzaklarından elektronların yayımı izlenebilir. Alternatif olarak hem Derin Seviye Kısa Süreli Spektrometre (DLTS)

hem de Termal Olarak Uyarılmış Sığa (TSCap) için uyarma hem iyonlaştırıcı radyasyonla hem de elektriksel enerjiyle olabilir ve sığadaki tuzaklanmış yükün tuzaklardan delokalize bandlara termal olarak uyarılmış geçişi süresince, hem pn yarı iletken bağlantı noktası hem de metal yarıiletken bağlantı noktası boyunca yük izlenir. Yöntemler arasındaki fark şematik olarak şekil 3.13'te gösterilmiştir



**Şekil 3.13.** TL, TSC, TSEE, TSCap ve DLTS arasındaki ayrımın şematik gösterimi

Yukarıdaki yöntemlerin her biri ve tüm ilgili yöntemler çalışma halindeki maddedeki Fermi Seviyesi dengesinin düzensizliğine göre tanımlanabilirler. 0 K'de ve termodinamik dengede Fermi-Dirac istatistiklerinden,  $E_f$ 'nin altındaki tüm durumlar doluyken Fermi Seviyesi  $E_f$ 'nin üzerindeki tüm durumların boş olduğu belirtilebilir. Bu durum şekil 3.14'te gösteriliyor. Burada termal olarak uyarılmış genişleme denklemi süresince uniform tuzak dağılımı için enerji seviyelerinin dolu  $F_n(E)$  olduğu büyüklüğü göstermek için Bräunlich tarafından tanımlandığı gibi "dolgu diyagramı" kullanılıyor. Sol taraftaki şekille başlarsak 0 K'de Fermi-Dirac dolum fonksiyonu görürüz. Düzensizlikten sonra  $E_f$ 'nin üzerindeki band aralığında lokalize olmuş seviyelerde tuzaklanan ve  $E_f$ 'nin altında tuzaklanan hollerin eş konsantrasyonunu gösteren yeni bir dolum fonksiyonu (filling function) bulunur.

Elektronlar için  $E_{f_m}$  ve holler için  $E_{f_p}$  olan birer Sanki-Fermi Seviyeleri tanımlanır. Bunlar tuzaklanmış elektron ve hol yoğunluğunun kendi uygun enerji seviyeleri civarında termal dengede olduğu varsayımı yapılarak denge istatistiklerine göre düzensizlikleri izleyen dengede olmayan seviyeleri tanımlamak için faydalı yöntemlerdir. Termal olarak uyarılmış relaksasyon süresince, örneğin ısıtma süresince dolum fonksiyonları  $F_m(E)$  ilk düzensizlik seviyesine yavaş yavaş geri dönerler. Yöntem süresince tuzaklanmış yük konsantrasyonları geriye kendi denge seviyelerine bozunurken Sanki-Fermi Seviyeleri kendi denge değerlerine yavaş yavaş dengedeki Fermi Seviyesi yönünde geriye doğru hareket ederler. Şekil 3.14'te ısıtma  $T(t) = T_0 + \beta t$  fonksiyonuna göre gerçekleştirilmiştir. Burada  $T_0$  başlangıç sıcaklığıdır, örneğin yukarıdaki örnekte 0 K ve  $\beta$  (sabit) ısıtma oranıdır. Fakat, prensipte başka bir ısıtma fonksiyonu kullanılabilir. TL'in tek bir tanımlamasındaki resmi geliştirmek için birçok ilave tanımlamalar ve varsayımlar yazılmıştır.

a) Lokalize olmuş enerji seviyelerinden ya da lokalize olmuş enerji seviyelerine tüm geçişler lokalize olmayan bandlar boyunca yükün (elektronların ya da hollerin) geçişini gerektirir-örneğin şu an için lokalize olmuş seviyeler arasındaki geçişler direk olarak dahil edilmiyor.

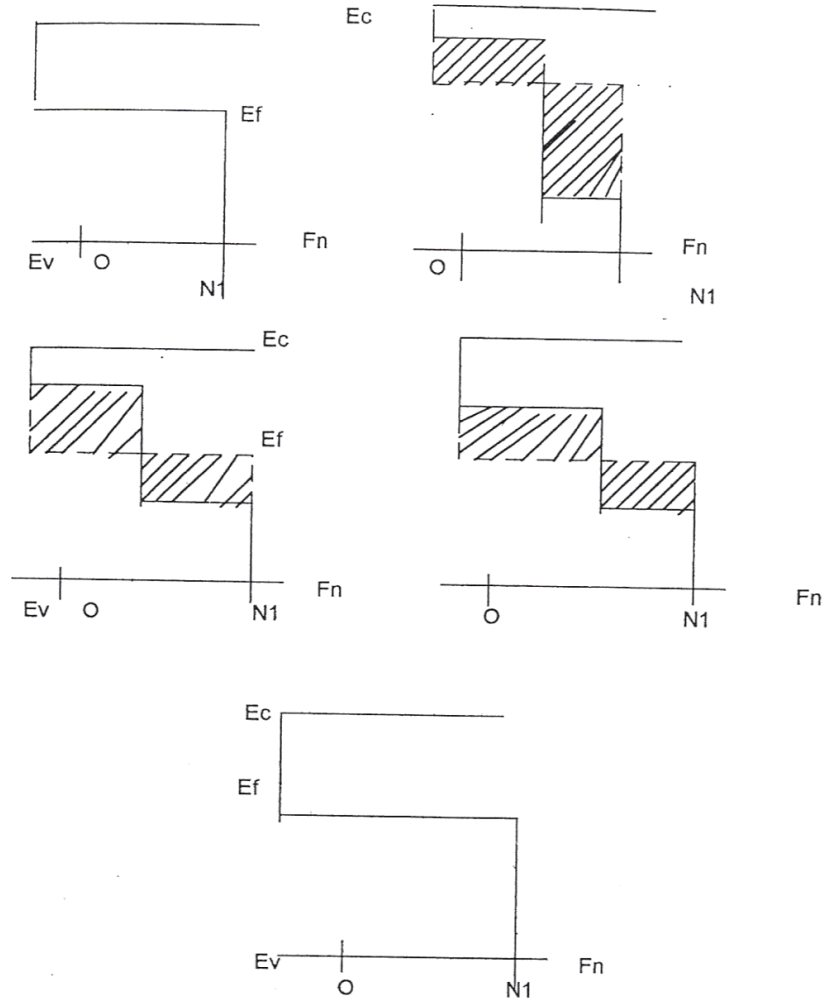
b) Ayrı ayrı lokalize olmayan banddaki seviyeden termal uyarma olasılığının zıt işaretli serbest yük taşıyıcısıyla tuzaklanmış yükün yeniden birleşme olasılığından daha büyük olanları olan ‘‘tuzaklanma’’ seviyelerinin alışılmış tanımları benimsenir. Aksine ‘‘yeniden birleme merkezi’’ tektir. Burada zıt işaretli yük taşıyıcısıyla yeniden birleme olasılığı tuzaklanmış taşıyıcının termal olasılığından daha büyüktür. Bu yüzden ayırma seviyesi bu iki olasılığın eşit olduğu enerji seviyesinde olarak tanımlanır. Bu yüzden elektronlar için  $E_{D_m}$  ve holler için  $E_{D_p}$  ayırma seviyeleri vardır.

c) Elektronların fononlar yayarak iletkenlik bandından ( $E \geq E_c$ ),  $E_c > E > E_{D_m}$  olan E enerjili elektron tuzaklarına geçişi radyoaktif değildir. Benzer şekilde  $E \leq E_v$  ‘den  $E_{D_m} > E > E_v$ ’deki hol tuzaklarına hol geçişleri de radyoaktif

değildir. Burada  $E_c$  ve  $E_v$  sırasıyla iletkenlik bandının tabanı ve valans bandının tepesidir.

d) Serbest elektronların  $E \geq E_c$ 'den  $E_F > E > E_{D_f}$ 'deki tuzaklanmış hol yeniden birleşme merkezine geçişi ya da serbest hollerin foton yayarak,  $E \leq E_v$ 'den  $E_{D_m} > E > E_F$ 'deki tuzaklanmış elektron yeniden birleşme merkezlerine geçişleri radyoaktiftir.

e) Tuzaklar boşaltıldığı zaman serbest bırakılmış taşıyıcılar ve aynı çeşitteki tüm diğer tuzaklar artık birbirlerinden ayırt edilemez.



Şekil 3.14. Düzgün bir tuzak dağılımında uyarılma öncesi ve sonrası tuzak doluluk fonksiyonları

Şekil 3.14'te uniform tuzak dağılımı için dolum diyagramları gösteriliyor. Durum fonksiyonları  $N(E)$ 'nin herhangi bir keyfi yoğunluğu için Adirrowitch Haering, ve Adams, ve Halperin ve Braner denklemlerini genelleştirebiliriz ve denge için termal uyarımlı güzergah süresince lokalize olmayan enerji bandlarının içinde ve dışında yüklerin akışını tanımlayan oran denklemi serileri yazabiliriz, bu yüzden,

$$\begin{aligned} \frac{dn_c}{dt} = & \int_{E_{D_m}}^{E_c} p_n(E) N(E) f(E) dE - n_c v_n \int_{E_{D_m}}^{E_c} \sigma_n(E) N(E) (1 - f(E)) dE - \\ & n_c v_n \int_{E_{D_p}}^{E_p} \sigma_{mn}(E) N(E) (1 - f(E)) dE \end{aligned} \quad (3.11)$$

ve

$$\begin{aligned} \frac{dn_v}{dt} = & \int_{E_v}^{E_{D_p}} p_p(E) N(E) (1 - f(E)) dE - n_v v_p \int_{E_v}^{E_{D_p}} \sigma_p(E) N(E) f(E) dE - \\ & n_v v_p \int_{E_F}^{E_{D_m}} \sigma_{np}(E) N(E) f(E) dE \end{aligned} \quad (3.12)$$

Burada  $p_n(E)$  ve  $p_p(E)$  denklem 3.7'de verildiği gibi tuzaklardan termal uyarma olasılıklarıdır;  $N(E)$  durum fonksiyonlarının yoğunluğudur,  $f(E)$  işgal yada dolum fonksiyonu,  $n_c$  iletkenlik bandındaki serbest elektron konsantrasyonu,  $n_v$  valans bandındaki serbest hollerin konsantrasyonu,  $v_c$  ve  $v_p$  hız olarak adlandırılan serbest elektronlar ve holler,  $\sigma_n(E)$  ve  $\sigma_p(E)$  serbest yüklerin yeniden tuzaklanması için yakalama enine-kesiti ve  $\sigma_{mn}(E)$  ve  $\sigma_{np}(E)$  serbest yükler için yeniden birleşme enine kesitidir. Birçok yazar sadece iki çeşit lokalize olmuş seviyeyi varsayarak yukarıdaki denklemi basitleştiriyor-yani  $E_c > E_t > E_{D_m}$  olduğu  $E_t$  enerjisinde ayırık elektron tuzağı ve  $E_{D_p} > E > E_v$  olduğu E ayırık yeniden birleşme (tuzaklanmış hol) merkezi.

Yukarıdaki şartlarla tuzaklanmış elektron konsantrasyonu basitleştirilir, böylece;

$$\int_{E_{D_m}}^{E_c} N(E) f(E) dE \rightarrow n \quad (3.13)$$

Boş tuzakların konsantrasyonu

$$\int_{E_{D_m}}^{E_c} N(E)(1 - f(E))dE \rightarrow N \rightarrow n \quad (3.14)$$

olur ve mevcut hol seviyelerinin konsantrasyonu (yeniden birleşme için)

$$\int_{E_{D_p}}^E N(E)(1 - f(E))dE \rightarrow m \quad (3.15)$$

olur.

Ayrıca tuzak enerjisinin ve yeniden birleşme merkezinin her ikisi de tek değerli olduğuna göre  $\sigma_n$  ve  $\sigma_{mn}$  de tek değerlidir. Son olarak termal uyarma süresince sadece tuzaklanan elektronların termal olarak serbest kaldığı varsayılır (örneğin  $p_p = 0$ ); bu sırasıyla  $n_p = 0$  demektir (Takip eden muamelede daima tuzaklanmış elektronların serbest kalmasıyla TL sinyalinin uyarıldığı varsayılır. Alternatif olarak hollerin termal olarak kararsız yük taşıyıcı çeşitleri olduğu şu an için şüphesiz kabul edilebilir. Fakat bu durumda denklemin şekli takip edenlerle aynı olacaktır ve sadece terimlerin tanımlaması değiştirilecektir.). Bu sadeleştirmelerle birlikte Denklem 3.7'yi kullanılarak Denklem 3.11 ve 3.12

$$\frac{dn_c}{dt} = n \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) - n_c(N - n)A_n n_c m A_{mn} \quad (3.16)$$

ve

$$\frac{dn_p}{dt} = 0 \quad (3.17)$$

olur.

Burada  $A_n = v_n \sigma_n$  yeniden tuzaklanma olasılığıdır ve  $A_{mn} = v_n \sigma_{mn}$  yeniden birleşme olasılığıdır (her ikisi de her bir birim zamanda hacim biriminde ifade edilir.). Aynı notasyonlarla ayrıca,

$$\frac{dn}{dt} = n_c(N - n)A_n - n \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) \quad (3.18)$$

ve

$$\frac{dm}{dt} = n_c m A_{mn} \quad (3.19)$$

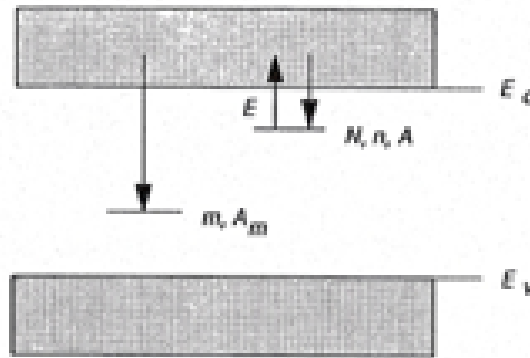
yazılır. Buradan  $dn_c/dt = dm/dt - dn/dt$  olduğu görülür. Ayrıca yük nötrallığı

$$n_c + n = m \quad (3.20)$$

olmasını gerektirir. Son olarak denge seviyesine sistemin geri dönmesi süresince yayınlanan TL yoğunluğu

$$I_{TL} = -\eta \frac{dm}{dt} \quad (3.21)$$

ile ifade edilir. Burada  $\eta$  radyoaktif etkinliktir. Şayet tüm yeniden birleşme olayları foton üretirse ve tüm fotonlar tespit edilirse  $\eta=1$ 'dir. Özel olarak ifade edilmedikçe takip eden tartışmada  $\eta=1$  alacağız. 3.16-3.19 denklemleri başlangıçta dengeden bozulan sistemin ısıtılması ( $\beta$  oranında) süresince elektronların değiş tokuşunu tanımlayan oran denklemi sistemini gösterir. Bunlar birinci-derece lineer olmayan diferansiyel denklemle birleştirilmiştir ve genellikle bunlar analitik olarak çözülemez.  $n_c$ ,  $n$  ve  $m$  konsantrasyonları diğerlerinden üstündür ve  $t$  ve  $T$  bağıllığıyla sıcaklık oranı fonksiyonu  $T=T(t)$  ile bağlantılıdır (Gerçekte  $n_c$ ,  $n$  ve  $m$ 'nin her biri  $n_c(T(t))$ ,  $n(T(t))$  vs. sistemin geçmişine bağlı olduğu için fonksiyonel olarak göz önüne alınmalıdır. Bunlar diferansiyel denklemin çözümleridir ve bunlar  $t$ ,  $T$  ve  $n_{c0}$ ,  $n_0$  ve  $m_0$  başlangıç değerlerine bağlıdır.). Yazılıştta yukarıdaki denklemlerde sistemin dengeye geri gelmesi süresince izin verilen geçişler üzerinde ve sistemdeki uygun olan enerji seviyeleri üzerinde fazla sınırlamalar verildi. Tek-tuzak/tek-merkez modeli olarak bilinen bu basit düzen Şekil 3.15'te gösterilmektedir. Belirli sınırlamalara rağmen TL yoğunluğu ve sıcaklık arasında açık bir şekilde ilişki veren bir analitik ifade geliştirmek için doğruluğunu kanıtlamada bu kullanılır-örneğin  $I_{TL}(T)$ 'nin şekline karar vermek için. Böyle yapılırsa, çeşitli geçiş oranlarının görelî büyüklükleriyle ilgili olan birçok basitleştirilmiş varsayım denklemlerde tanıtılmalıdır. Farklı varsayımların çeşitliliği önerilmiştir ve literatürde kullanılmıştır ve bunlar şu an tanımlanacaktır.



Şekil 3.15. TL için basit tek tuzak/tek merkez modelinde izin verilen geçişler

### 3.4.2. Sanki Denge

Muhtemelen tüm bu varsayımların en önemlisi sanki dengenin (QE) oran denkleminde üretilmesidir. QE varsayımı,

$$\frac{dn_c}{dt} \ll \left| \frac{dn}{dt} \right|, \left| \frac{dm}{dt} \right| \quad (3.22)$$

ile ifade edilir. Bu varsayımın büyük bir önemi vardır ve basitçe ifade edilmiştir. Bu iletkenlik bandındaki serbest elektron konsantrasyonunun sanki dengede olmasını gerektirir. Bu 3.16-3.19 denklemlerinin sadeleştirilmesine izin veren eşitsizliktir. Şayet başlangıçtaki serbest taşıyıcı konsantrasyonunun küçük olduğunu (örneğin,  $n_{c0} \simeq 0$ ) belirten ilavelerle birleştirilirse, bu termal uyarma süresince yükün yalıtkanlık bandında asla yer almaması demektir. Yukarıdaki eşitsizlikleri uygulamak,

$$-\frac{dn}{dt} \simeq -\frac{dm}{dt} = I_{TL} \quad (3.23)$$

denklemine ulaştırır ve bu,

$$I_{TL} = \frac{n \exp(-E_t/kT) m \sigma_{mn}}{[(N-n)\sigma_n + m \sigma_{mn}]} \quad (3.24)$$

ya da

$$I_{TL} = n \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) \left[1 - \frac{(N-n)\sigma_n}{(N-n)\sigma_n + m \sigma_{mn}}\right] \quad (3.25)$$

Denklem 3.24 ve 3.25 TL yayımı için “Genel Tek Tuzak” ifadesi (General One Trap-GOT) olarak adlandırılmıştır. Denklem 3.25’de kare parantez içindeki terim termal olarak serbest kalan elektronların yeniden tuzaklanmayacağına dair bir olasılıktır ve  $(N-n)\sigma_n + m \sigma_{mn}$  yeniden birleşme olasılığı için yeniden tuzaklanma olasılığı oranıdır (Chen ve McKeever, 1997).

### 3.4.3. Birinci Derece Kinetikler (Yavaş Yeniden Tuzaklanma)

Randall ve Wilkins termal uyarma periyodu süresince ihmal edilebilir yeniden tuzaklanmaları varsaydı, örneğin  $m \sigma_{mn} \gg (N-n)\sigma_n$  olduğunu varsaydı. Bunun  $n(t)$  ve  $m(t)$  fonksiyonu arasındaki bir durum olduğuna dikkat ediniz ve bu

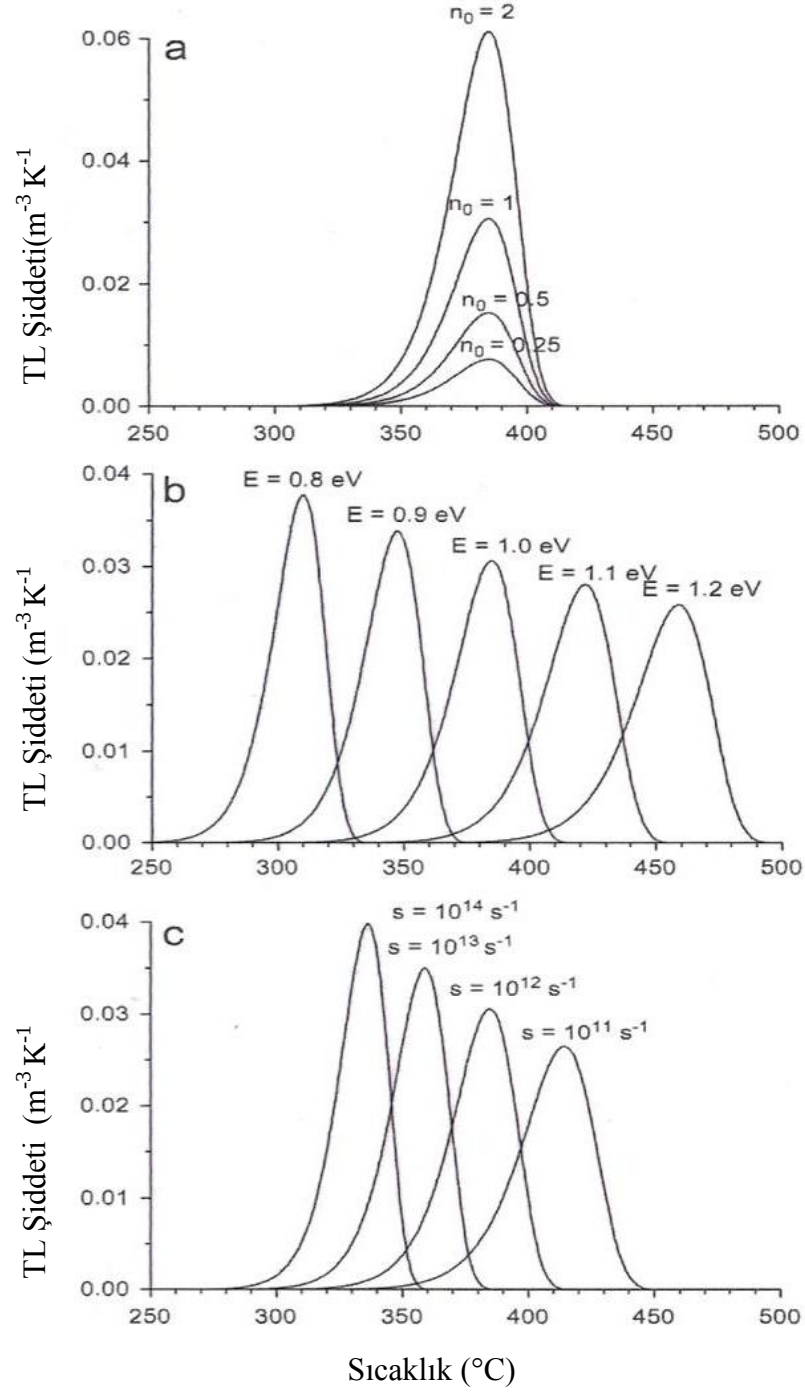
yüzden tepenin başlangıcında doğru olabildiği zaman, bunun daha sonraki basamaklarda ilerledikçe doğru olmaması olasılığı bulunur. Bu “yeniden tuzaklanma” şartları altında GOT denklemi,

$$I_{TL} = n \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) \quad (3.26)$$

olur. Denklem 3.23’ten ayrıca  $-dn/dt \propto n$  olduğunu görürüz ve bu yüzden bu birinci derece tepkimesidir.  $\beta = dT/dt$  sabit ısıtma oranını kullanarak  $t=0$ ’dan  $t$ ’ye integre etmek  $I(T)_{TL}$  fonksiyonu için Randall-Wilkins birinci-derece denklemini verir, yani

$$I_{TL} = n_0 \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) \exp\left\{-\left(\frac{s}{\beta}\right) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E_t}{k\theta}\right) d\theta\right\} \quad (3.27)$$

Burada  $n_0$ ,  $n$ ’nin  $t=0$ ’daki değeridir ve  $\theta$  sıcaklığı gösteren iki değerli bir değişkendir. Fonksiyonun özellikleri (a) sabit  $E_t$  ve  $\beta$  için,  $n_0$  ile değişimleri, (b) sabit  $n_0$  ve  $\beta$  için,  $E_t$  ile değişimleri, (c) sabit  $E_t$  ve  $n_0$  için,  $\beta$  ile değişimleri, şekil 3.16’da gösteriliyor. Şekil 3.16 (a)’da  $\beta$  ısıtma oranı 1.0 K/s,  $s = 10^{12} s^{-1}$  ve  $E = 1.0$  eV’tur. Tepe yüksekliği  $n_0$  parametresi 2’den 8’e kadar keyfi birimlerle değişirken bu parametreyle birlikte değişir (Bu şekildeki tüm çizimlerde tepe yüksekliği, yüksekliğe 1 yoğunluk birimi verilerek ve  $n_0 = 1$  derişim birimi için normalize edilmiştir.). Tepe yüksekliği (direk olarak bölge ile orantılı)  $n_0$  ile ölçülürken, tepe konumunun sabit olduğuna dikkat edilmelidir. Bu tüm birinci derece TL eğrilerinin en önemli karakteristiğidir. Diğer karakteristik özelliği tepenin asimetrisidir, bu düşük sıcaklık bölgesinde yüksek sıcaklık bölgesine göre genişler. Şekil 3.16 (b)’de 1.0’da  $n_0$  sabit tutulur ve  $E_t$  0.8 eV’tan 1.2 eV’a değişir. Burada tepenin,  $E_t$  artarken, yükseklikteki azalma ve genişlikteki (bölgeyi sabit tutarak) artmayla birlikte, yüksek sıcaklıklara kaymasına dikkat edilmelidir. Şekil 3.16 (c)’de tepe biçimindeki ve ısıtma oranı  $\beta$ ’nın fonksiyonu olarak konumdaki değişimi görürüz.  $\beta$  artarken (0.25’teen 4.0 K/s’ye), tepe daha yüksek sıcaklıklara kayar ve tepenin boyutu artar. Tepe bölgesinin (sıcaklık eksenini üzerinde)  $\beta$  ile ölçüldüğüne dikkat edin, fakat zamanın fonksiyonu olarak çizilirse sıcaklık oranı değişirken bölge aynı kalacaktır.



**Şekil 3.16.** Randall-Wilkins birinci-derece TL denkleminin özellikleri (a)  $n_0$  ile değişimi (b)  $E_t$  ile değişimi (c)  $\beta$  ile değişimi gösteriyor.

## 3.4.4. İkinci Derece Kinetik (Hızlı Yeniden Tuzaklanma)

Garlick ve Gibson  $m\sigma_{mn} \ll (N-n)\sigma_n$  yoluyla yeniden tuzaklanmanın baskın olduğu alternatif bir olasılığı göz önüne aldılar.  $N \gg n$  ve  $n=m$  ile birlikte GOT ifadesine bu eşitsizliği uygulayarak

$$I_{TL} = -\frac{dn}{dt} s \left( \frac{\sigma_n}{N\sigma_{mn}} \right) n^2 \exp \left( -\frac{E_t}{kT} \right) \quad (3.28)$$

Birinci-derece durumuna karşıt olarak  $m\sigma_{mn} \ll (N-n)\sigma_n$  eşitsizliği şayet başlangıçta sabit ise, TL piki boyunca sabit kalacaktır. Şu anda  $dn/dt \propto n^2$  olduğuna dikkat ediniz ve bu yüzden bu ikinci-derece reaksiyonu gösterir.  $\alpha_N = \alpha_{MN}$  olan ilave varsayımlarla denklem 3.28'in integrasyonu,

$$I_{TL} = \left( \frac{n_0^2}{N} \right) s \exp \left\{ -\frac{E_t}{kT} \right\} \left[ 1 + \left( \frac{n_0 s}{\beta N} \right) \int_{T_0}^T \exp \left( -\frac{E_t}{k\theta} \right) d\theta \right]^{-2} \quad (3.29)$$

Burada tüm terimler kendi önceki değerlerini koruyor. Bu ikinci derece kinetikler için Garlick-Gibson TL denklemidir.  $n=m$  olduğu süreçte  $\sigma_n = \sigma_{mn}$  varsayımı kullanılarak 3.24 denkleminde de direk olarak bu denkleme ulaşılabilir.

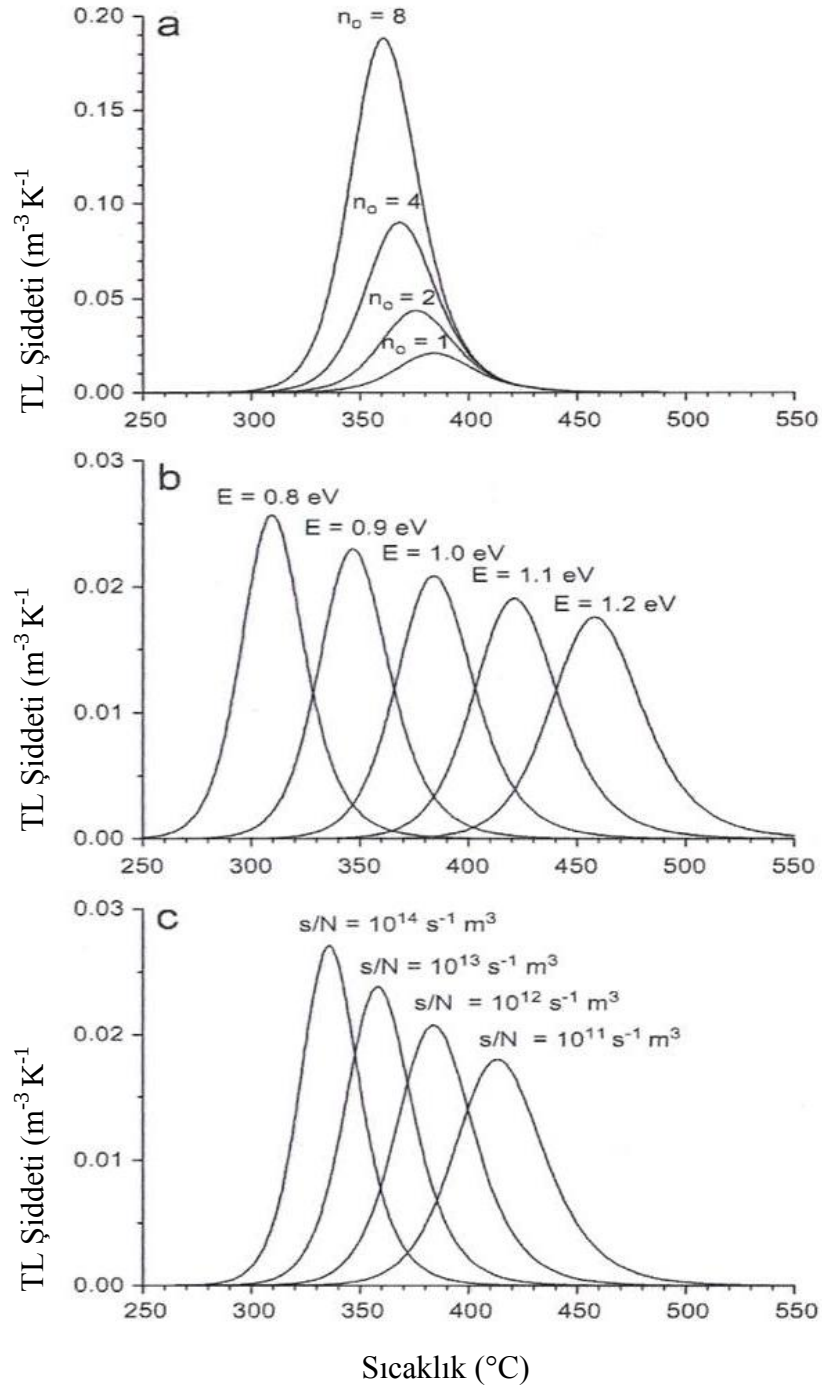
Denklem 3.29'un özellikleri şekil 3.17'de gösteriliyor. Şekil 3.17 (a)'da tepelerdeki değişimi sabit  $E_t$  ve  $\beta$  için  $n_0$ 'ın fonksiyonu olarak görebiliriz. Garlick-Gibson ikinci-derece TL pikinin davranışının birinci-derece Randall-Wilkins tepesiyle karşılaştırılması sonucu, ikisi arasındaki bariz farklar, tepenin hemen hemen  $n_0$  ile orantılı olarak büyümesidir-ve  $n_0$  artarken daha düşük sıcaklıklara kaymasıdır. Bu yeniden aşağıdaki gibi biçimlendirilen Denklem 3.29'un incelenmesinden anlaşılabilir.

$$I_{TL} = n_0^2 s' \exp \left( -\frac{E_t}{kT} \right) \left[ 1 + \frac{n_0 s'}{\beta} \int_{T_0}^T \exp \left( -\frac{E_t}{k\theta} \right) d\theta \right]^{-2} \quad (3.30)$$

Burada  $s' = s/N$  (ya da  $\sigma_n \neq \sigma_{mn}$  ise  $s' = s\sigma_n/N\sigma_{mn}$  "etkin" ilk-deneysel faktör ( $s^{-1}m^3$  birimlerinde) olarak tanımlandı. Denklem 3.30  $n_0 s'$  ile yer değiştirilerek  $s^n$  ile de yazılabilir, burada  $s^n$  ( $s^{-1}$  birimlerinde) birinci-derece durumunda  $s$ 'ye (birimsellikte) eşittir. Çünkü TL tepesinin konumunun  $E_t$  ve  $s$ 'nin (ya da  $s^n$ ) her ikisine birden bağlı olduğu görülebilir, ikinci derece tepe için  $n_0$

artarken  $s^n$  de artar, bu sırasıyla TL tepesinin düşük sıcaklıklara değişmesine sebep olur. İkinci-derece TL tepesinin ek karakteristikleri birinci-derece tepeden daha geniş ve daha simetrik olmasıdır. Bu ikinci-derece kinetiğin reaksiyonları göz önüne alınmasıyla anlaşılabilir, tekrar yeniden birleşmeden önce serbest elektronların kayda değer konsantrasyonları yeniden tuzaklanırlar böylece, lüminesans yayımında gecikmeye ve daha yüksek sıcaklık oranları civarında yayımın dağılmasına neden olurlar. Yüksek sıcaklık bölgesinde sıcaklıkla birlikte TL bozunumu birinci-derece tepesi için  $\exp[-(\alpha'/\beta) \int_{T_0}^T \exp(-E_t/k\theta) d\theta]$  şeklindeyken ve ikinci-derece tepesi için  $[c + (d/\beta) \int_{T_0}^T \exp(-E_t/k\theta) d\theta]^{-2}$  şeklindeyken, birinci-derece ve ikinci-derece tepelerinin her ikisinin de düşük sıcaklık bölgesinde  $-E_t/kT$  fonksiyonuyla tanımlandığına dikkat edin (burada  $a$ ,  $\alpha'$ ,  $c$  ve  $d$  sabitlerdir).

Şekil 3.17 (b) ve (c) sırasıyla  $E_t$  ve  $\beta$  'nın fonksiyonu olarak ikinci-derece pikinin büyüklüğü ve konumundaki değişimi gösterir. Sapma küçük olmasına rağmen, tepe yüksekliğinin tepe bölgesiyle artık direk olarak orantılı olduğuna dikkat edin (Chen ve McKeever, 1997).



**Şekil 3.17.** Garlick-Gibson ikinci-derece TL denkleminin a)  $n_0$  ile değişimi b)  $E_k$  ile değişimi c)  $\beta$  ile değişimi görülmektedir. Şekiller,  $\beta = 1 \text{ K/s}$ ,  $E_t = 1 \text{ eV}$  ve  $n_0 = N = 1$  alınarak elde edilen TL şiddeti birimi olarak normalize edilmiştir.

## 3.4.5. Genel Derece Kinetikler

TL denkleminin Randall-Wilkins ve Garlick-Gibson formları yeniden tuzaklanma ve yeniden birleşme özelliklerinin görelî büyüklükleriyle ilgili olan belirli varsayımların kullanımıyla elde edilmiştir. 3.26 ve 3.27 denklemlerinden belirli bir şekilde üretilen ifade şeklini göz önüne alarak, May ve Partridge genel-derece TL kinetikleri için deneysel bir ifade yazdılar. Yani,

$$I_{TL} = n^b s' \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) \quad (3.31)$$

Burada  $s'$ ,  $m^{3(b-1)} s^{-1}$  boyutlarındadır ve b genel-derece parametresi olarak tanımlanmıştır ve mutlaka 1 ve 2 değildir.  $b \neq 1$  için 1 ve 2'nin integre edilmesi

$$I_{TL} = s^n n_0 \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) \left[1 + ((b-1) \frac{s^n}{\beta}) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E_t}{k\theta}\right) d\theta\right]^{-\frac{b}{b-1}} \quad (3.31)$$

verir. Burada  $s^n = s' n_0^{(b-1)}$  'dir. May ve Partridge yukarda kullanılan eşitsizliklerin uygulanamadığı durumlara bunu uygulamak için bu ifadeyi geliştirdiler. Gerçekte N, n, m,  $\sigma_{mn}$  ve  $\sigma_n$  için birçok değerin kombinasyonu kolaylıkla tasavvur edilebilir, bunlar için birinci-ya da-ikinci derece varsayımlar geçersiz olabilir, özellikle bu parametrelerin her birinin sıcaklığa bağlı olduğu hatırlanırsa geçerli olan Randall-Wilkins ya da Garlick-Gibson ifadeleri için ilgilenilen tüm sıcaklık oranlarına karşı uygulamak için bu terimlerin görelî büyüklükleri ile ilgili sınırlamalara gerek duyulur.

Genel derece TL denkleminin deneysel gelişimindeki zorluk  $s'$  parametresinin anlamında yatar, bunun boyutları kinetik dereceleriyle değişir. Bu problemin üstesinden gelmek için Rasheedy denklem 3.31'i aşağıdaki şekildeki gibi yeniden düzenlemeyi önerdi, böylece

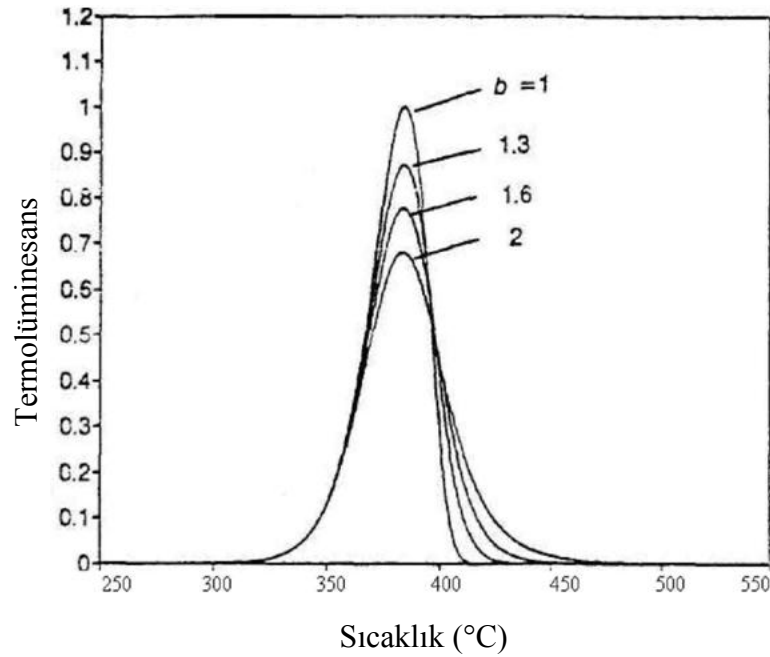
$$I_{TL} = -\frac{dn}{dt} = \left(\frac{n^b}{N^{b-1}}\right) s \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) \quad (3.32)$$

ifadesi elde edildi. Bu sırasıyla b=1 ve b=2 ile şüphesiz birinci ve ikinci derece formlara azaltılır. İntegrasyon

$$I_{TL} = n_0^b s \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) N^{(1-b)} \left[1 + \frac{s(b-1)(n_0/N)^{(b-1)}}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E_t}{k\theta}\right) d\theta\right]^{-\frac{b}{b-1}} \quad (3.33)$$

Bu ikisinin deneysel ifade olduğu vurgulanmalıdır fakat değişiklik böylelikle  $s'$ 'nin anlamını yorumlama zorluğunu ortadan kaldırır. Ne denklem 3.31'in ne de denklem 3.33'ün  $b=1$  için geçerli olmadığına dikkat edin fakat her ikisi de  $b=1$  için Randall-Wilkins denkleminde (denklem 3.27) indirgenir.

$\beta=1.3$  ve  $b=1.6$ 'yı kullanarak üretilen TL tepeleri Şekil 3.18'deki birinci ve ikinci derece TL tepeleriyle karşılaştırılıyor. Orta-dereceli tepelerin iki uçdeğerinin her birini bazı karakterlerini devam ettirdiği görülebilir.



**Şekil 3.18.** Birinci derece ( $b=1$ ), ikinci derece ( $b=2$ ) ve ara derece ( $b=1.3$  ve  $b=1.6$ ) kinetiklerinin karşılaştırılması  $E_t = 1 \text{ eV}$ ,  $n_0 = N = 1$  konsantrasyon birimi ve  $\beta = 1 \text{ K/s}$  kullanılarak TL tepeleri. Birinci derece tepe için şekiller 1 yoğunluk birimine normalize edilmiştir.

Son olarak May ve Partridge denklemindeki  $s'$ 'nin anlamı ve kinetik-derecesi parametresi  $b$ 'nin yorumlanması sorusu, tek bir aktivasyon enerjisi durumunu, birinci-derece kinetiklerini ve frekans faktörü  $s$ 'deki dağılımı (örneğin  $n(s)$ ) göz önüne alan Christodoulides tarafından çalışıldı. Şayet  $s$ 'de bir (gerçekte  $\ln(s)$ 'de)  $\Gamma$ -dağılım fonksiyonu varsayılırsa ve birinci derece kinetikler durumunda buna

uygulanırsa “genel-derece” denklemi- örneğin denklem 3.33 elde edilebilir. Bu açıklamayla  $s'$  ve  $b$ ,  $s$  içim olan dağılım fonksiyonlarının karakteristik parametreleridir (Chen ve McKeever, 1997).

### 3.5. Termolüminesans Modelleri

Süreye bağlı olarak lüminesans-floresans ayrılabilir. Ayırma çizgisi gaz halindeki uyarılmış atomun ömrü olan yaklaşık  $10^{-8}$ s'dir. Fosforesans ve termolüminesans tek ve aynı yönleme bağlıdır, tek fark ışımanın gözlemlendiği zaman süresince yayım yapan maddenin sırasıyla sabit ve artan sıcaklığı olmasıdır.

Genel olarak konuşursak, ana örgüde termal olarak meydana gelen safsızlık belirtilerinin ve yapısal kusurların varlığı (aktivatör) lüminesansa neden olan, radyoaktif yeniden birleşme aracılığıyla maddenin yasak aralığındaki farklı enerji seviyelerini oluşturur. Bu kusurlar "lüminesans merkezleri" adını alır. Boş örgü yerlerinin ya da diğer safsızlıkların, örgü kusurlarının ve/ya da ana örgüde işgal edilmemiş seviyeleri (tuzaklar) sağlayan düzensizliklerin varlığı lüminesans merkezleriyle radyoaktif birleşmeden önce yük taşıyıcılarını (elektronlar/holler) engelleyerek (tuzaklanmayı) lüminesansı (fosforesans) geciktirir (Vij, 1998).

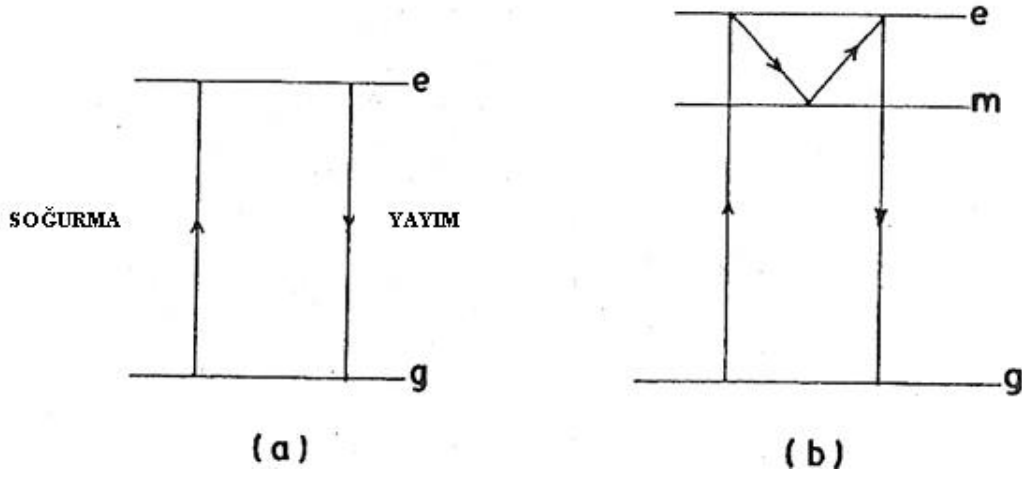
#### 3.5.1. Jablonski Modeli

Jablonski modeline göre (1935), katının lüminesans merkezleri (yayım sistemi) onların uyarılmış seviyeleri  $e'$ 'ye radyasyondan soğurulan enerjiyle (bunlar ultraviyole, görünür, x-ışınları, gama ışınları, ağır iyonlar, kozmik ışınlar vs. olabilir.) yükseltilir. Temel seviye  $g'$ 'ye geri dönme floresans adı verilen ışık yayımıyla meydana gelir. (Şekil 3.19.a'ya bakınız.) Uyarılmış seviyedeki sistem yarıkararlı seviyeye (tuzak olarak da adlandırılır) de geçiş yapabilir. Burada yeterli enerji  $E$  alıp (hem termal hem optiksel) tekrar  $e'$ 'ye dönünceye kadar burada kalabilir ve sonuç olarak fosforesanstan (gecikmiş yayım) dolayı temel seviye  $g'$ 'ye geri gidebilir. Floresans sıcaklığa bağlıyken fosforesans değildir. Fosforesans yayımı yarıkararlı tuzaklanmış seviyede harcanan zamana eşit olan  $\tau$  zamanında

durdurulabilir. Sistemi m seviyesinden e seviyesine yükseltmek için gerekli olan enerji E'nin termal olduğu durumda aşağıdaki bağıntı geçerli olur.

$$\frac{I}{\tau} = s \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \quad (3.34)$$

Burada s bir sabit, k Boltzmann sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. Bu durumda  $\tau \geq t$ 'dir. Burada t uyarılmış seviyede harcanan zamandır ve yaklaşık  $10^{-8}$  s'ye eşittir.



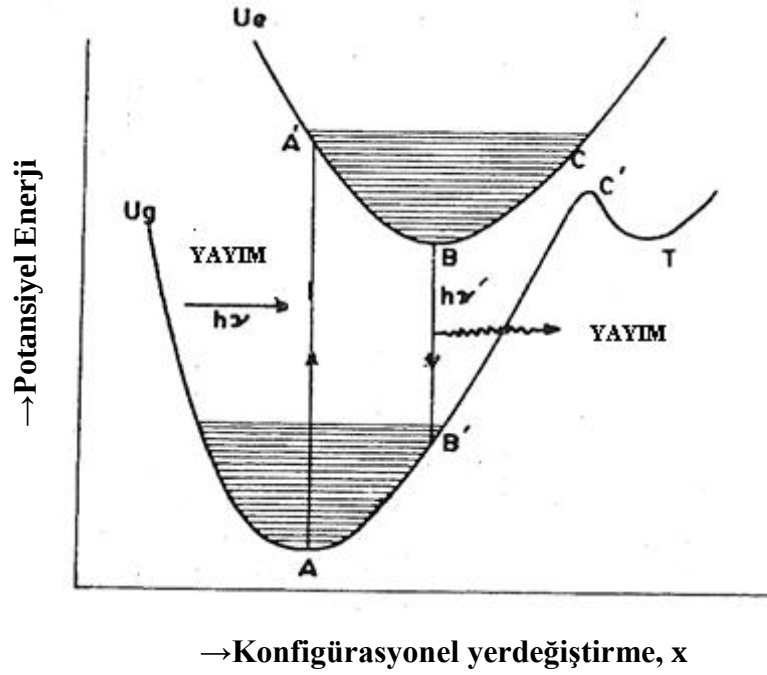
Şekil 3.19. a) Floresans b) Fosforesans için Jablonski modeli.

### 3.5.2. Konfigürasyonel-Koordinat Modeli

Konfigürasyonel-koordinat (CC) modeli ilk kez Hippel (1936) tarafından önerildi ve lüminesansın tanımında Seitz (1939) tarafından uygulandı. Şekil 3.20'deki eğri safsızlık atomu ve en yakın komşusu arasındaki uzaklığın fonksiyonu olarak lüminesans merkezinin potansiyel enerjisini gösterir. Örneğin  $Tl^{+}$  iyonunun  $K^{+}$  nın yerini aldığı,  $Tl^{+}$  iyonunun altı komşu  $Cl^{-}$  iyonu tarafından çevrelendiği KCl:Tl fosforlarında,  $Tl^{+}$  iyonuyla etkileşen  $Cl^{-}$  iyonu tarafından zayıflatılan bu sistem seviyesi konfigürasyonel koordinat adı verilen uzaklıkla nitelendirilebilir. Konfigürasyon diyagramı  $Tl^{+}$  sisteminin  $U(x)$  potansiyel enerjisini ve x koordinatının fonksiyonu olarak örgüyü tanımlar. İki eğri (Şekil 3.20)  $Tl^{+}$

iyonlarının temel seviye  $U_g(^1S_0)$  ve uyarılmış seviyesi  $U_e(^3P_1)$ 'dir. (Curie, 1960).

Organik moleküller için yayım merkezinin temel ve uyarılmış seviyelerindeki titreşim seviyelerini göstermek amacıyla eğrilerde titreşim seviyeleri belirtiliyor.



**Şekil 3.20.** Yarıiletkenlerdeki/yalıtkanlardaki safsızlık atomları için konfigürasyonel koordinat diyagramı

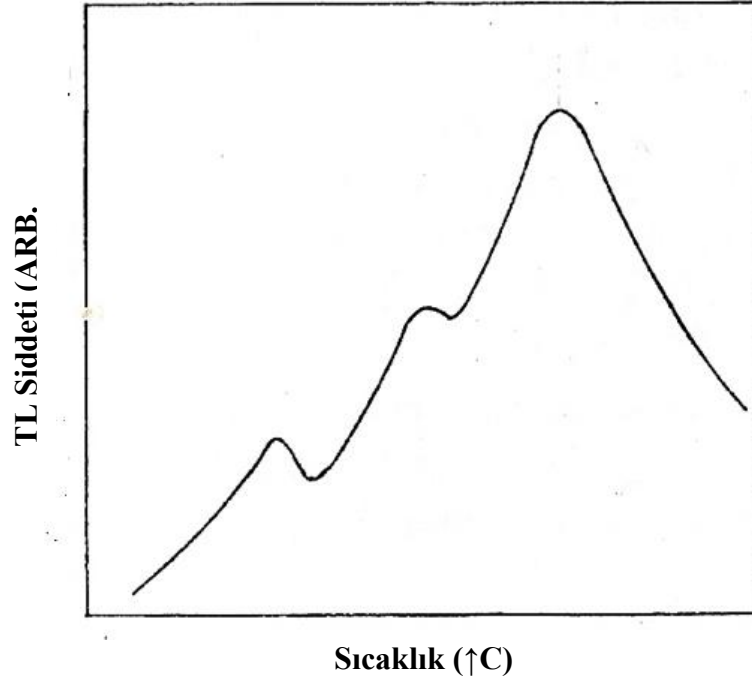
Işınlama/uyarma (enerjinin soğurulması) süresince merkez  $U_e$  uyarılmış seviyesine yükseltilecektir (AA' geçişi). Burada sistem daha yüksek titreşim seviyesinde olacaktır ve bu yüzden örgüye ısı şeklinde fazla enerjiyi dağıtarak kararlı yapı B'ye döner. BB' geçişi boyunca merkez ışık yayacaktır ve tekrar kendi temel seviyesi  $U_g$ 'de olacaktır. Temel seviyede hala daha yüksek titreşim seviyesinde olan merkez daha fazla radyoaktif olmayan enerji kaybıyla A minimum enerji pozisyonuna gelecektir. Stokes kanunuyla açıklanan bu durum (örneğin, yüksek dalgaboylu soğurma bölgesine yakın meydana gelen yayım) da bu modelle açıklanabilir. Uyarılmış merkez de CC' boyunca T'de tuzaklanabilir. Burada belli bir  $\tau$  süresinde kalıp C'C'den geçerek uyarılmış seviyeye, ışık yayarak BB' 'ye geçerek buradan kaçabilir.

T'den C'C yoluyla uyarılmış seviyeye merkezin tekrar atlaması her bir birim zamanda aşağıda gösterilen p'den kaçış olasılığına dayanmaktadır.

$$p = 1/\tau = \exp(-E/kT) \quad (3.35)$$

s saniyenin tersi (1/ saniye) boyutuna sahip olan frekans faktörüdür ve E tuzaktan uyarılmış seviyeye ulaşması için merkezin yayımında gerekli olan enerjidir. Yayım (fosforesans) taşıyıcının tuzakta harcadığı  $\tau$  zamanına bağlı olan zaman süresince geciktirilir. Derin tuzaklarda oda sıcaklığındaki ısıtma enerjisi merkezi uyarılmış seviyeye yükseltmek için yeterli olmayabilir. Burada ışınlama bittikten sonra lüminesans maddenin (fosforun) ısıtılması taşıyıcının tuzakta harcadığı  $\tau$  zamanına bağlı olan zaman süresince geciktirilir. Derin tuzaklarda oda sıcaklığındaki ısıtma enerjisi merkezi uyarılmış seviyeye yükseltmek için yeterli olmayabilir. Burada ışınlama bittikten sonra lüminesans maddenin (fosforun) ısıtılması BB' geçişi yoluyla (Şekil 3.20) yayıma yol açarak C'C güzergahı vasıtasıyla tuzaklanmış merkezi arttıracaktır. Bu TL adı verilen ısıtma süresince yayımdır ve sıcaklığa karşı lüminesans yoğunluğunun grafiği ısıtma eğrisidir. (Şekil 3.21)

Soğurulan enerjinin sönümü ya da radyoaktif olmayan yayımı bu modelle de açıklanabilir. (Dexter et al, 1955) Merkez radyasyonsuz enerji vererek, soğurulan enerjiyi kristal örgüsüne titreşim enerjisi olarak transfer ederek CC'B'A yoluyla temel seviyeye dönebilir. Williams (1955) soğurma ve yayım spektrometresini, bozunum sabitlerini, bunlara ek olarak onların geniş oranda sıcaklığa bağlılığını ölçerek lüminesans merkezleri için CC' eğrilerini başarılı bir şekilde belirledi.



**Şekil 3.21:** Işıma eğrisinin şematik gösterimi

### 3.5.3. Enerji Band Modeli

Enerji band modeline göre ısı muameleleriyle ana maddenin örgülerinde ortaya çıkarılan katılardaki liminesanstan sorumlu olan yabancı safsızlıkların ve kusurların varlığı yasak enerji aralığındaki ayırık enerjiyi oluşturuyor olarak (verici/alıcı seviyeler) farz edilebilir. Diğer safsızlıklar ve boş örgü yerlerinin ya da diğer yapısal örgü kusurlarının varlığı, lüminesans merkezleriyle yeniden birleşmeden önce yük taşıyıcılarını geciktirme kapasitesine sahip olan, böylelikle lüminesansı erteleyen (örneğin; fosforesans) işgal edilmemiş enerji seviyeleri (tuzak olarak adlandırılır.) verirler. Bu tuzaklar hol tuzakları ya da elektron tuzakları (tuzaklanmış taşıyıcıların holler ya da elektronlar olup olmadığına bağlı olarak) olarak gösterilirler.

Basitleştirilmiş enerji band modelinin şematik bir gösterimi Şekil 3.22’de gösteriliyor. Işınlama süresince, şayet lüminesans merkezi C iletkenlik bandına gitmeden kendi C’ uyarılmış seviyesine yükseltirirse temel seviyeye dönerken floresans (1 ve 2 geçişi sırasıyla soğurma ve yayım içindir.) yayınlar. Diğer taraftan,



tuzaklarından serbest bırakılacaklardır ve TL'den dolayı lüminesans merkezleriyle birleşebileceklerdir. TL yayımının yoğunluğu sıcaklık yükseltilirken artar, (yük taşıyıcıları olarak tuzaklarından kaçmaya başlar.) maksimuma ulaşır, tuzaklar boşaltılırken azalmaya başlar ve tüm tuzaklar boşken sıfıra düşer. Işıma eğrisinin maksimum gösterdiği sıcaklık (Şekil 3.21'e bakınız.) sırasıyla C-bandının/V-bandının sınırının aşağısıyla/yukarısıyla ilgilidir. Işıma eğrisinin altındaki alan dolu tuzakların sayısı ve bu yüzden başlangıçta maddenin maruz kaldığı radyasyon miktarıyla orantılıdır.

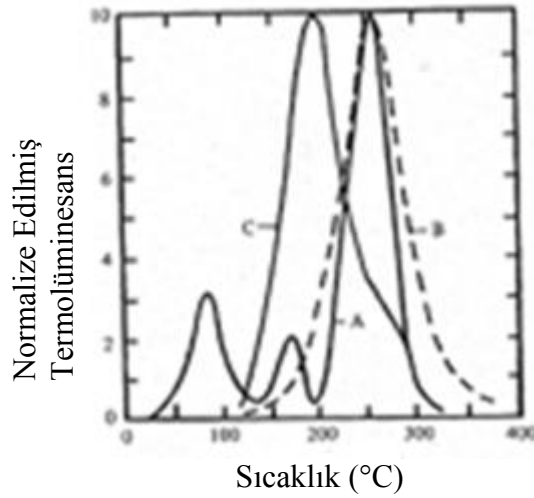
Işıma eğrisindeki tek bir maksimum C-bandının sınırının aşağısındaki (elektron tuzakları) ya da V-bandının yukarısındaki (hol tuzakları) sabit bir E enerjisinde bulunan tuzaklanma seviyelerini bildirir. TL eğrisindeki birden fazla maksimum tuzakların ayrı guruplarda, farklı derinliklerde dağıldığını ortaya çıkarır. Her bir maksimum tuzaklanma seviyelerinin belirli bir gurubunu gösterir. Tuzak derinliği maksimum TL'in meydana geldiği sıcaklık bilgisinden hesaplanabilir. İyonlaştırıcı radyasyon kullanmanın bir sonucu olarak ve yüksek etkinlikte fotonlar belirlenmesinin bir sonucu olarak, TL olayı radyasyon dozlarını gözlemlenmede duyarlı bir teknik oluşturur.

TL ile eş zamanlı olarak meydana gelen iletkenlik olayını incelemek amacıyla (Hagebeuk ve Kivits, 1976; McKeever, 1985; Lewandowski et al, 1994; Castiglioni et al, 1994; Bindi et al, 1994; Böhm et al, 1994; Mandowski ve Swiatek, 1994) basit enerji band modelini tanımlamak için ve iletkenlik göstermeyen fakat TL gösteren örnek için (Chen ve Kirsh, 1981; Bräunlich, 1979; Halperin ve Braner, 1960; Hagekyriakou ve Fleming, 1982; ) birçok teorik ve deneysel uygulamalar yapıldı. Gasiot ve Fillard (1977) elektronların termal yayımlanmasına ve onların hollerle yeniden birleşmesine ek olarak tuzaklanmış hollerin termal yayımlanmasının ve bunların tuzaklanmış elektronlarla yeniden birleşmesinin sonucu olarak meydana gelen TL yöntemi için de modeller tanımladılar. TL'e ve fototransfer edilmiş TL (Pradhan et al, 1984, Sunta, 1979) gibi TL ile ilgili olaylara uygulanabilen, yarışan-tuzak modeli (competing-trap model) (Maybugh et al, 1968; Fain et al, 1994), iz etkileşimi modeli (track-interaction model) (Claffey et al, 1968), dipol modeli (Grant

ve Cameron, 1966) Mayhugh modeli (1970) ve z-merkezi modeli (Nink ve Kos, 1980) gibi diğer modeller değişik maddeler için önerilmiştir.

4.  $\text{CaF}_2$ 'NİN TERMOLÜMİNESANSI

$\text{CaF}_2$ 'nin önemli bir avantajı doğal olarak meydana gelmesi /florit minerali olarak) ve bu yüzden gelişmekte olan ülkelerde ucuz bir şekilde elde edilebilmesidir. Bu şu an sürdürülmemesine rağmen kullanılan standart bir doğal florit MBLE, Belçika, tarafından pazarlandı. Doğal floriti kullanmanın başlıca bir problemi ışıma-eğrisinin karmaşıklığıdır. (Schayes et al, 1967) Bu doğal mineral genelde nadir topraklar olarak gözlenen birçok aktivatör içerir. (Becker et al, 1973, Sunta 1979) Kalsiyum florit katkılanmış sentetik nadir toprak dedektörleri Binder & Cameron (1969,  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ ) ve Lucas & Kaspur (1977,  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ ) tarafından ortaya çıkartıldı Ginther & Kirk (1957)  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ 'yi oluşturdu. MBLE floriti,  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$  ve  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$  Şekil 4.1'de gösteriliyor.



**Şekil 4.1.** MBLE  $\text{CaF}_2$ 'nin (doğal) normalize edilmiş ışıma eğrileri; B,  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$  (Fowler& Attix, 1966)C,  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$  (115°C:'de 10 dakika tavlandıktan sonra ışınlanan, McCurdy, Schaiger & Flack, 1969)

$\text{CaF}_2$ 'deki ışıma tepelerinin soldurulması (fading,), E ve s hesaplamalarındaki tahmin edilen yarı-ömürlerini göz önüne alarak şaşırtıcı bir şekilde yüksektir (Adam & Katriel, 1971) ve birçok soldurma oranları rapor edilmiştir. Alkali halojenürlerde izotermal tavlama süresince meydana gelen yöntemler göz önüne alınarak  $\text{CaF}_2$ 'deki

termolüminesansı etkilemek için de gözlenmiş olan (Bangert et al, 1982b) safsızlık kümelerini anımsamak yararlıdır.

$\text{CaF}_2$  ile ilgili sık sık olan bir problem depolama periyotları süresince fosfordaki kaydadeğer cevabın oluşturulmasıdır. Bu muhtemelen kendi dozundan dolayıdır. (Brinck et al, 1977; Nambi, 1982)

$\text{CaF}_2$ 'nin ultraviyole cevabı, aynı işlem iyonlaştırıcı radyasyon için duyarlılığı kaydadeğer bir şekilde azaltırken,  $900^\circ\text{C}$ 'de tavlayarak yedi kat azaltılabilir. Pradhan & Bhatt (1983) bunu daha fazla incelediler ve yüzey oksidasyonu için arttırılan ultraviyole duyarlılığını anlattılar ve  $\gamma$ -cevabındaki azalmanın ışınlamadan önce nadir toprak safsızlıklarının yük konumunun azalmasıyla ilgili olabileceğini düşündüler. Nadir toprak-katkılı  $\text{CaF}_2$ 'deki termolüminesans üretiminin ışınlama süresince  $RE^{3+} + e^- \rightarrow RE^{2+}$  ve ısıtma süresince  $RE^{3+} + h^+ \rightarrow RE^{2+*}$  biçimindeki bir denklemi içerdiğine inanılır. Burada  $RE^{2+*}$  lüminesans yayımıyla temel seviyeye bozulan uyarılmış seviyedir.

$\text{CaF}_2$  kübik kristal yapısıyla florit olarak mineral formdadır ve Mn gibi iki değerlikli metal iyonlarının geçişine ve Sn, Ce, Th, Tm ve Dy gibi nadir-toprak iyonlarına bağlanabilen radyasyonun neden olduğu güçlü bir TL gösterir. Dozmetre için TL fosfor olarak ilk kez Schayes et al (1967) tarafından geliştirilen saf  $\text{CaF}_2$  kristallerinde TL'in her zaman ticari olarak uygun kristallerde bulunan zerre safsızlığı (trace impurity) olduğuna inanılıyor.

Nadir toprak safsızlıklarıyla katkılanan  $\text{CaF}_2$ 'nin tek kristalleri geçmişte yatay büyümeyle, kristal çekimiyle ve Stockburger metodlarıyla meydana getirilmiştir (Guggenheim, 1963). Bangert et al (1982) Ce, Dy ve Mn iyon katkılı  $\text{CaF}_2$  elde etti. Mathur (1993) HF (250 ml su, 25 ml 48%'lik HF) ile  $\text{CaCO}_3$ 'ü reaksiyona sokarak  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$  hazırladı. Çökeltilmiş- $\text{CaF}_2$  süzülerek yıkandı ve herhangi bir hidrolizden kaçınmak için düşük sıcaklıkta vakumda kurutuldu. Mn,  $\text{MnF}_2$ 'nin  $\text{NH}_4\text{F}$  ile çöktürülmesiyle  $\text{NH}_4\text{MnF}_3$  şeklinde elde edildi. Bu floridler baştan sona kuru-karışımı ve platin kap içerisinde ve saf He ya da Ni soygaz atmosferinde yaklaşık  $1200^\circ\text{C}$ 'de ısıtıldı.

Sentetik  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$  260°C civarında tek bir TL (dozimetrik) tepesi ve 450 nm'den 600 nm'ye kadar uzayan 500 nm maksimumlu TL yayım spektrometresi sergiler. (Cameron et al, 1968, Dekker, 1976) TL tepesinin konumu hem Mn'ye hem de diğer yabancı iyonların varlığına bağlıdır. Doğal  $\text{CaF}_2$  yaklaşık 70-180°C ve 150-190°C arasında ikiden fazla ışıma eğrisi gösterir (Schulman et al, 1960).  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$  (TLD-200) 120, 140, 200, 240, 340 ve 400°C'de altı ışıma tepesi sergiler, bunlar 460, 484 ve 577 nm'de keskin yayım bandları gösterirler (Binder ve Cameron, 1969). TL spektral yayımı belirli nadir-toprak safsızlıklarının bir karakteristiği olmasına rağmen, nadir toprak safsızlıklarıyla katkılanan  $\text{CaF}_2$  durumunda TL tepe konumunun nadir-toprak iyonlarından bağımsız olduğu bulunurken (Upadeo et al., 1994; Holgate et al, 1994), Dubourg et al (1989) dozimetrik tepayı oksijenle bağlı  $\text{Ce}^{3+}$ 'ya atfetti.

Hem 450°C'ye kadar okunan hem de 450°C'de 1 saat tavlanan  $\text{CaF}_2$  fosforları, kaynak fosforlar olarak göz önüne alınabilir ve duyarlılıkları değiştirilmez (Chandra et al, 1981). Duyarlılık üzerine sıcaklık muamelesinin etkileri ve ultraviyole ve iyonlaştırıcı radyasyon için  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$  (TLD-200) 'ün TL yayımı Bassi et al, (1977) ve Pradhan ve Bhatt (1981) tarafından gözlemlendi; 450°C'de 30 dakika tavlamaı takip eden  $\gamma$ -ışını ışınlaması (~1000 Gy) TL duyarlılığında artışla sonuçlanır.  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$  de nemli havada yüksek sıcaklıkta (~900°C) tavlandıktan sonra ultraviyoleye-duyarlı hale gelir (Bassi et al, 1977). Yaklaşık 260°C'deki dozimetrik tepe düşük sıcaklıklı tepeler 100°C'de 15 dakika tavlандığı zaman ihmal edilebilir soldurmalar (fading) sergiler (ilk 16 saatte 6-10%). Doğal  $\text{CaF}_2$  için ana tepenin soldurulması 9 ayda 3%'den daha az olarak bildirilmiştir.

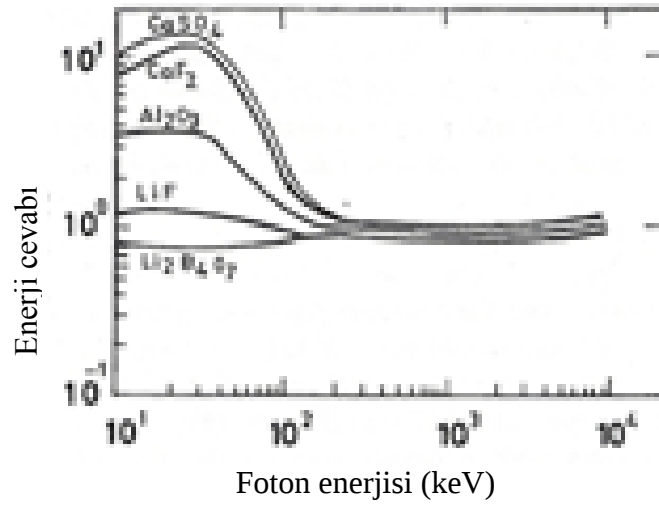
$\text{CaF}_2:\text{Mn}$ 'nin ( $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ışını için) 260°C tepesi için doz cevabı 5mR'den 10 mR'ye kadar olan oranlarda lineerdir, (Marron ve Attix, 1964; Schulman et al, 1960) bundan sonra doz cevabı lineer değildir.  $\text{CaF}_2$  fosforlarında üst lineerlik (supralineerlik) derecesi vardır, bunun büyüklüğü fosfor konfigürasyonuna ve okuma metoduna bağlıdır. Örneğin okuma süresince fosfor tabakası ne kadar inceyse  $10^5\text{R}$ 'nin komşuluğunda görülen üst lineerlik (supralineerlik) daha çok söylenir (Gorbics et al, 1973). Yüksek ışığa maruz kaldıktan sonra  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ 'de hiçbir hasar

etkisi bulunmadı ve  $2 \times 10^6 \text{ R}$  ilk ışığa maruz kalmaya kadar cevap (response) değişmedi (Burgkhardt, et al, 1977). Bu nedenle bu oldukça duyarlı dedektör her iki daha düşük ve daha yüksek doz oranlarında tercihlerden biri olabilir.

$\text{CaF}_2:\text{Mn}$  dokuya eşdeğer madde değildir ( $\text{CaF}_2$  için  $Z_{\text{eff}} = 16.57$ 'dir; doku için  $Z_{\text{eff}} = 7.4$ 'tür) ve enerjiye bağımlı cevap (energy-dependence response) sergiler. Her bir röntgen cevabı 40 keV'de  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ışınlarından yaklaşık 13-kat daha büyüktür, fakat bu yaklaşık oranlardaki enerjilerde ince bir filtre esasen  $^{60}\text{Co}$  cevabından 30%'den fazla farklı olmayan düzgün bir cevap (flat response) üretir (Schulman et al, 1960).  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ 'nin düşük nötron duyarlılığı onun karma alanlarda (n+ $\gamma$ )  $\gamma$ -dozimetresi olarak kullanılmasını mümkün kılar. En azından 10 mR/dk'dan 7000 R'ye kadar hiçbir doz oranı bağımlılığı gözlenmedi. (Schulman et al, 1960).

Doğal  $\text{CaF}_2$ 'de ultraviyole doz ölçümleri için potansiyel bir teknik olarak yararlanılabilen PTTL gösterir (McCullough et al, 1972; Jain, 1984; Sunta, 1979, 1984). Düşük ultraviyolelere maruz kalma için cevap lineerdir ve ışığa maruz kalma süresince örneğin sıcaklığına bağlıdır.

Soğurulan doz optik uyarmalı lüminesans (OSL) olarak bilinen diğer bir teknikle de ölçülebilir, soğuk yöntem olarak adlandırılır, burada önceden ışığa maruz kalan fosfor uygun dalgaboyunda ultraviyole radyasyonla ışınlanır ve TL durumundaki gibi ısıtılmaz. Bu ışınlama taşıyıcıları matrislerde bozunma olmadan tuzaklamaz (Henninger et al, 1982). Soğutulmuş OSL (COSL) adı verilen değiştirilmiş OSL tekniğinde,  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$  fosforundaki TL fosforu oda sıcaklığında  $\gamma$ -ışınlarıyla ışınlayarak ve sıvı nitrojen sıcaklığına soğutarak okutulabilir. Bu fosfor ultraviyole ışınlarına daha çok maruz bırakılır ve daha sonra oda sıcaklığına ısıtılır, ısıtma sırasında yayınlanan ışık  $\gamma$ -dozuyla orantılıdır (Miller et al, 1988).



Şekil 4.2. Çeşitli TLD fosforlarının enerji cevabı

**5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR****5.1. Doğal Floritlerin Termolüminesansı ile İlgili Önceki Çalışmalar**

Sunta (1970) "Gama ile Işınlanmış Doğal Kalsiyum Floritin Termolüminesans Spektrumu" adlı çalışmasında doğal kalsiyum florit kristallerinin termolüminesans ışıma eğrisinin oda sıcaklığı ve 350°C arasında üç farklı ışıma tepesi gösterdiğini gözledi. 200'den 1000 nm'ye kadar oranlarda her bir ışıma tepesi için yayım spektrumunu araştırdı. Bu ışıma tepeleriyle ilgili yayım spektrumu benzerliğinden bunların farklı tuzaklanma bölgelerinden hem hollerin hem de elektronların ayrılmasıyla ilgili olduğu ve serbest kalan taşıyıcıların aynı yayıcı merkezlerle tekrar birleştiği sonucuna vardı. Nadir-toprak safsızlıkları iyonlarında tuzaklanan elektronlarla yeniden birleşen hollerden dolayı olan ışıma tepelerinin onların karakteristik spektrumlarına neden olduğu sonucuna vardı.

Emice ve Shigueo (1972) 10 dakika 580°C'de daha sonra 400°C'de 2 saat tavlanan Brezilya'daki farklı çeşitte yeşil floritleri 365 nm uv ışığına maruz buraktılar. Bu derin tuzaklardan düşük sıcaklıklı tuzaklara transfer edilen TL "I, II ve III" tepelerini içeren ışıma eğrisine yol açmıştı. III ve IV 400°C'ye kadar olan okumalardan dolayıydı. Bu TL cevabı uv'ye maruz kalma zamanı t'nin fonksiyonu olarak ölçüldü ve sonuç doyma (saturation) eğrisi değildi fakat TL eş zamanlı ağartma (bleaching) etkisini gösteren daha büyük t için sıfıra gitme eğilimindeydi. Işığa maruz kalma-okuma döngüsündeki döngü sayısı n ile ilgili TL eğrisi her bir döngüdeki ışığa maruz kalma-farklı süreleri için elde edildi. Büyük n için log (TL)'in düşüş oranı her bir döngüdeki uv. ışınına maruz kalma süresinden bağımsızdı. Gama radyasyonu üzerinde transfer edilmiş TL bağlılığına ek olarak TL üzerinde zaman aralığının ve ön ısıtma sıcaklığının etkisi araştırıldı. Son olarak bir matematik model önerildi.

Brovetto, Delonas, Floris, Mazia, Murgia ve Spano (1989) kalsiyum floritiin X-ışını uyarımlı termolüminesans yayımını sıcaklık ve dalgaboyuna karşı kaydetttiler. Farklı kökene fakat iyi kimyasal saflığa sahip örnekleri muamele etmeden ve 1100 ve 1300°C'de muamele ederek incelediler. Çeşitli termolüminesans modelleri elde

ettiler, fakat 1300°C’de muamele edildikten sonra tüm örnekler pratik olarak aynı modeli gösterdi. Gözlenen yayımın özelliklerini termoluminesans yöntemi için kinetik modellerinin temeli üzerinde kolayca yorumladılar. Elektron tuzaklarının ve luminesans merkezlerinin kaynağı olan örgü kusurlarının varlığı ve doğası ile ilgili bazı bilgiler elde ettiler.

Sobrabi, Abbasia ve Jafarizadeh (1999) İrandaki yedi madenden elde edilen dokuz florit grubunun termoluminesans karakteristiklerini radyasyondan korunma dozimetresi için çalıştılar, bunların ilk sonuçlarını gösterdiler ve tartıştılar. Doğal dozu silmek için başlangıç termal muamelesini 500°C’de 24 saat olarak belirlediler. İki hariç, tüm gruplar yaklaşık 120, 180 ve 270°C’de ( $\beta=3^\circ\text{C}/s$ ) farklı yoğunluklu üç belirgin tepeyle birlikte aynı ışıma eğrisi yapılarını gösterdi. Daha yüksek tepe bölgesi bir madendeki bir grup toz halindeki TLD-100’den 8.7 kez daha büyük bir duyarlılık gösterdi ve 100 Gy’e kadar olan dozla birlikte TLD-200 gibi aynı duyarlılığı gösterdi. İlk gün süresince 15%, 1 ay süresince 17% termal soldurma (fading) elde edildi, her bir aydaki soldurma (fading) 110°C de 20 dakika ışınlamadan sonra elde edildi. Bu fosfor için minimum ölçülebilir doz (MMD)  $18\mu\text{Gymg}^{-1}$  olarak belirlendi.

Balogun, Ojo, Ogundere, Fasasi ve Hussein (1999) Nijerya’nın Orta Benue Vadisi’nden doğal olarak meydana gelen florit ( $\text{CaF}_2$ ) kümesinin termoluminesans (TL) özelliklerini detaylı olarak çalışmıştır. 119, 144 ve 224°C’de  $10^\circ\text{C}/s$  ısıtma oranında TL ışıma eğrileri gözlemlendi. 20.65-123 mGy doz oranı civarında umulduğu gibi TL cevabının artan dozla arttığını gözlediler. Oda sıcaklığında depolamayla ışıma eğrilerinde çeşitli ışıma tepelerinin değişimlerini gözlediler. Daha düşük sıcaklık tepelerinin bozulduğu gözlenirken, dört tepe için, depolandığı zaman 224°C ışıma tepesi için TL sinyalinin artışı gözlemlenmiştir. Düşük seviyeli radyoaktivite ölçümü doğal olarak meydana gelen radyonüklitlerden kendiliğinden olan ışınlamayla ilgili hiçbir kanıt göstermedi. Gözlenen TL cevabında güneş ışığından uzak tutma ve UV ışınlamasına maruz kalma siyahla kaplanmış konteynırda engellendi. Düşük sıcaklıklı ışıma tepelerinde sinyal kaybına rehberlik

eden, mümkün olan güzergah için, depolama süresince büyük kusur komplekslerinin oluşumunu içeren bir plan önerilirdi.

Ogundere, Balogun ve Hussein (2005) "Floritin Termolüminesansı Üzerine Isıtma Oranı Etkileri" adlı çalışmlarında ise termolüminesans (TL) ışıma tepe sıcaklığı, yüksekliği ve Nijerya florit örneklerinin yüksek sıcaklıklı ışıma tepelerinin ‘‘integre edilen TL yoğunlukları’’ (tepeye karşı fonun (background) üzerindeki integre edilen TL yoğunluğu ya da yoğunlukların toplamı) üzerinde farklı ısıtma oranlarının etkisini araştırdılar. Sonuçlar iki tepenin ışıma tepesi sıcaklıklarının ısıtma oranıyla arttığını gösterdi. Işıma-tepesi yüksekliği integre edilen ısıtma oranı aralığında tepe 3 için 10 ve 20°Cs<sup>-1</sup>’de ve tepe 4 için 10 ve 25°Cs<sup>-1</sup>’de iki maksimum gözlemlendi. Isıtma oranıyla birlikte iki tepenin integre edilen TL yoğunluklarının davranışını gruplama ve termal sönüme göre açıkladılar. Sonuçlar tepe 3 için olan termal sönümün tepe 4 için olan termal sönüme göre daha büyük olduğunu gösterdi.

Ogundere, Balogun ve Hussein (2006) termolüminesans ışıma eğrilerinden Tuzak derinliği E, kinetik parametresi b ve frekans faktörü s’nin hesaplanmasını çalıştılar. Metod ışıma eğrisindeki herhangi bir üç nokta için şiddetleri ve sıcaklıkları kullanmaya dayanmaktaydı. Frekans faktörü için hiçbir ifade sağlamayan bezer tekniklerden farklı olarak, şu anki formül her bir ifadeyi sağladı. İfade maksimum şiddetin meydana geldiği sıcaklığı gerektirmemekteydi, parametre genellikle deneysel ışıma eğrisi verisinden kesin olarak bilinmemekteydi. Şiddetlerin, maksimum şiddetlerin 10%’undan daha az olduğu yerlerde ışıma eğrisinin artan kısmındaki noktaların kullanımı doğru değerlere en yakın değerler verdi. Noktalar bölgenin dışında alındığı zaman daha az kesin sonuçlar elde etme sebeplerini tartıştılar. Mevcut teknik kullanılarak hesaplanana aktivasyon enerjisi değerleri doğru değere daima yakındı. Fakat frekans faktörü sadece örneğe verilen doz doyuma (saturation) ulaştığı zaman gerçek değerlere yaklaşıyordu. Üç veri noktası başlangıç-doz bölgesinde seçildiği zaman, E’yi hesaplamak için makalede tanımladıkları metod başlangıç artış metodunun iki nokta versiyonu haline geliyordu. Başlangıç-artışı civarındaki mevcut tekniğin avantajı b ve s’yi de vermesiydi.

Metodu, Ijero Ekiti, Nijerya'dan alınan gama ışınlanmış örneğin TL ışıma eğrisini analiz etmek için kullandılar.

Topaksu ve Yazıcı (2007) " $\beta$ -Işınlamasından Sonra Doğal  $\text{CaF}_2$ 'nin Termolüminesans Özellikleri"adlı çalışmada doğal  $\text{CaF}_2$ 'nin  $\beta$ -ışınlamasından sonra oda sıcaklığında (RT) termolüminesans özelliklerini araştırıldılar. 0.015 Gy ve  $\approx$  2kGy doz seviyeleri arasındaki  $\beta$  ışınlamasından sonra doğal  $\text{CaF}_2$ 'deki termolüminesans (TL) ışıma tepelerini analiz etmek için ilave doz (AD),  $T_m(E_a) - T_{stop}$ , yinelenen başlangıç artışı (RIR) ve bilgisayarlı ters evrişim ışıma eğrisi (CGCD) metodları kullanıldılar. Bu metodları doğal  $\text{CaF}_2$ 'nin termolüminesans (TL) ışıma tepeleriyle ilgili tepelerin sayısına ve kinetik parametrelerine (kinetik dereceleri b, aktivasyon enerjisi  $E_a$ , kaçmaya çalışma frekansı s) karar vermek için kullandılar.  $E_a - T_{stop}$  CGCD metodları bu maddenin ışıma eğrisinin oda sıcaklığı (RT) ve  $400^\circ\text{C}$  arasındaki sıcaklık oranlarında P1-P6 olarak ele alınan en az altı tepenin üst üste binmesi olduğunu gösterdi. Doz değişimi deneyleri doğal  $\text{CaF}_2$ 'nin TL ışıma eğrisinin birinci ve genel derece kinetiklerinin her ikisine birden sahip olduğunu ortaya çıkardı. :Bu maddenin TL tepelerinin radyasyon dozimetresinde çok yararlı olan doz cevapları (dose response) ve soldurma yöntemlerini (fading process) de incelediler. Ek olarak doğal  $\text{CaF}_2$ 'nin dozmetrik ışıma eğrililerinin cevapları üzerinde ısıtma oranlarının (heating rates) etkilerini de çalıştılar. Işıma tepesinin toplam bölgesi ve tüm ışıma tepelerinin tepe şiddetlerinin artan sıcaklık oranıyla sürekli olarak azalıyor olduğunu gözlediler.

### 5.2. Sentetik Floritlerin Termolüminesansı ile İlgili Önceki Çalışmalar

M. Schlesinger ve P. W. Whippley (1967) termolüminesans tekniğini kullanarak  $\text{CaF}_2$ 'deki  $\text{Gd}^{+3}$  enerji-seviyesi şemasını araştırdılar. Çok sayıda çizgiyi farklı bölge spektrometresine bağladılar. Isı muamelesinin yayım spektrometresindeki etkisi ve kristallerin farklı orjinlerini gösterdiler. Örnekler arasındaki spektrum farklılıklarının çeşitli nadir toprak iyon yerlerinin miktarındaki

değişimlerden ileri geldiğini gösterdiler. Miktarı başlıca büyüme şartlarından ve safsızlık konsantrasyonlarından belirlediler.

M. Schlesinger ve P. W. Whippey (1968) termolüminesans ve diğer optiksel tekniklerini kullanarak,  $CaF_2$  kristallerindeki  $Ce^{+3}$ 'ün 4f-5d geçişlerini araştırdılar. Termolüminesans, lüminesans ve soğurma spektrometresi üzerinde ısı muamelesinin etkisini gösterdiler. Gelen şekliyle ve ısı-işlemi yapılmış olan örnekler arasındaki spektrum farklılığının çeşitli nokta simetrilerinin nadir toprak iyon yerlerinin miktarındaki değişimden ileri geldiğini gösterdiler. Bu değişim ısı muamelesi süresince kristallere yayılan oksijenden dolayındı. Sıvı-azot sıcaklığını soğutmada, yapı bu spektrumun birçoğunda gelişti. Bunu tartıştılar ve geçici bir açıklama ileri sürdüler.

Sunta (1977)  $CaF_2:Dy^{3+}$ 'deki (TLD-200) termolüminesans ışıma tepelerinin birçok sıcaklıktan 450°C'ye kadar genişlediğini,  $Dy^{3+}$ 'nın tüm ışıma tepeleri için yayıcı merkez olduğunu gözledi. Fakat  $Dy^{3+}$  yayımına ek olarak 325°C'nin üzerindeki ışıma tepeleri 250-600 nm bölgesinde aşırı bandlar göstermişti. Bunların üçünü  $Tb^{3+}$  iyonu ile ilişkilendirdi ve dördüncüsünün ana örgüyle ilgili olduğunu düşündü. Tüm Lüminesans merkezlerinin tuzaklarla uygun olarak rastgele dağılmadığı sonucuna vardı. Bunların bazıları tuzakların bir araya gelmesi ve lüminesans merkezi şeklindeydi. Bir araya gelmiş merkezler arasındaki lokalize olmuş yeniden birleşmelerin sonucu olan termolüminesans bir ışıma tepesinden diğerine farklı spektrum değişimlerine rehberlik etmekteydi.

Furetta ve Lee (1983)  $CaF_2:Tm$ 'nin (TLD-300) tavlama ve solma (fading) karakteristiklerini araştırmışlardır. Bu örnek için en iyi tavlama sıcaklığını ve zamanı belirlerdir. Işınlamaya maruz kalmadan önce ve kaldıktan sonra termal muameleyi de çalıştılar. Ayrıca karanlık ve ışık koşullarında solmayı (fading) da çalışmışlardır. İyi ayrılmış ışıma tepelerinin kararlılığını da çalışmışlar ve tartışmışlardır.

Hsu, Jaot ve Weng (1984) ışıma eğrisinin tepe yüksekliği oranını, toplam termolüminesans (TL) verimini veya duyarlılığını ve farklı tavlama sıcaklıklarında ve sürelerinde artakalan TL'i çalışarak  $CaF_2:Tm$ 'nin (TLD-300) tavlama

özelliklerini araştırmışlardır. Bu kristal için 400°C'de 90 dakika tavlamanın en uygun tavlama sıcaklığı ve süresi olduğu sonucuna varmışlardır.

McMasters, Jassemnejed ve McKeever (1987) " $CaF_2:Mn$ 'nin Termolüminesansı ve Optiksel Soğurması Üzerinde Fon (background) Nadir Toprak Safsızlıklarının Etkilerini Dikkate Alan Bazı Gözlemler" başlıklı çalışmalarında Düşük Mn konsantrasyonlarında ışınlanan  $CaF_2:Mn$ 'nin optiksel soğurma spektrometresinin nadir toprak (RE) safsızlıklarının varlığından güçlü bir şekilde etkilenmiş olabileceğini, fotokromik taşıyıcılar (PC) ve iyonize olmuş PC merkezleri olarak bilinen RE soğurma merkezlerinin çoğunlukla hem yalıtılmış hem de F merkezleriyle ilgili olan iki değerlikli RE iyonlarından dolayı olduğunu (örneğin anyon boşluklu  $Re^{2+}$  iyonu), bu merkezlerin bazılarının düşük termal dengeye ve oda sıcaklığı ve 200°C arasında tavlamaya sahip olduğunu, merkezlerin tavllanması süresince Mn ile ilgili soğurma tepelerinin yoğunlukla arttığını, bu artıştan sonra, spektrumun Mn-katkılı kristallerin karakteristiği olduğunu, Mn-miktarı artarken Mn ile ilgili soğurma özellikleri civarında sıcaklıkların kaybolduğunu, tavlama süresince kuvvetli termolüminesans (TL) gözlendiğini, bu yüzden Mn bileşeni arttırılırken TL'in en şiddetli olarak gözlendiği sıcaklığın daha yüksek değerlere kaydığını, bu artıştan sonra, spektrumun Mn-katkılı kristallerin karakteristiği olduğunu, Mn-miktarı artarken Mn ile ilgili soğurma özellikleri civarında sıcaklıkların kaybolduğunu, tavlama süresince kuvvetli termolüminesans (TL) gözlendiğini, bu yüzden Mn bileşeni arttırılırken TL'in en şiddetli olarak gözlendiği sıcaklığın daha yüksek değerlere kaydığını gözlemlediler.

Yazıcı ve Hacıbrahimoğlu (1998) "CGCD Metodunu Kullanarak  $CaF_2:Dy$ 'nin (TLD-200) Tuzak Parametrelerine Karar Verilmesi" adlı çalışmalarında CGCD metodunu  $CaF_2:Dy$ 'deki (TLD-200) sayısına, kristal dizisi h'ye, aktivasyon enerjisi E'ye ve frekans faktörü s'ye karar vermek için kullandılar. Işıma eğrisi analizleri oda sıcaklığı ile 250°C arasındaki sıcaklık bölgesindeki ışıma eğrisinin 6 tepenin süperpozisyonu olarak en iyi şekilde tanımlanabileceğini göstermiştir. İlk olarak 5 tepe birinci derece kinetiklerle ve altı tepe genel derece kinetiklerle tanımlanmıştır. Belirli ışıma tepeleri için tuzaklanmış elektronların sayısı

aktivasyon enerjileri ve frekans faktörü takip eden şekilde bulunmuştur: (Tepe 1)  $2 \times 10^{13}$ , 1.27 ve  $2.13 \times 10^{17}$ , (Tepe 2)  $6.3 \times 10^{13}$ , 1.01 ve  $9.2 \times 10^{12}$ , (Tepe 3)  $3.3 \times 10^{14}$ , 0.7 ve  $6.2 \times 10^7$ , (Tepe 4)  $2.4 \times 10^{14}$ , 1.13 ve  $3.2 \times 10^{12}$ , (Tepe 5)  $1.3 \times 10^{14}$ , 0.84 ve  $2.56 \times 10^8$ , (Tepe 6)  $2.4 \times 10^{14}$ , 0.98 ve  $1.70 \times 10^9$

Bir Termolüminesans İsabet Dedektörü (One Hit Detector) olarak  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$  adlı çalışma Pawel Olko (1998) tarafından yapıldı. Mikrodozimetrik isabet-Dedektörü Modeli X-ışınları, gama ışınları, alfa parçacıkları ve protonlardan sonra Harshaw-üretimli TLD-300  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$  şeritlerindeki ( $0.9 \times 3.2 \times 3.2$  nm ) tepe 3 'ün termolüminesans cevabını analiz etmek için başvurulmuştu. Model X ışınları, alfa parçacıkları ve protonlar için göreceli TL etkinliğine ve gama-ışınları için doz cevabı eğrilerine uyabilmekteydi. Model 2 parametre kullanılmaktaydı, küresel çap, duyarlı hacim (hedef) d, enerji depolama olayını takip eden TL etkilerinin olasılığına karar veren doyma katsayısı z;  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ 'nin göreceli TL etkinliğinin deneysel değerlerin takımına uyum Lakshmanan (1981), Shachar ve Horowitz (1988), Prathan ve Rassow (1987), Hoolfman ve Predger (1984), ve  $3.54 \text{ g.cm}^{-3}$   $\text{CaF}_2$ 'de  $d=14$  cm ve  $z=3.47 \times 10^{-3}$  Gy elde eden Loncol et al (1996) tarafından yayınlandı. Tahmini hedef boyutları Lif, Mg, Cu, P Tl dedektörlerinde bulunan 24 nm hedef bölgesindeki gibi aynı büyüklük derecelerinden birindeydi. Kuramsal hedef muhtemelen yeniden birleşme merkezlerini ve yük tuzaklarını kapsayan  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ 'deki geniş kusur kompleksliğiyle ilgiliydi. Deneysel verilerle model üretiminin iyi bir uyumu TLD-300'deki tepe için dedektörde depo edilen enerjinin ilk uzaysal dağılımının dedektörde depo edildiğini ve ısıtma oranını değiştiren ve ısıtma basamağı süresince ileriki TL olayı için model oluşturan hipotezleri desteklemekteydi.

Yazıcı, Bedir ve Sökücü (2007) " $\beta$  Işınlamasından Sonra  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ 'nin Dozimetrik Termolüminesans Işıma Tepelerinin Analizleri" adlı çalışmada örnekleri önce  $400^\circ\text{C} \pm 1^\circ$ 'de yarım saat tavlamaışlar sonra örnekleri  $\approx 0.015$  Gy ve  $\approx 110$  Gy arasında ışınlamaışlardır. İlave doz (AD),  $T_m(E_n) - T_{stop}$ , tekrarlanan başlangıç artışı (RIR), tepe biçimi (PS) ve bilgisayarlı ışıma tepesi ters evrişim (CGCD) metodlarını doz oranı  $D=0.015$  Gy ve  $D=110$  Gy arasında  $\beta$ -ışınlamasından sonra  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ 'nin termolüminesans (TL) dozimetrik ışıma tepesini analiz etmek için kullandılar. PS, ,

$E_n - T_{stop}$ , ve CGCD metodları bu maddenin ışıma tepesinin birden fazla tepenin üst üste binmesi hariç tek bir tepe olmadığını gösterdi. CGCD ve  $E_n - T_{stop}$  metodları bu maddenin dozimetrik pikinin  $P_1 - P_5$  olarak gösterilen en az beş ışıma tepesinin üst üste binmesi olduğuna göstermişti. Doz değişimi deneyi bunların hepsinin birinci derece kinetikler olduğunu gösterdi. IR ve PS metodlarıyla bulunan aktivasyon enerjileri  $T_m - T_{stop}$  deneyindeki durdurma sıcaklığını arttırarak dozimetrik ışıma tepesindeki düşük sıcaklıklı uydu tepelerini (satellite peaks) temizledikten sonra çok yakın değerler vermişti. Diğer taraftan  $T_m - T_{stop}$  deneyinin uygulamasından önce tüm uygulanan metodların sonuçları arasında hiçbir uyuma yoktu.  $E_n - T_{stop}$  örnek üzerinde termal sönüm etkisinin etkinliği  $300^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde etkindi. Bu parametre dozimetrik tepenin değer biçilen kinetik parametreleri üzerinde de belirgin bir etkiye sahipti.  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ 'nin dozimetrik ışıma tepesinin cevabı üzerinde ısıtma oranlarının etkileri CGCD tekniği kullanılarak tepe yüksekliği ve tepe bölgesi metodlarıyla da çalışılmıştı. Tepe yoğunlukları ve ışıma tepesinin toplam bölgesinin artan ısıtma oranıyla sürekli olarak azaldığını gözlemlediler. Bu tepenin doz cevabı olan diğer bir dozimetrik karakteristiği tepe yüksekliğiyle ve bölge metodlarıyla da incelenmişti.

Massillon, Gambon-deBuen Buenfil, Monroy-Rodriguez ve Brnadan (2008)  $\gamma$  ışınları ve iyonları tarafından indüklenen  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$  (TLD-300) termoluminesans cevabı ve ışıma eğrisi adlı çalışmalarında 0.44 Gy'den 8.75 kGy'ye kadar olan dozlarda  $^{60}\text{Co}$  gama ışınlarına ve 25 ve 40 MeV  $^1\text{H}$ , 75 ve 120 MeV  $^3\text{He}$  180, , 300 ve 480 MeV  $^{12}\text{C}$ , 400 MeV  $^{16}\text{O}$  ve 800 MeV  $^{20}\text{Ne}$  iyon ışınların düşük akızamanlarına ( $10^5 \sim 10^8 \text{ cm}^{-2}$ ) maruz kaldıktan sonra, yaklaşık 500keV/ $\mu\text{m}$ 'ye kadar LET aralığına yayılan  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ 'nin doz cevabı araştırmışlardır. Belirli tepelerle ilgili bilgi elde etmek için ışıma eğrisinin dikkatli bir CGCD analizini yapmışlardır. İyonlar için tüm doz aralığını içeren (1.3 Gy'ye kadar) çalışmalara rağmen gamalar için lineer cevabın bölgesinin  $\approx 1\text{Gy}$ 'ye kadar genişlediğini gözlemişlerdir. Işıma eğrisinde yüksek ve düşük sıcaklık yapıları arasındaki oranın radyasyon niteliğiyle bağlantılı olduğunu ve LET'in yanında iyon kimliğine bağlılığın veri tarafından önerildiğini bulmuşlardır.  $^{60}\text{Co}$  ışınlarıyla ışınlamaya göre iyona maruz kalmada

termoluminesans etkinliğinin her bir tepe için farklı LET'e bağlılık gösterdiğini tespit etmişlerdir. Genel ifadeyle etkinliğin  $6\text{keV}/\mu\text{m}$  civarında 1.2 ve 1.4 arasında maksimuma ulaştığını ve daha yüksek LET'ler için düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Fukuda (2008)  $\text{Th}_4\text{O}_7$  ve  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  ko-katkılı sinterlenmiş  $\text{CaF}_2$ 'deki termoluminesansı UV ve X-ışını ışınlaması için araştırdı. Örneği oda sıcaklığında UV ve X-ışını ışınlamasından sonra  $20\text{ K.min}^{-1}$  oranında ısıtarak 353, 435K (X-ışını için 437K) ve 523K civarında  $\text{CaF}_2:\text{Tb,Gd}$  örneği için TL ışıma tepeleri gözledi. İkinci tepe (435K) şiddetinin (terbiyum ya da gadolinyum ile katkılanmış örnekten daha güçlü olduğunu buldu.  $\text{Tb}^{3+}$  iyonlarını TL'inin  $\text{Gd}^{3+}$  iyonlarının varlığıyla duyarlı hale getirildiği sonucuna vardı. 435K TL tepesinin dozimetre olarak kullanmada uygun olabileceğini düşündü.

## 6. MATERYAL VE METOD

### 6.1. Materyal

Bu çalışmaya konu olan florit örneği ( $\text{CaF}_2$ ) Orta Anadolu Kristalin Masifi içerisinde yer alan Akçakent bölgesinden elde edilmiştir. Bu bölgede damar tipli üç florit cevherleşmesi görülür. Orta Anadolu florit yataklarının değişik oranlarda gelişmesi bunların nadir toprak elementleri (RE) içeriklerini de değiştirmektedir.  $\text{CaF}_2$ 'nin TL sinyalleri kristallerde tuzaklanan nadir toprak iyonlarına dayanır. Bu çalışmanın amacı Orta Anadolu Akçakent (Çiçekdağı-Kırşehir) floritlerinin termolüminesans (TL) özelliklerinin belirlenmesidir. Çalışmada kullanılan florit örneği yeşil renkte olmaktadır.



Şekil 6.1. Çiçekdağı masifi florit örnekleri

#### 6.1.1. Florit ve Florit Yatakları

Birçok doğal ve sentetik kristal termolüminesans özellikleri sergilerler. Kararlı TL ışıma tepeli doğal mineraller radyasyon dozimetresine iştirak ederler. Yaygın olarak flouspat, fluorspar, florit veya kalsiyum florit olarak bilinen doğal  $\text{CaF}_2$  iyi bilinen bir termolüminesans maddesidir ve bu yüzden radyasyon dozimetresinde geniş ölçüde kullanılır. Florit iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldığı

zaman çok miktarda termolüminesans sinyali veren, yaygın olarak meydana gelen bir mineraldir (Schayes ve ark., 1967). Fluorsparın çeşitli kaynaklarının ve kristal yapısında atomik yer değiştirmelerle gevşemelerin (ease) meydana gelmesinin sonucu olarak bu mineralin elementel öğelerinin jeolojik yer değiştirmeye dayanan depolamadan depolamaya değişiklik göstermesi doğaldır (Mangala ve Patel, 1966; Balogun 1967). Florit gerçekte TL dozimetresinde kullanılan en eski maddelerden biridir (Kharita ve ark., 1995). Doğal florit dünya çapında birçok jeolojik biçimlerde bulunur (Balogun ve ark., 1997). Çok fazla çeşitte renge (renk merkezine) sahip olan bu mineral tavlama altında görece olarak kuvvetli ışık yayımı sergiler (Dantas ve ark., 1996).

Floritlerin birçok örnekleri çok çeşitte renge sahiptirler ve renkler florit kristalinin biçimine uygun bandlarda veya bölgelerde düzenlenmiştir. Floritlerin yaygın renkleri mor, mavi, yeşil, sarı, renksiz kahverengi, pembe, siyah ve kırmızımsı turuncudur. Floritler kimyasal bileşenlerine, kökenlerine, safsızlık bileşenlerine ve jeolojik tarihlerine dayanan TL özelliklerine sahiptirler.

Termolüminesans (TL) fosforları yük taşıyıcıları serbest bırakıldığı zaman bir veya çok tepeli TL ışıma eğrileri gösterirler. Işıma eğrisi minerallerdeki band aralığında yer alan farklı tuzak seviyelerinin karakteristiğidir.

Fluorit kalsiyum ve fluor bileşiği olup, formülü  $\text{CaF}_2$  'dür. Kalsiyumun atom ağırlığı 40, fluorun 19'dur. Saf fluorit içinde % 51.3 kalsiyum ve % 48,7 fluor bulunur. Floresans ve renk özelliğini etkileyen nadir toprak elementleri genel olarak fluoritin içinde bulunur. Fluorit ince kesitte çoğunlukla renksizdir. Bazen içerdiği uranyum (U) ve toryumun (Th) parçalanması sonucu ortaya çıkan, belirgin mor mavi bir renk de gösterebilir ve bu durumda renk koyuluğundaki farklar sonucu ortaya çıkan zonlu bir yapıya da rastlanılabilir. Ender olarak yalnız ve bazı kuvarsitlerde, öz şekilli kübik kristallerine rastlanır. Genellikle öz şekilsiz olup diğer mineraller arasındaki boşlukları doldurur. Yüzeyine göre çok iyi dilinimlidir. İnce kesitte birbirini  $70^\circ$  ve  $110^\circ$  açılarla kesen iki yönde, bazen birbirini  $60^\circ$ - $120^\circ$  açılarla kesen üç yönde dilinim izinin varlığı gözlenir. Işık kırma indisi tipik olarak çok küçüktür. Belirgin negatif bir optik engebe gösterir. Diğer silikat minerallerinden ayrımı HF asit ile yapılabilir. Fluorit bu asitte çözünmez. Işık kırma indisinin çok küçük oluşu,

çok iyi dilinim göstermesi ve izotrop oluşu ile fluorit diğer minerallerden kolayca ayırt edilebilir. Kayaçlarda ender olarak ve çok az miktarlarda bulunur. Granit ve gneyslarda, pegmatitlerde, hematit, topaz, turmalin ve kuvars gibi tipik pnömatolitik mineraller ile beraber bulunur. Fluoritin renk ve floresansı araştırmalara konu olmuştur. Fluoritin birçok renkte olması organik bileşiklerden veya kristalleşme sırasında kristal yüzeylerindeki ince şeritlerde biriken nadir toprak bileşiklerinden meydana gelir. Floresans özelliği de bitümlü yabancı maddelerle nadir toprak elementlerinin bulunmasına göre değişir. Eğer içinde iterbiyum varsa yeşil ve eropyum varsa mavi renk alır. Floresans özelliğini ortadan kaldıran madde demirdir. Fluorit  $\text{CaF}_2$  bileşiminde, saydam veya yarı saydam, sarı, yeşil, mor, mavi, kırmızı, kahverengi veya renksiz bir mineraldir. Fluorit en fazla renk çeşitliliğine sahip minerallerden biridir. Birçok maden yatağında ya gang minerali ya da cevher minerali olarak oluşan fluorit kurşun çinko yataklarında genellikle birinci mineral olarak ortaya çıkar. Fluorit baritle hemen hemen aynı oluşum şartlarında ortaya çıkar ve yatak meydana getirir. Fakat barit kadar yaygın değildir. Fluoritle birlikte bulunan diğer mineraller ise kuvars, kalsit, zirkon, hematit, topaz, titanit, dolomit, biyotit, hornblend, plajiyoklaz, feldispat, granodiyorit ve granitik kayaçlar ve bunların değişiminden meydana gelen minerallerde bulunur. Ayrıca galen, blend, pirit mineralleri de bulunur. Fluorit yatakları pegmatit-pnömatöjen, hidrotermal ve sedimanter olmak üzere üç çeşittir (MTA, 1979).

Fluoritlerin kökenlerinin incelenmesinde en iyi kayıtlar nadir toprak elementleri içerikleri ve dağılımlarıdır. Periyodik sistemde II. Grubun atom numaraları 57'den 71'e kadar olan 15 elemente "Nadir Toprak Elementleri veya Lantanitler" denir. Bunlar La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu elementleridir. Nadir toprak elementleri (Lantanitler) benzer kimyasal özellikler gösteren bir elementler grubunu oluştururlar. Bu elementlerin alterasyon, sedimantasyon ve kristallenme gibi jeokimyasal olayların karşısında pasif kalmaları en önemli özellikleridir (Özüş ve Yaman, 1986).

Fluorit yatakları; fluorit  $\text{CaF}_2$  bileşiminde, saydam veya yarı saydam, sarı, yeşil, mor, mavi, kırmızı, kahverengi veya renksiz bir mineraldir. Fluor elementinin yer kabuğundaki miktarı 625 ppm'dir. Fluor elementi, karbınatit ve alkali kayaçlarda

yüksek miktarda fluor apatit şeklinde bulunurlar. Fluor miktarı magmatik kayaların baziklerinde 370 ppm, asidiklerinde 850 ppm, şistlerde 500 ppm, karbonatlarda 330 ppm, flogofit ve kimberlit türü kayalarda 8500 ppm'e kadar çıkmaktadır. Fluorün kimberlit ve flogofit içerisinde bulunması manto kökenli bir element olduğunun göstergesidir. Kayacı oluşturan minerallerde;  $F^{-1}$  yalnızca OH yerini alır. Böylece mika, amfibol, apatit, kil ve diğer su içeren mineraller önemli miktarda fluor elementi içerirler. Volkanik gazlar önemli miktardaki fluorü HF şeklinde bulundurulur. Bu arada volkanik gaz çıkışlarının olduğu bölgelerde yer alan kayaların yoğun bir şekilde alterasyona uğramasına neden olur. Fluor içeren hidrotermal çözeltiler asidik özellikte olup, kireçtaşları veya kalsiyum içeren minerallerle reaksiyona girmesi sonucunda pH değerini yükselterek (bazik) fluoriti oluştururlar. Araştırmacılar fluoritlerdeki sıvı kapanım çalışmalarında önemli miktarda Na-Ca-Mg-Cl içeriklerini tespit etmişlerdir. Fluoritler ayrışmaya karşı dayanıklı oldukları için doğada yükseltileşir şeklinde ortaya çıkmaktadırlar.

Fluorit yataklarının oluşumlarının büyük bir kısmı belirgin bir şekilde magmatik olaylarla ilişkilidirler. Bu tür yataklar genellikle intrüzyonların (plütonlar) tavan kısımlarında ganglar şeklinde bulunurlar. Ganglar bazen mono mineraller şeklinde bazen de fluoritlerle birlikte siderit, kuvars, klorit ve sfalerit içermektedirler. Pegmatit ve grayzenleşme sonucu oluşan kayalarda fluorit tali olarak bulunur. Ayrıca kriloyit ( $Na_3AlF_6$ ) olarak da saçınımlı fluorit tanelerine rastlanmaktadır. Bu tür oluşumlar ekonomik olarak önemli değildirler. Bu tür yataklarda yüksek miktarlarda uranyum (U) ve nadir toprak elementleri içerirler. Fluorit yatakları pegmatit-pnömatöjen, hidrotermal ve sedimanter olmak üzere üç çeşittir (Duran, 2002).

Bu çalışmada kullanılan florti örneği Akçakent Çiçekdağı masifinden alınmıştır. Çiçekdağı masifi, volkanik fasiyeste gelişmiş Üst kretast yaşlı birimler ile bunları kesen asit ve bazik platonik kayalardan oluşur. Paleosen yaşlı verilen platonik kayalar granit, siyenit ve gabro türevlerinden meydana gelmiştir. Masif, Eosen, Oligosen ve Neojen yaşlı sedimanter formasyonlarla çepe çevre örtülüdür (Ketin, 1999). Bazik ve asit karakterli platonik kayalar çoğu kez birbirlerine geçişler

gösterirler. Gabro türü kayaların anklavlar şeklinde bazen siyenitler içerisinde görülmesi masifin ilk sokulumundan olduğunu gösterir Yaman, 1985).



**Şekil 6.2.** Florit örneğinin alındığı Kırşehir masifi

## **6.2. Metod**

### **6.2.1. Termolüminesans TL Sistemi**

#### **6.2.1.1. Tavlama Fırını**

TL çalışmalarıyla ilgili tüm tavlama işlemleri için bir fırın ve bir etüv kullanılmıştır. Tavlama deneylerinde kullanılan fırın, mikro işlemci kontrollü, özel olarak tasarlanmış Nabertherm GmbH tipi elektrikli fırınla yapıldı. Fırının içi tuğlayla kaplandığı için geç ısınma ve geç soğuma özelliği mevcuttur. 0°C ile 300°C arasındaki sıcaklık aralığında fırının sıcaklık hassaslığı  $\pm 2$ 'dir. Bu fırın 300°C ile 3000°C arasındaki yüksek sıcaklık ısıtma işlemlerinde kullanılırsa sıcaklık hassaslığı  $\pm 5$ 'tir. Her ısıtma işleminde örnek önce alüminyum diskler içerisine konulur. İçerisinde örnek bulunan alüminyum disk petra kutusuna konularak ısıtma yapılır. Soğutma işleminde ise örnek fırından maşa yardımıyla ve eldivenle çıkarılarak bir tepsinin üzerine konularak oda sıcaklığında soğumaya bırakılır.



**Şekil 6.3.** Tavlama fırını

Düşük sıcaklıklı tavlama işleminde (40-100°C) ve bundan sonra gelen tüm işlemlerde LABART marka dijital ekranlı etüv kullanılmıştır. Bu etüvün sıcaklığı sabit olup sıcaklık hassaslığı yoktur. Isıtma işleminde örnek alüminyum disk içerisine konulur. Örneklerle birlikte alüminyum disk petra kutusuna konularak ısıtma yapılır. Soğutma işleminde örnek fırından eldivenle çıkarılarak metal tepsinin üzerine konulmak suretiyle oda sıcaklığında soğumaya bırakılır.

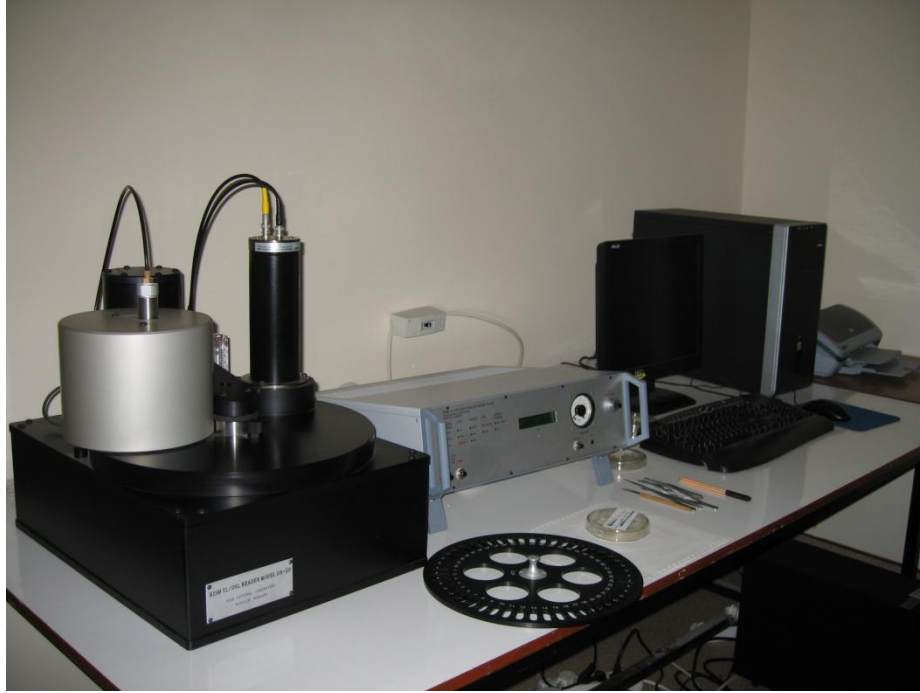


**Şekil 6.4.** Etüv

#### **6.2.1.2. Riso TL/OSL Lüminesans Okuyucu Model TL/OSL-DA-20**

Birleştirilmiş TL/OSL okuyucusu Riso Ulusal Laboratuvarlarında (Model Riso TL/OSL-DA-20) tasarlanmış olup yeni jenerasyon lüminesans okuyucusudur ve uzun süren araştırma ve geliştirme çalışmalarının sonucunda üretilmiştir. Riso TL/OSL okuyucusunun başlıca üç ana bileşeni vardır.

- 1) Işık algılama sistemi
- 2) Lüminesans uyarma sistemi (termal ve optiksel)
- 3) Işınlama kaynağı



Şekil 6.5. Riso TL/OSL-DA-20 model TL/OSL okuyucu sistemi

Riso TL/OSL manyetik ölçüm sistemi hem TL hem de OSL ölçümlerini yapabilmektedir. Sistem, 48 örneğin (Şekil 6.5-6.6) aynı anda:

- 1) Oda sıcaklığıyla 700°C arasında herhangi bir sıcaklığa kadar bağımsız olarak ısıtılmasını sağlamakta,
- 2) Sürekli dalgada (CW) lineer modülasyonlu OSL’de (LM-OSL) ve pulsel OSL (POSL) modunda değişik ışık kaynakları kullanarak optiksel uyarılma sağlamakta,
- 3) Radyoaktif beta ( $\beta^-$ ) ve alfa ( $\alpha$ ) kaynakları ( $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  ve  $^{241}\text{Am}$ ) veya mini x ışını jeneratörleri vasıtasıyla örneklerin her birinin bağımsız olarak radyasyona tutulmasını sağlamaktadır. Burada sisteme  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  beta kaynağı monte edilmiştir.

Yapılan lüminesans, bir fotokatlandırıcı tüp ve uygun algılama (deteksiyon) filtreleri bulunduran bir ışık algılama sistem tarafından ölçülmektedir. Örnek odası vakum oluşacak veya bir azot akışı tarafından sağlanacak azot atmosferine sahip olacak biçimde programlanmıştır.



Şekil 6.6. Aynı anda 48 örneğin okunmasını sağlayan döner levha

#### 6.2.1.2.(1). Radyasyon Tutma

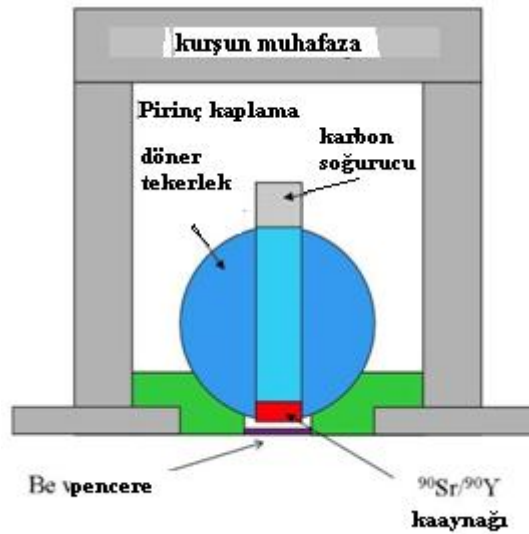
Örneğe gönderilecek radyoaktif parçacıklar  $\beta^-$  kaynağı tarafından sağlanmaktadır. Radyasyon, tek bir radyasyona izin veren (minimum radyasyon zamanı 1 sn olacak şekilde) bir yazılım tarafından kontrol edilmektedir. Okuma sırasında örnek üzerine yapılan tüm işlemler bir dijital kontrol paneli üzerinde gözlenebilmektedir.



Şekil 6.7. Kontrol paneli

### 6.2.1.2.(2). Beta ( $\beta^-$ ) Radyasyonu

Bir sökülebilir beta ( $\beta^-$ ) yayıcısı, bir örnek döner düzeni üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 6.8). Işınlayıcı pirinçten yapılmıştır (dış çapı 10 cm). Radyasyon tutucusu normal olarak 1.48 GBq (40 mCi)  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$   $\beta^-$  kaynağı bulundurur; bu kaynak maksimum 2.7 MeV'lik  $\beta^-$  parçacıkları yaymaktadır. Örneğin konumunda, kuvars için soğurulan doz oranı 0.1 Gy/s olarak verilmiştir. Kaynak dönen bir paslanmaz çelik tekerlek içerisine monte edilmiştir ve bu tekerlek basınçlı havayla kontrol edilmektedir. Kaynakla örnek arasındaki mesafe 7 mm'dir. Ölçüm çemberi için bir vakum ara yüzeyi olarak hareket eden 0.125 mm'lik bir Berilyum (Be) pencere ışınlayıcı ve ölçüm çemberi arasında yer almaktadır. .



Şekil 6.8.  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$   $\beta$  kaynağının şematik görünümü

### 6.2.1.2.(3). Işık Algılama Sistemi

Işık algılama sisteminin başlıca bileşenleri 1) fotokatlandırıcı tüp (PMT) ve 2) uygun algılama filtreleridir. Algılama filtreleri hem PMT'yi saçılmış uyarıcı ışıktan korumakla hem de spektrum algılama penceresini tanımlamakla görevlidir. Riso TL/OSL lüminesans okuyucusunda kullanılan standart fotokatlandırıcı tüp (PMT) 200 ve 400 nm arasında maksimum algılama etkinliğine sahip olan bir bialkali EMI

9235QA'dır. PMT katodu ile örnek arası 55 mm olup 0.4 siteradian'lık saçılmış uyarılmış ışığın oluşmasını engellemek için algılama (deteksiyon) filtreleri kullanılır. Standart Riso okuyucu 7.5 mm Huya U-340 deteksiyon filtreleriyle donatılmıştır; bu filtrelerin tepe geçişi 340 nm civarındadır.

#### **6.2.1.2.(4). Isısal Uyarılma Sistemi**

Isısal uyarma tam olarak PMT tüpünün altına yerleştirilmiş bir ısıtılan elemanın kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Bu ısıtılan elemanın iki fonksiyonu vardır: 1) Örneği ısıtır, 2) örneği ölçüm konumuna yükseltir. Isıtıcı band Kanthal'dan (yüksek dirençli alaşım) yapılmıştır. Isıtma, ısıtılan elemanın bir kontrollü alternatif akımla beslenmesiyle gerçekleştirilir. Sıcaklığın geri bildirim kontrolü için düşük kütleli bir Cromel-Alumel ısısal çift (thermocouple) ısıtıcı bandın altına monte edilmiştir. Isıtma 20 kHz'de çalışan ve açma kapaması olmayan sürekli tam Sinüs dalgası jeneratörü ile kontrol edilmektedir. Isıtma sistemi, örnekleri  $1^{\circ}\text{C}$ 'den  $20^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 'ye kadar değişen lineer ısıtma oranlarında,  $700^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtma gücüne sahiptir. Isıtma bandı azot akışıyla soğutulur. Bu akış aynı zamanda ısıtma sistemini yüksek sıcaklıklardaki oksidasyondan korur.

#### **6.2.2. Deneysel Aşamalar**

##### **6.2.2.1. Isısal İşlemler**

Bu deney için bir parça florit örneği agat havanda toz haline getirildi. 90 ve 140  $\mu$ 'luk elekler kullanılarak elendi ve deney için 90-140  $\mu$  arası toz örnekler kullanıldı. İlk olarak toz haline getirilen kristalden 10 tane örnek hazırlandı. Her bir örnek hassas tartı aletinde tartıldı. İlk beş örnek  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $450^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $550^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ ,  $650^{\circ}\text{C}$  ve  $700^{\circ}\text{C}$ 'de yarım saat; sonraki 5 örnek 1 saat tavlandı.

Daha sonra yeni iki örnek alındı. İlki  $500^{\circ}\text{C}$ 'de ikincisi  $550^{\circ}\text{C}$ 'de 6 saat tavlandıktan sonra  $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ışıma tepeleri elde edildi. Daha sonra yeni iki örnek alındı. İlki  $500^{\circ}\text{C}$ 'de ikincisi  $550^{\circ}\text{C}$ 'de 12 saat tavlandıktan sonra

$2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ışıma tepeleri elde edildi. Son olarak iki örnek daha alındı. İlki  $500^{\circ}\text{C}$ 'de ikincisi  $550^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat tavlandıktan sonra  $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ışıma tepeleri elde edildi.

#### **6.2.2.2. Uygun Tavlama Süresinin ve Sıcaklığının Belirlenmesi Deneyleri**

##### **6.2.2.2.(1). Tavlamasız TL Okuması**

Burada ilk olarak bir  $\text{CaF}_2$  kristali alınmıştır. Örneğin önce doğal dozu ölçülmüş ve hiçbir tavlama işlemine maruz kalmadan, 1 Gy radyasyon dozu verilerek  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranında TL ölçümü yapılmıştır.

##### **6.2.2.2.(2). Değişik Tavlama Koşulları ile TL Okuması**

Başka bir  $\text{CaF}_2$  kristalinin  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla doğal dozu ölçüldü. Sonra fon (background) ölçümü yapıldı. Daha sonra farklı tavlama sıcaklıklarında ( $400, 450, 500^{\circ}\text{C}$ ) 15 dakika tavlanan örnek 0.5 Gy  $\beta^-$  ışımasına tabi tutularak  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ışıma tepeleri elde edildi. Fakat elde edilen eğrilerden herhangi bir tanesi doza beklenen cevabı vermediği için ve eğrilerin hepsi doza hemen hemen aynı cevabı verdiği için başka tavlama sıcaklıklarının da denenmesine karar verildi.

Bir diğer  $\text{CaF}_2$  kristalinin  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranında doğal doz ve fon (background) okuması yapıldı. Daha sonra farklı tavlama sıcaklıklarında ( $300, 350, 400, 450^{\circ}\text{C}$ ) 15'er dakika tavlandı ve 0.5 Gy  $\beta^-$  ışımasına tabi tutularak  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ışıma tepeleri elde edildi. Fakat yine beklenen cevabı veren, en uygun tavlama sıcaklığı belirlenemediği için üçüncü bir örnek hazırlandı.

Başka bir kristalin önce  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranında doğal dozu ölçüldü ve fon (background) ölçümü yapıldı. Sonra örnek farklı tavlama sıcaklıklarında ( $100, 150, 200, 250, 300^{\circ}\text{C}$ ) 15'er dakika tavlandıktan sonra 0.5 Gy beta ışınlamasına tabi tutularak  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ışıma tepeleri elde edildi. Fakat yine uygun

tavlama sıcaklığı belirlenemedi. Bu nedenle bu kez doz oranının artırılmasına karar verildi.

Yeni bir  $\text{CaF}_2$  kristalinin  $1^\circ\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla doğal dozu ölçüldü ve fon (background) ölçümü yapıldı. Daha sonra tavlamadan 1 Gy doz verilerek TL ışıma eğrisi elde edildi ve tekrar fon (background) ölçümü yapıldı. Daha sonra farklı tavlama sıcaklıklarında (100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450°C) 15 dakika tavlanan örnek 1 Gy  $\beta$  ışınmasına tabi tutularak  $1^\circ\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ışıma tepeleri elde edildi. Fakat uygun tavlama sıcaklığı belirlenemediği için ikinci bir örnek tartıldı.

Yeni  $\text{CaF}_2$  kristalinin  $1^\circ\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranında doğal dozu okundu. Daha sonra tavlamadan 5 Gy doz verilerek TL ışıma eğrisi elde edildi ve tekrar fon (background) ölçümü yapıldı ve sonra farklı tavlama sıcaklıklarında (50, 75, 100°C) 15'er dakika tavlandı ve 5 Gy  $\beta$  ışınmasına tabi tutularak  $1^\circ\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ışıma tepeleri elde edildi. Fakat yine en uygun tavlama sıcaklığı belirlenemediği için altıncı bir örnek hazırlandı.

Son olarak alınan yeni bir  $\text{CaF}_2$  kristalinin önce  $1^\circ\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranında doğal dozu ölçüldü. Daha sonra tavlamadan 1 Gy doz verilerek TL okuması yapıldı ve tekrar fon (background) ölçümü yapıldı. Sonra örnek farklı tavlama sıcaklıklarında (40, 50, 60, 70, 80, 90, 100°C) 15'er dakika tavlandıktan sonra 1 Gy beta ışınmasına tabi tutularak  $1^\circ\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ışıma tepeleri elde edildi ve uygun tavlama sıcaklığı 40°C ve uygun tavlama süresi 24 h olarak belirlendi.

### 6.2.2.3. Değişken Doz Oranları Deneyleri

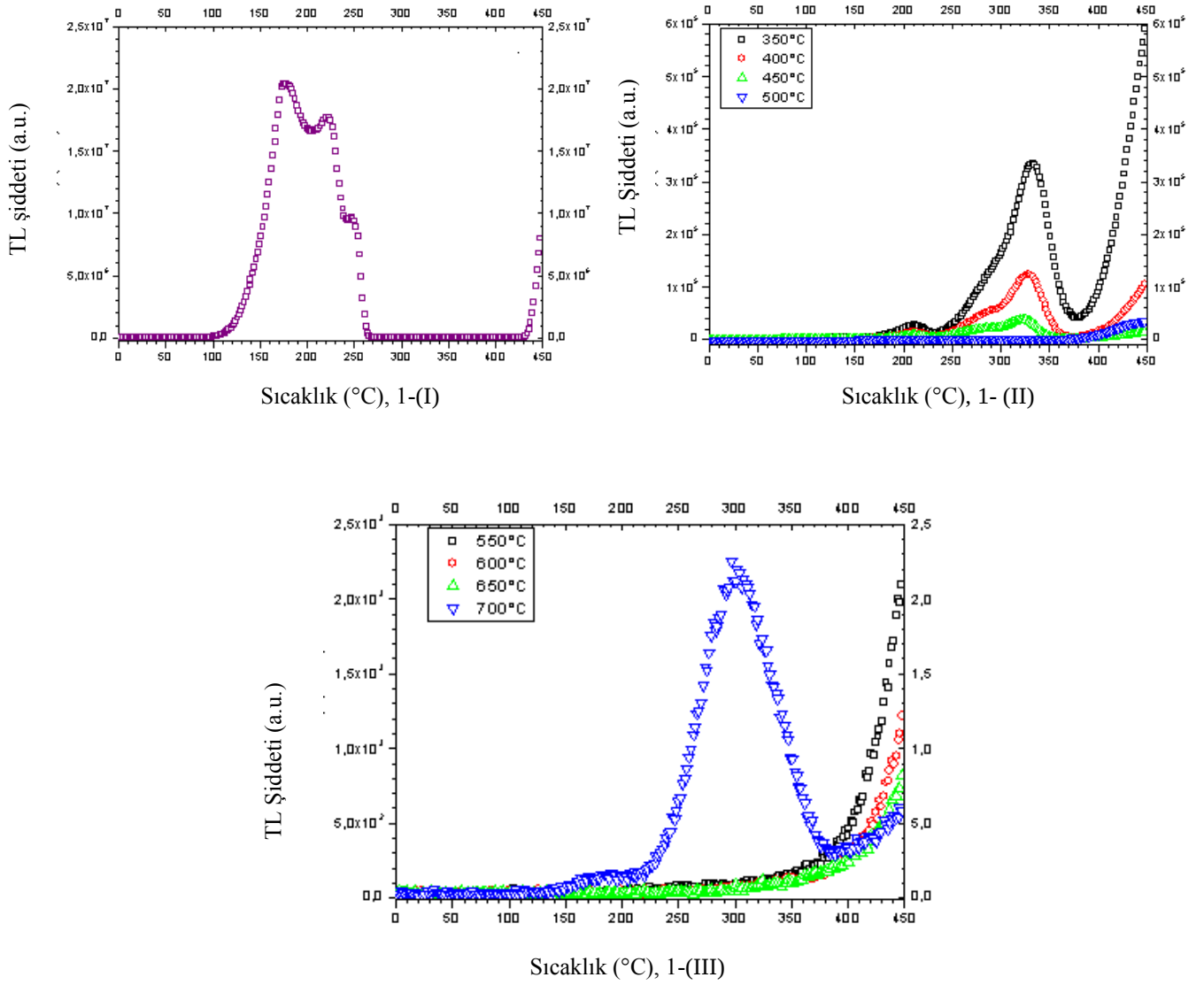
Değişken doz oranları aşamasında çalışılan başka florit kristali 40°C'de 24 saat tavlandıktan sonra 0.5 Gy ile 50 Gy arasında  $\beta^-$  dozu verilerek  $1^\circ\text{C}\text{s}^{-1}$  ısıtma oranıyla TL okumaları yapıldı.

**6.2.2.4. Farklı Isıtma Oranları Deneyleri**

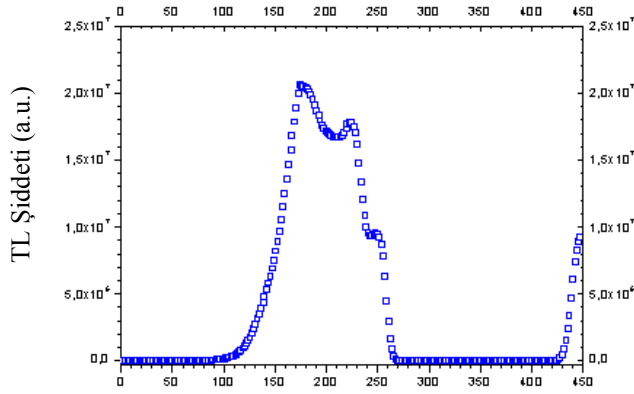
Bu aşamada yeni bir florit örneği 40°C’de 24 saat tavlandıktan sonra 0.5 Gy  $\beta$  dozu verilerek farklı ısıtma oranlarında (1, 3, 5, 7, 10 °C s<sup>-1</sup>) TL ışıma tepeleri kaydedilmiştir. Daha sonra örneğe sırasıyla 1, 5, 10 ve 50 Gy doz verilerek yine aynı ısıtma oranlarında sıcaklığa karşı TL şiddetleri ölçülmüştür.

**7. BULGULAR VE TARTIŞMA****7.1. Isısal İşlemler**

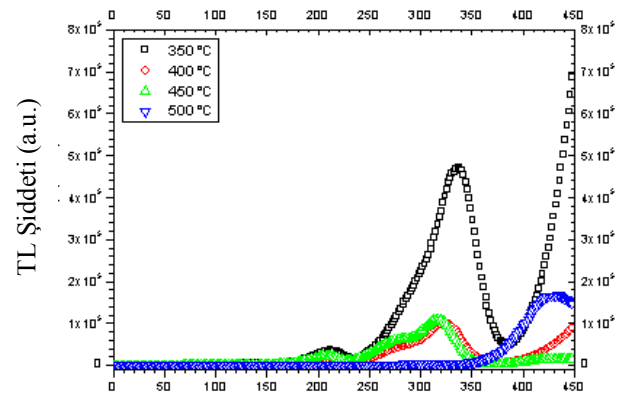
Floritlerin oluşumlarından itibaren biriktirmiş oldukları enerjiyi açığa çıkarmak ve soğurulan doğal radyasyonu silmek, uygun başlangıç ısısal yöntemini (initial termal regime) uygulamak ve bu işlem sırasında kristal yapısının zarar görmesinden kaçınmak amacıyla her biri 5'er adet olan toz haline getirilmiş iki örnek grubu hazırlandı. Örnekler sırasıyla 0.0145 g, 0.0138 g, 0.0267 g, 0.0405 g, 0.0272 g, 0.0352 g, 0.0216 g, 0.0265 g, 0.0974 g, 0.0191 g olarak ölçüldü. Önce her iki örnek grubunun doğal termoluminesans okumaları yapıldı ve her bir örnek 350°C'den 700°C'ye kadar olan sıcaklıklarda, sıcaklık 50°C'şer derece arttırılarak yarım saat süreyle tavlandı. Diğer örnek grubu yukarıda belirtilen sıcaklıklarda bir saat süreyle tavlandı. Her tavlama sonrası  $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranında TL okuması yapılarak ışıma tepeleri elde edilmiştir. Bir saat tavlanan onuncu örnekte düşük sıcaklıklardaki pikleri görmek için 350°C'deki tavlamadan sonra farklı bir işlem yapıldı. Önce 150°C'ye sonra 250°C'ye, sonra 350°C'ye ve sonra 450°C'ye kadar  $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL okuması yapıldı. Daha sonraki tavlamalarda sadece diğer örneklerde olduğu gibi  $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla 450°C'ye kadar TL okuması yapıldı.



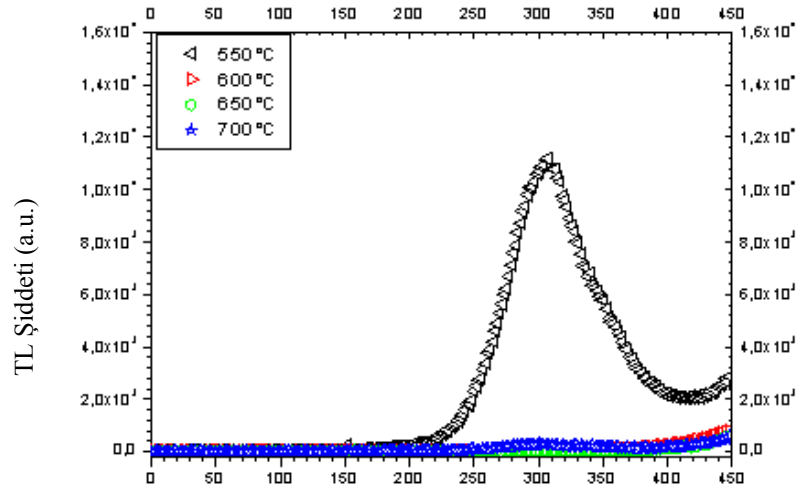
**Şekil 7.1.** Yarım saat tavlanan birinci örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamaadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 600, 650, 700°C’de tavlamaadan sonra elde edilen ışıma eğrileri



Sıcaklık (°C), 2-(I)

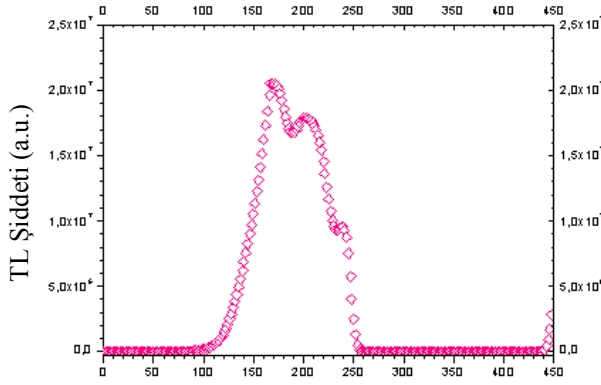


Sıcaklık (°C), 2- (II)

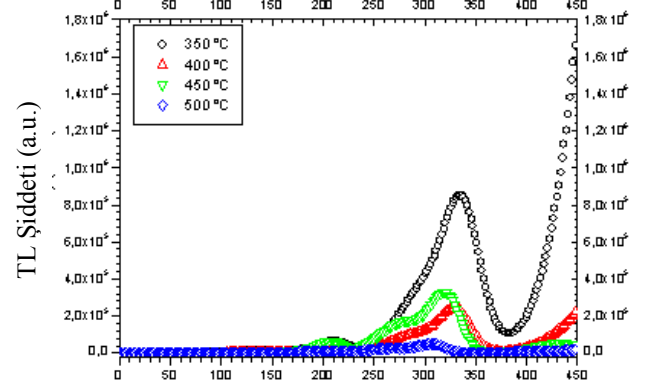


Sıcaklık (°C), 2-(III)

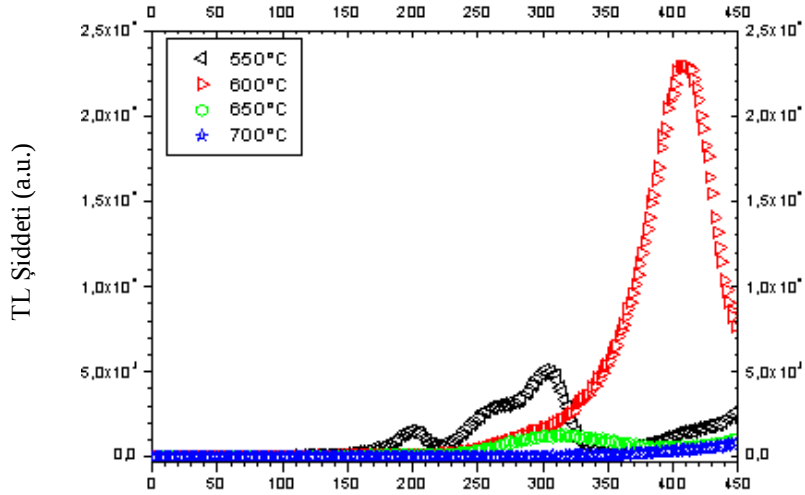
**Şekil 7.2.** Yarım saat tavlanan ikinci örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 600, 650, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri



Sıcaklık (°C), 3- (I)

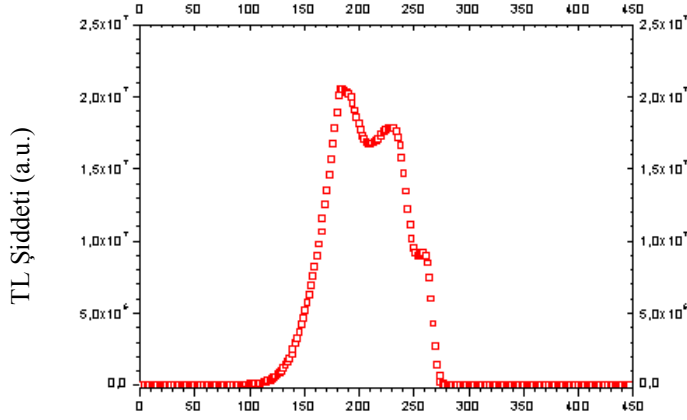


Sıcaklık (°C), 3-(II)

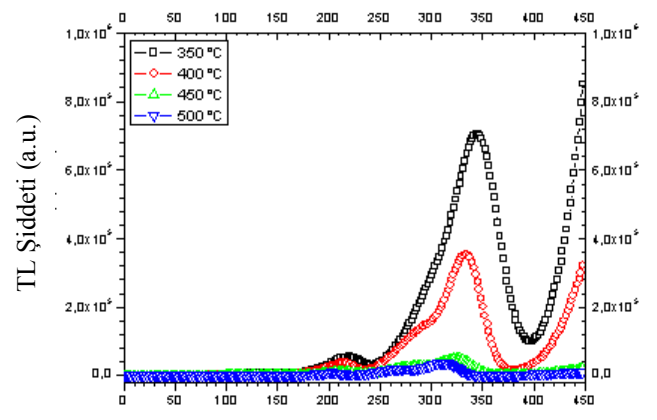


Sıcaklık (°C), 3-(III)

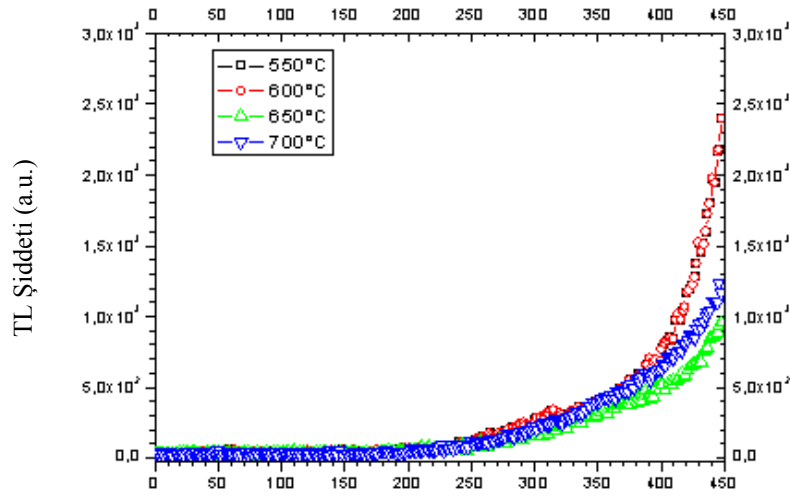
**Şekil 7.3.** Yarım saat tavlanan üçüncü örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 600, 650, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri



Sıcaklık (°C), 4- (I)

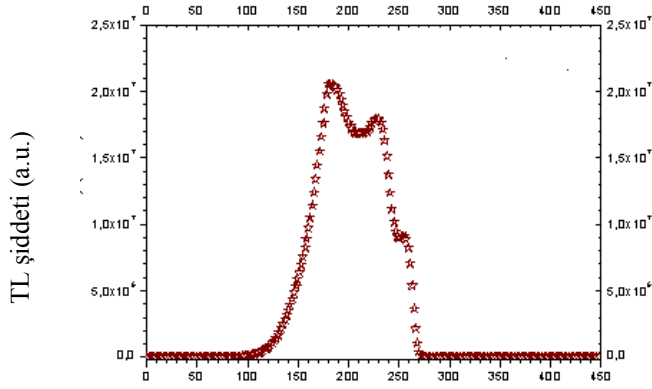


Sıcaklık (°C), 4-(II)

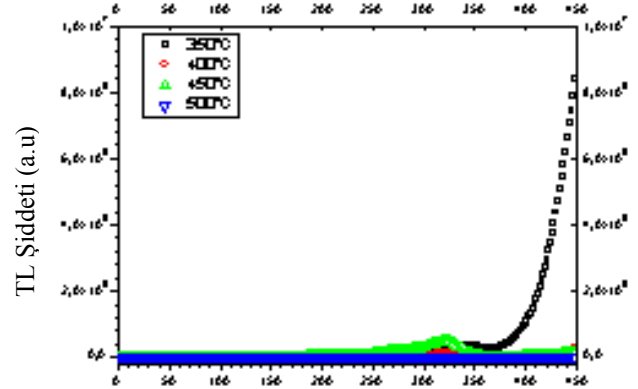


Sıcaklık (°C), 4-(III)

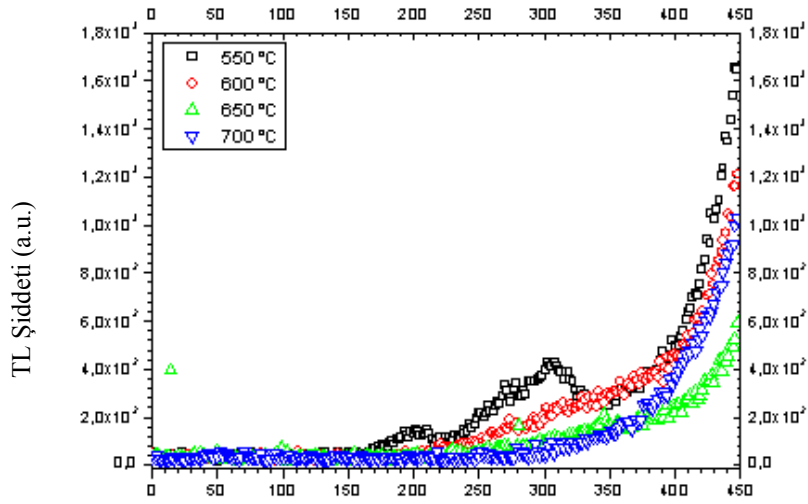
**Şekil 7.4.** Yarım saat tavlanan dördüncü örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 600, 650, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri



Sıcaklık (°C), 5-(I)

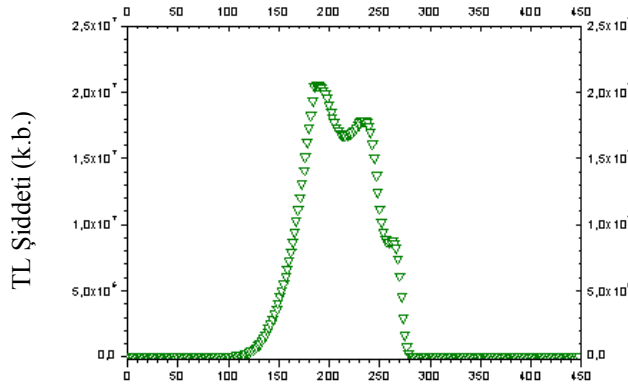


Sıcaklık (°C), 5-(II)

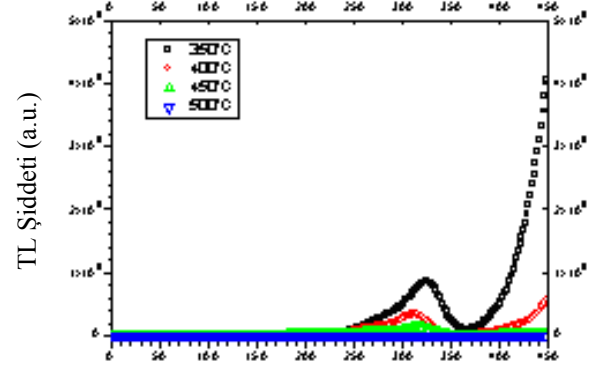


Sıcaklık (°C), 6- (III)

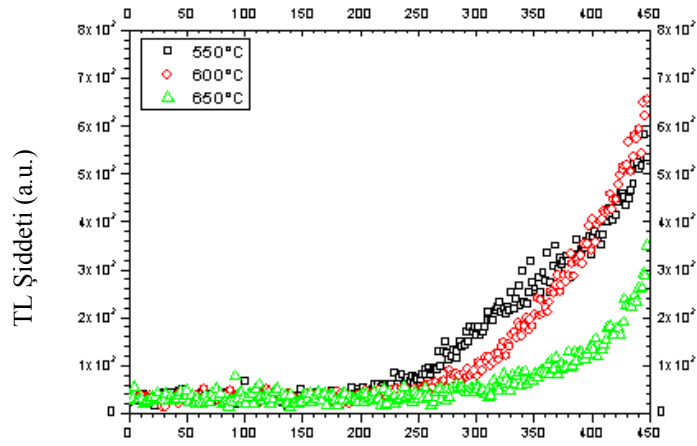
**Şekil 7.5.** Yarım saat tavlanan beşinci örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C'de tavlamaadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 600, 650, 700°C'de tavlamaadan sonra elde edilen ışıma eğrileri



Sıcaklık (°C), 6-(I)

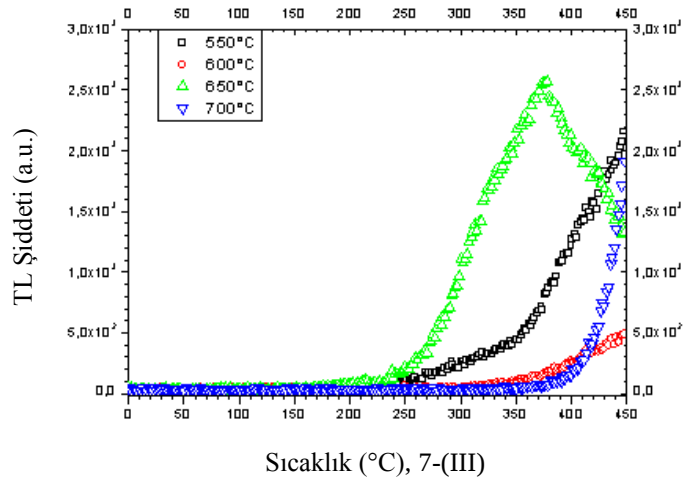
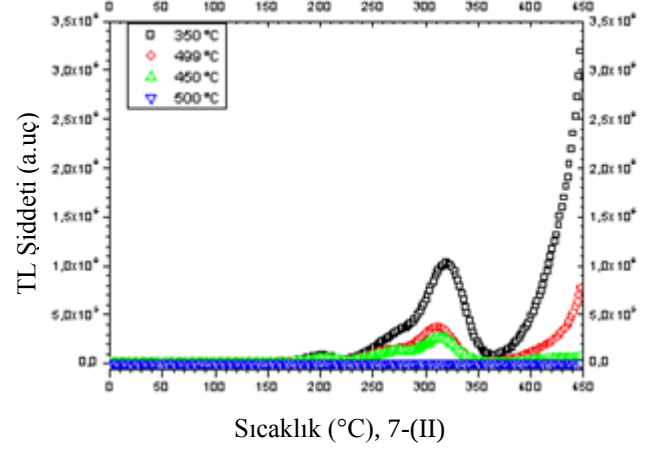
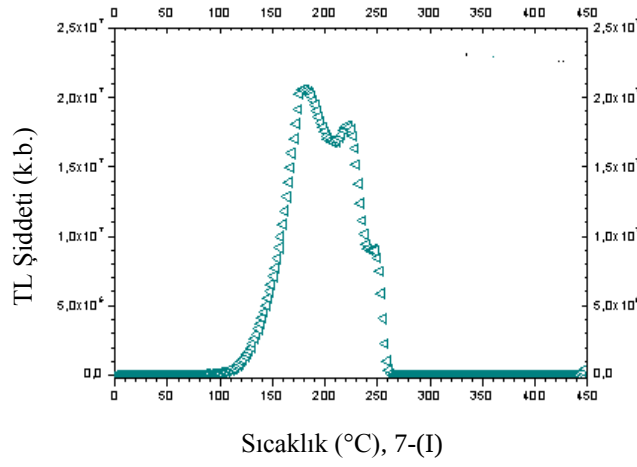


Sıcaklık (°C), 6-(II)

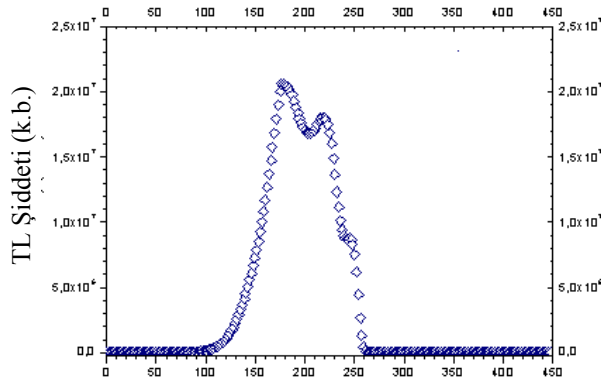


Sıcaklık (°C), 6-(III)

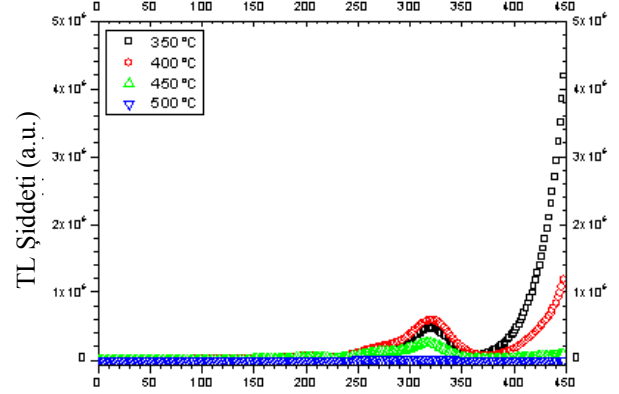
**Şekil 7.6.** Bir saat tavlanan altıncı örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 600, 650, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri



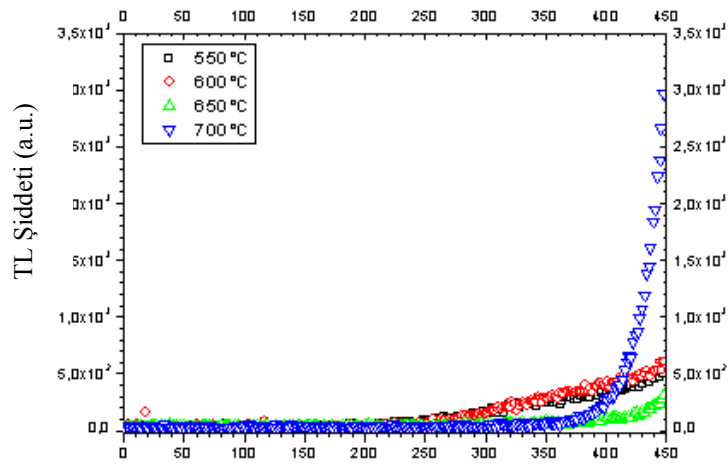
**Şekil 7.7.** Bir saat tavlanan yedinci örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 600, 650, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri



Sıcaklık (°C), 8- (I)

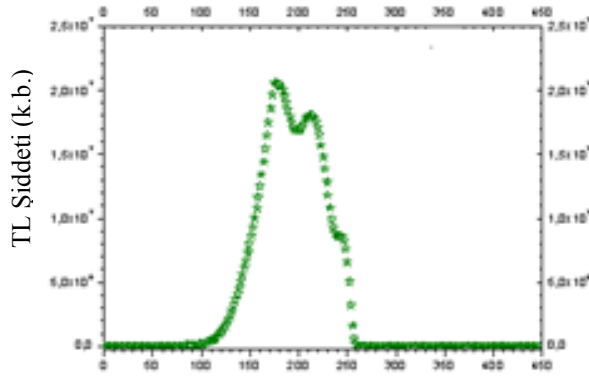


Sıcaklık (°C), 8-(II)

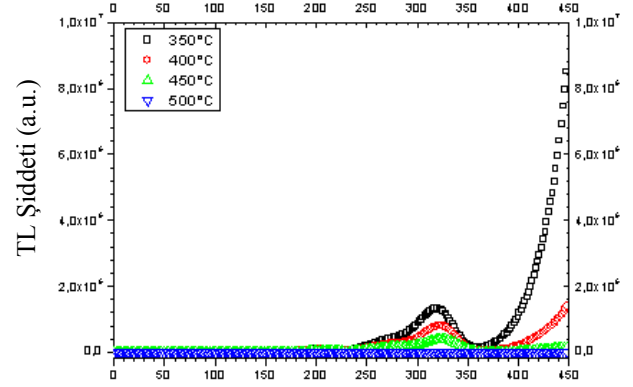


Sıcaklık (°C), 8-(III)

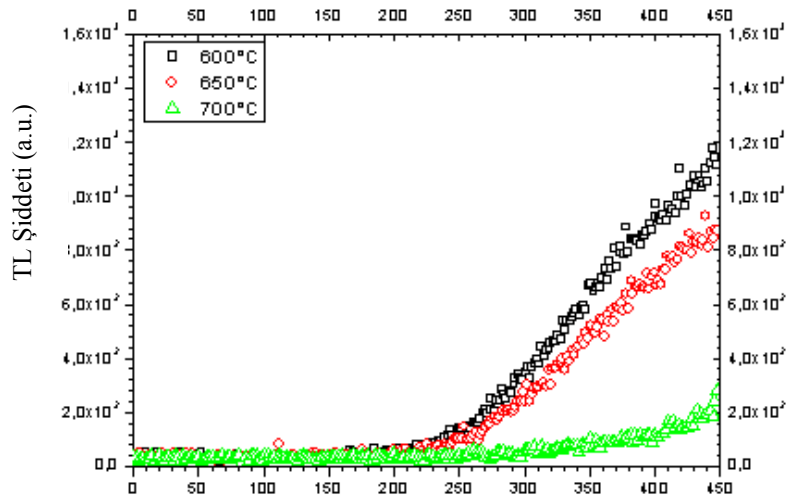
**Şekil 7.8.** Bir saat tavlanan sekizinci örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 600, 650, 700°C’de tavlamadan sonra elde edilen ışıma eğrileri



Sıcaklık (°C), 9-(I)

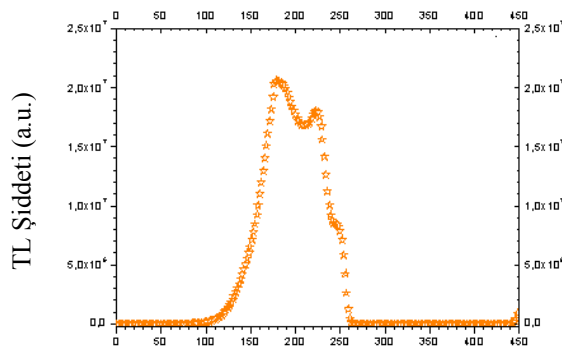


Sıcaklık (°C), 9-(II)

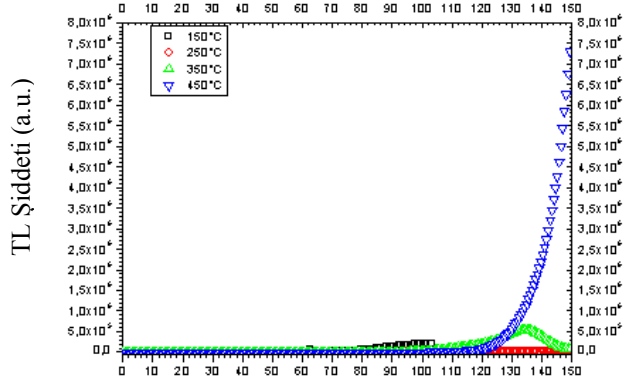


Sıcaklık (°C), 9-(III)

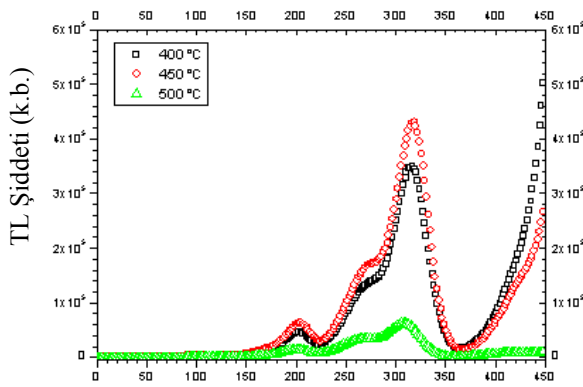
**Şekil 7.9.** Bir saat tavlanan dokuzuncu örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350, 400, 450, 500°C’de tavlamaadan sonra elde edilen ışıma eğrileri, (III) 550, 600, 650, 700°C’de tavlamaadan sonra elde edilen ışıma eğrileri



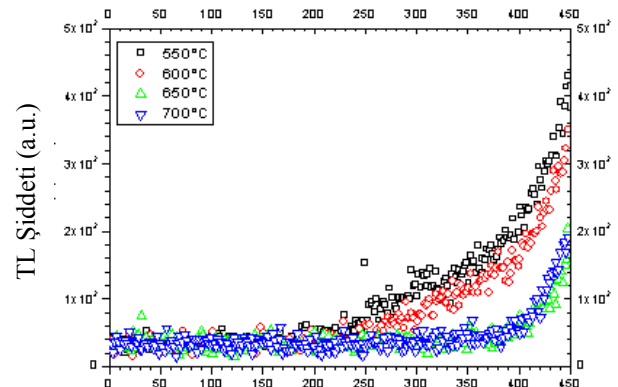
Sıcaklık (°C), (I)



Sıcaklık (°C) , (II)



Sıcaklık (°C), (III)



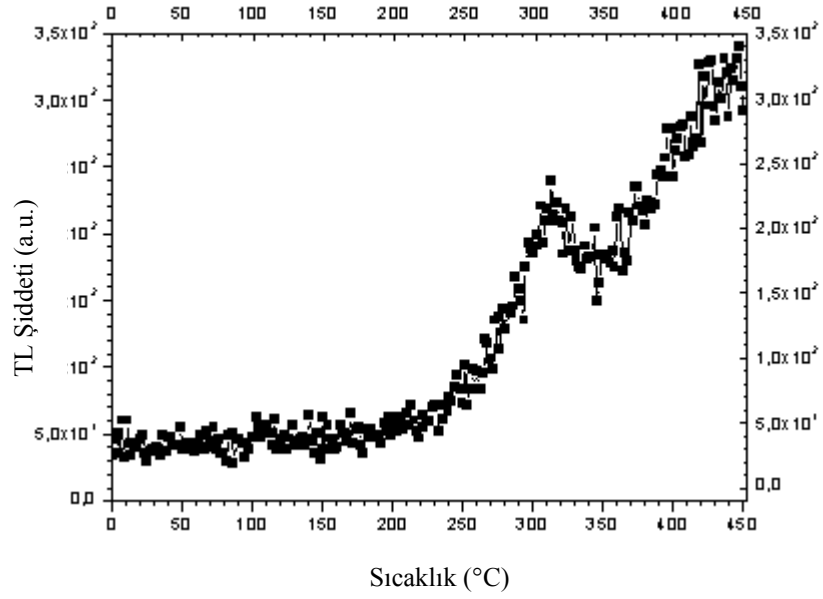
Sıcaklık (°C), (IV)

**Şekil 7.10.** Bir saat tavlanan onuncu örneğin; (I) doğal doz (natural) ışıma eğrisi, (II) 350°C’de tavlama ve farklı TL sıcaklıklarında okuma, (III) 400, 450, 500°C’de tavlama sonrası elde edilen ışıma eğrileri, (IV) 550, 600, 650, 700°C’de tavlama sonrası elde edilen ışıma eğrileri

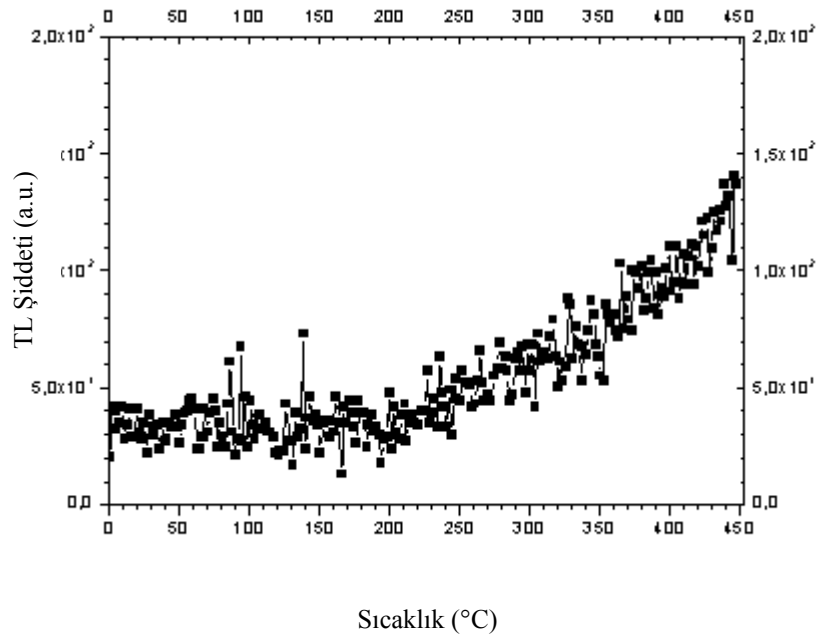
Grafiklerden de görüldüğü gibi tavlama sıcaklığı yükseldikçe TL şiddeti giderek azaldı. Yarım saat tavlanan birinci örnekte 500°C, 550°C, 600°C ve 650°C’de doğal doz tamamen silindi. 700°C’de kristal yapısı bozulmaya ve yeni tuzaklar oluşmaya başladı. Yarım saat tavlanan ikinci örnekte 500°C’de TL sinyali tamamen silindi. 550°C’de kristal yapı bozulmaya ve yeni tuzaklar oluşmaya başladı. Yarım saat tavlanan üçüncü örnekte 550°C’de kristal yapı bozulmaya başladı ve

600°C, 650°C ve 700°C’de TL sinyali tamamen silindi. Yarım saat tavlanan dördüncü örnekte 500°C’ye kadar doğal doz silinmemiştir. 550°C, 600°C, 650°C ve 700°C’lik tavlama ile TL sinyali tamamen silinmiştir. Yarım saat tavlanan beşinci örnekte 500°C’de doğal doz tamamen silindi. 550°C, 600°C ve 650°C’de kristal yapı bozulmaya ve yeni tuzaklar oluşmaya başladı. 700°C’de TL sinyali tamamen silindi. Bir saat tavlanan altıncı örnekte 550°C, 600°C ve 650°C’de sinyal tamamen silindi. Bir saat tavlanan yedinci örnekte 550°C, 600°C ve 650°C’de sinyal tamamen silindi. 700°C’de kristal yapısı bozulmaya ve yeni tuzaklar oluşmaya başladı. Bir saat tavlanan sekizinci örnekte 550°C, 600°C, 650°C ve 700°C’de sinyal tamamen silindi. Bir saat tavlanan dokuzuncu örnekte 550°C, 600°C ve 650°C’de sinyal tamamen silindi. Bir saat tavlanan onuncu örnekte 550°C, 600°C, 650°C ve 700°C’de sinyal tamamen silindi. 500 ve 550 sinyali tamamen silinebilen sıcaklıklar olduğu için ve bu sıcaklıklardan sonra kristal yapısı genelde bozulmaya başladığı için daha sonra hazırlanan 6, 12 ve 24 saat tavlanan örnek için bu sıcaklıkların kullanılmasına karar verildi.

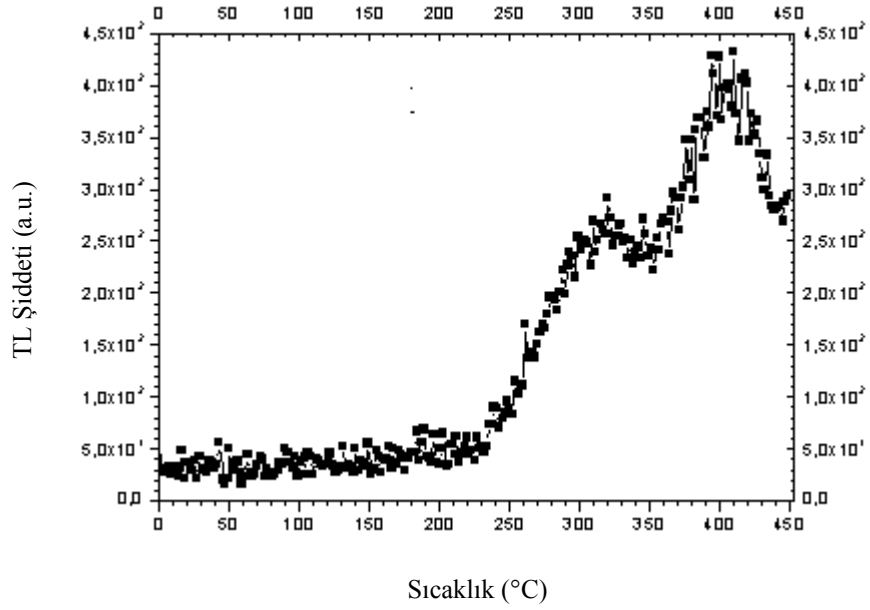
Daha sonra 6, 12 ve 24 saatte 500 ve 550°C’de tavlama üzere 6 tane örnek kullanıldı. Bunun için ikinci bir florit kristali alınarak agat havanda toz haline getirildi. Yine 90 ve 140 µ elekler kullanılarak örnek elendi. Örnekler 500°C’de ve 550°C’de 6, 12 ve 24 saat tavlanaarak  $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ışıma tepeleri elde edildi.



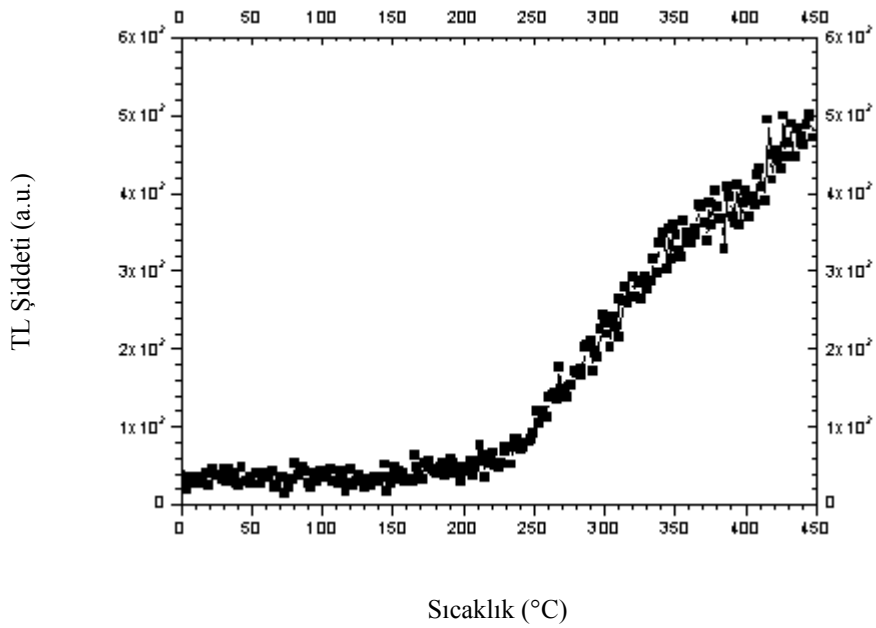
Şekil 7.11. 500°C’de 6 saat tavllanmış florit örneğinin Termolüminesans okuması



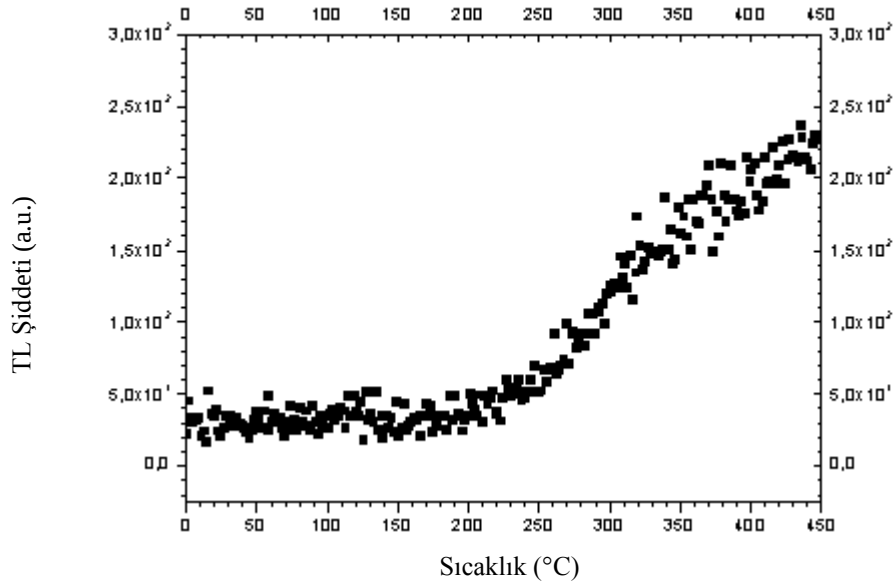
Şekil 7.12. 550°C’de 6 saat tavllanmış florit örneğinin Termolüminesans okuması



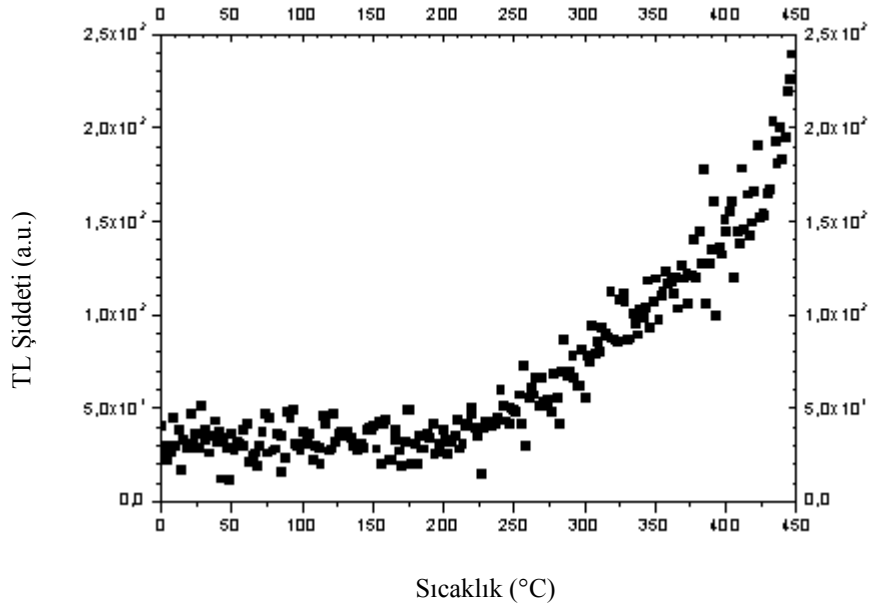
**Şekil 7.13.** 500°C’de 12 saat tavllanmış florit örneğinin Termolüminesans okuması



**Şekil 7.14.** 550°C’de 12 saat tavllanmış florit örneğinin Termolüminesans okuması



Şekil 7.15. 500°C’de 24 saat tavllanmış florit örneğinin Termolüminesans okuması



Şekil 7.16. 550°C’de 24 saat tavllanmış florit örneğinin Termolüminesans okuması

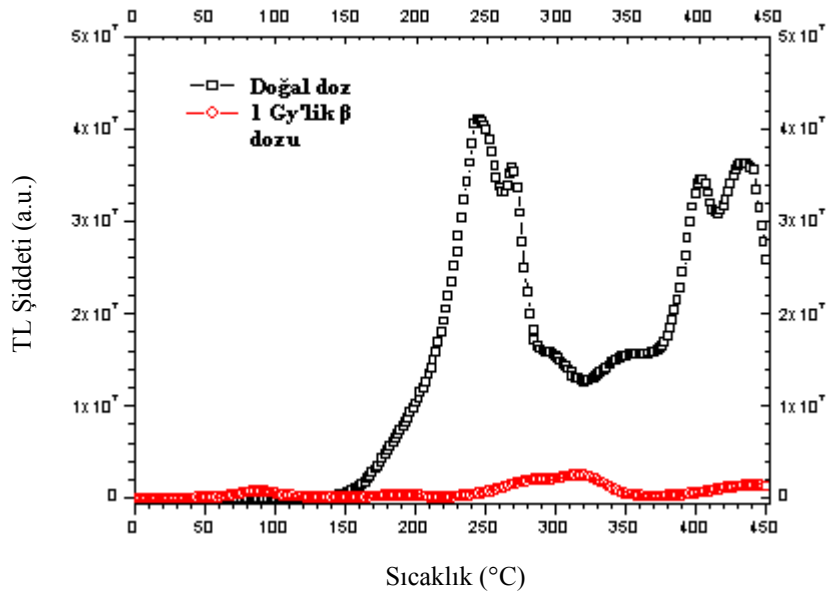
Grafiklerden de görüldüğü gibi 550°C’de 24 saat tavlama en uygun başlangıç ısısal muamele rejimi (initial thermal treatment regime) olarak seçilebilir. Çünkü TL sinyali tamamen silinmiştir. Buna benzer bir çalışma Sobrabi ve ark. tarafından da

yapılmıştır (1999). Aynı metodu kullanarak en uygun başlangıç ısısal muamele rejimi olarak kendi kullandıkları floritlerde 24 saat 500°C'yi seçmişlerdir.

## 7.2. Uygun Tavlama Süresinin ve Sıcaklığının Belirlenmesi Deneyleri

### 7.2.1. Tavlamasız TL Okuması

Bu deney için önce 0.071 g ağırlığında bir kristal florit örneği alındı. Örneğin ilk olarak doğal dozu ölçüldü ve fon (background) okuması yapıldı. Daha sonra  $1^{\circ}\text{C s}^{-1}$  ısıtma oranında 1 Gy doz verildi ve TL ölçümü yapıldı ve tekrar fon (background) okuması yapıldı.

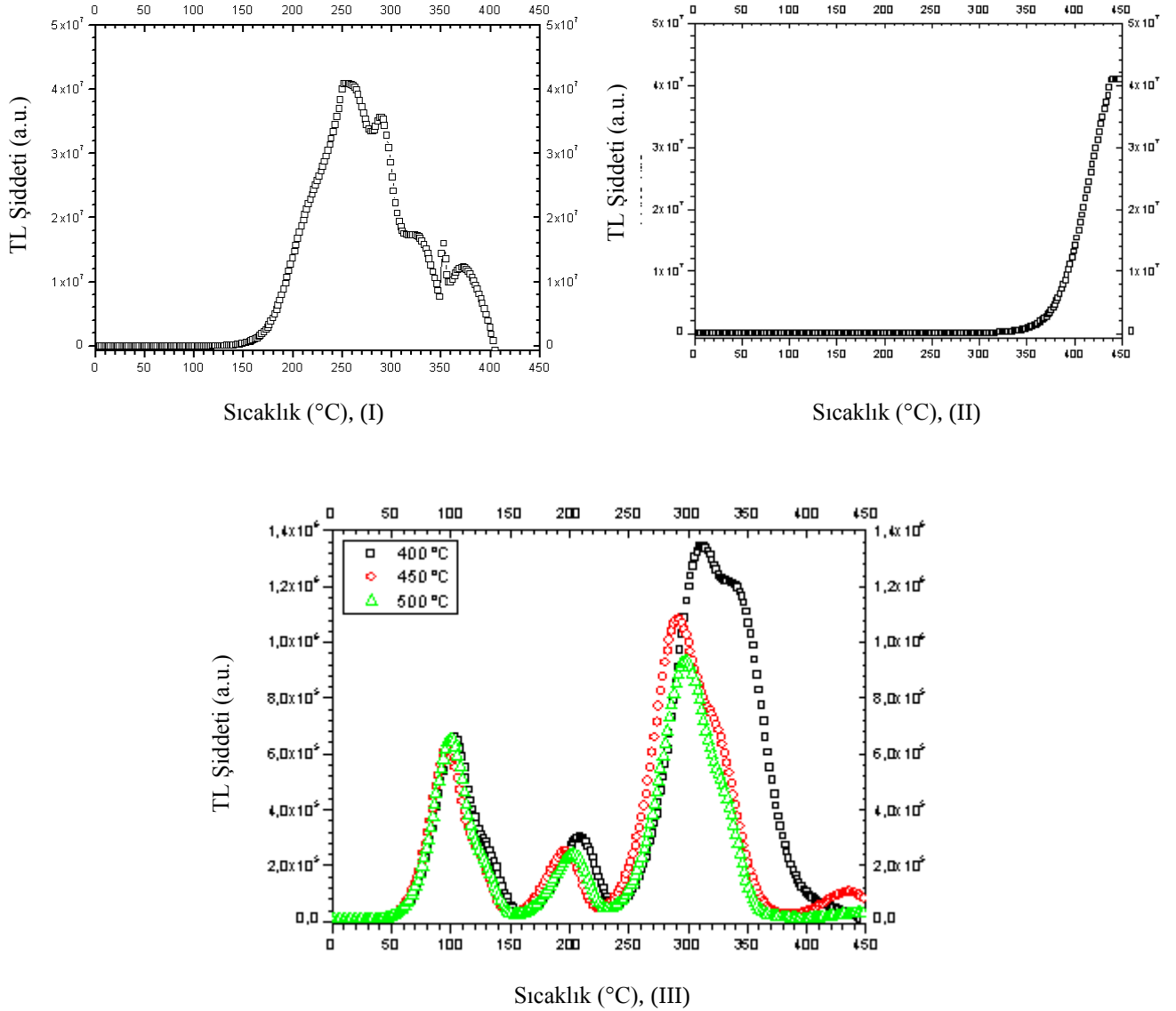


**Şekil 7.17.** Doğal ışıma eğrisi ve tavlama yapılmadan 1 Gy'lik  $\beta$  dozuna maruz bırakılan florit örneğinin TL okuması.

### 7.2.2. Değişik Tavlama Koşulları ile TL Okuması

Bu deney için 0.0071 g ağırlığında bir florit örneği alındı. Örnek herhangi bir işleme tabi tutulmadan önce doğal ışıma eğrisi elde etmek için TL okuması yapıldı. Daha sonra yeni bir TL okuması yapılarak fon (background) eğrisi elde edildi. Aynı

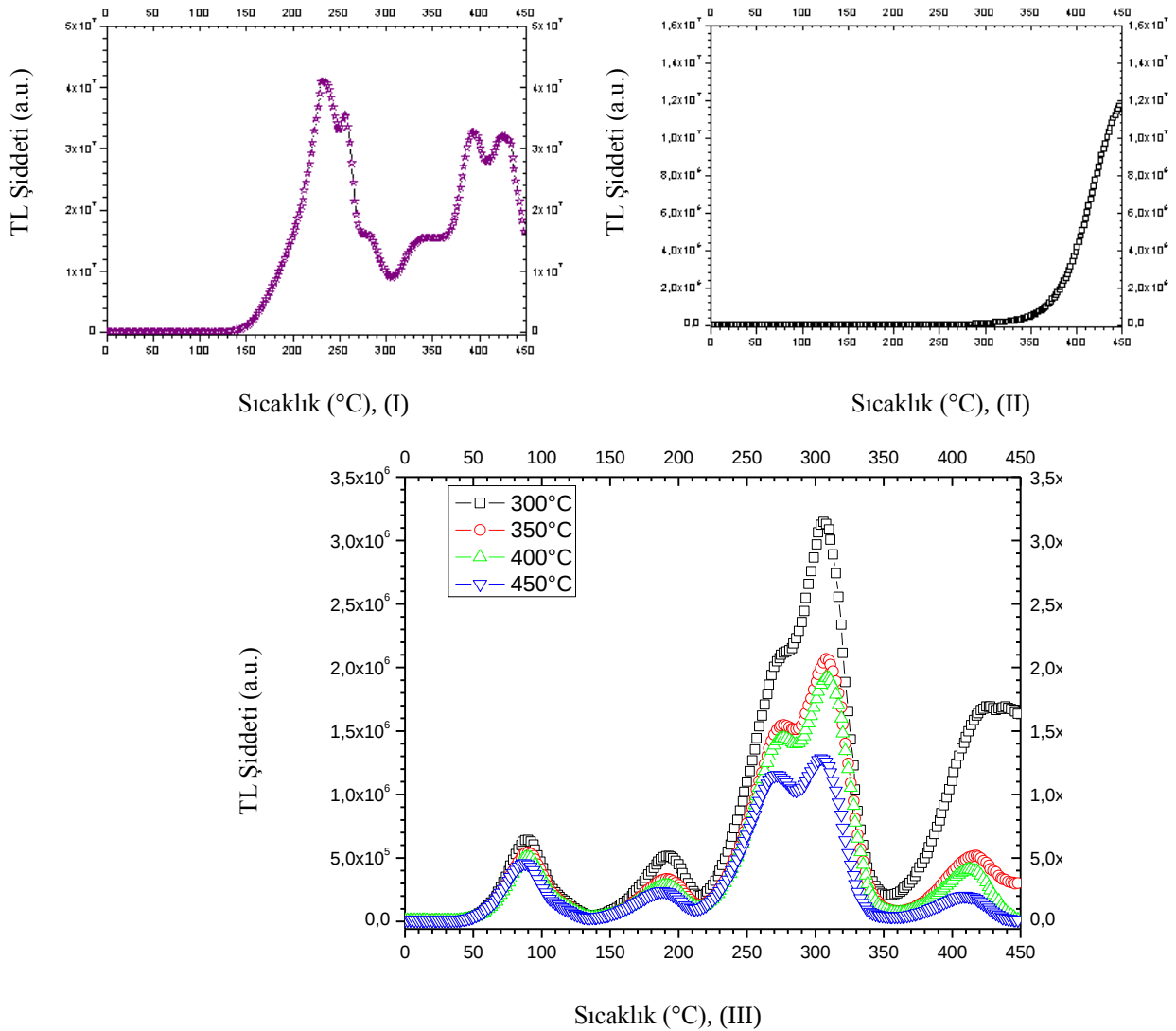
örnek sırasıyla 400°C, 450°C ve 500°C’de 15’er dakika tavlandıktan sonra 0.5 Gy radyasyon dozu verilerek 1°C/s ısıtma oranında TL ölçümleri alındı.



**Şekil 7.18.** Bir florit örneğinin doğal TL ışıma eğrisi ve farklı tavlama sıcaklıklarına maruz kaldıktan sonra TL okuması ile elde edilen TL ışıma eğrileri. (I) Natural ışıma eğrisi, (II) Fon (background) ışıma eğrisi, (III) Farklı tavlama sıcaklıklarındaki ışıma eğrileri.

Grafikte de görüldüğü gibi 102°C, 206°C, 310°C ve 336°C civarındaki ışıma tepeleri 400°C’lik tavlama sıcaklığında maksimuma ulaştığından dolayı en uygun tavlama sıcaklığı belirlenemediği için 0.0090 g ağırlığında yeni bir florit örneği

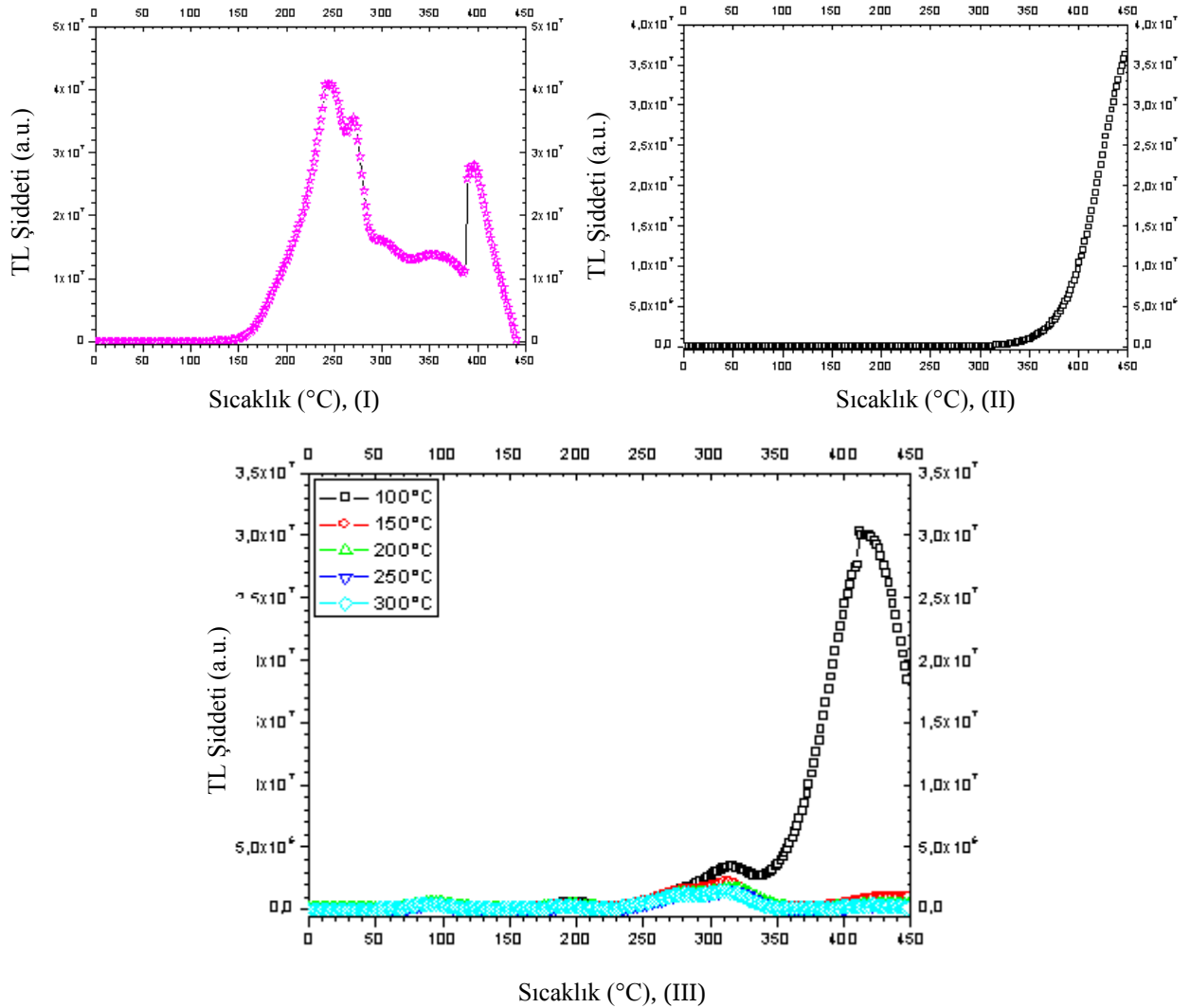
alındı. Yine önce doğal ve fon (background) eğrileri elde edildi. Daha sonra aynı örnek sırasıyla 300°C, 350°C, 400°C ve 450°C’de 15’er dakika tavlandıktan sonra 0.5 Gy  $\beta$  radyasyonu verilerek, 1°C/s ısıtma oranında TL ölçümleri alındı.



**Şekil 7.19.** Bir florit örneğinin doğal TL ışıma eğrisi ve farklı tavlama sıcaklıklarına maruz kaldıktan sonra TL okuması ile elde edilen TL ışıma eğrileri (I) Natural ışıma eğrisi, (II) Fon (background) ışıma eğrisi, (III) Farklı tavlama sıcaklıklarındaki ışıma eğrileri

Grafikten de görüldüğü gibi 85°C, 192°C, 270°C ve 310°C civarındaki ışıma tepeleri 300°C’lik tavlama sıcaklığında maksimuma ulaştığından dolayı en uygun

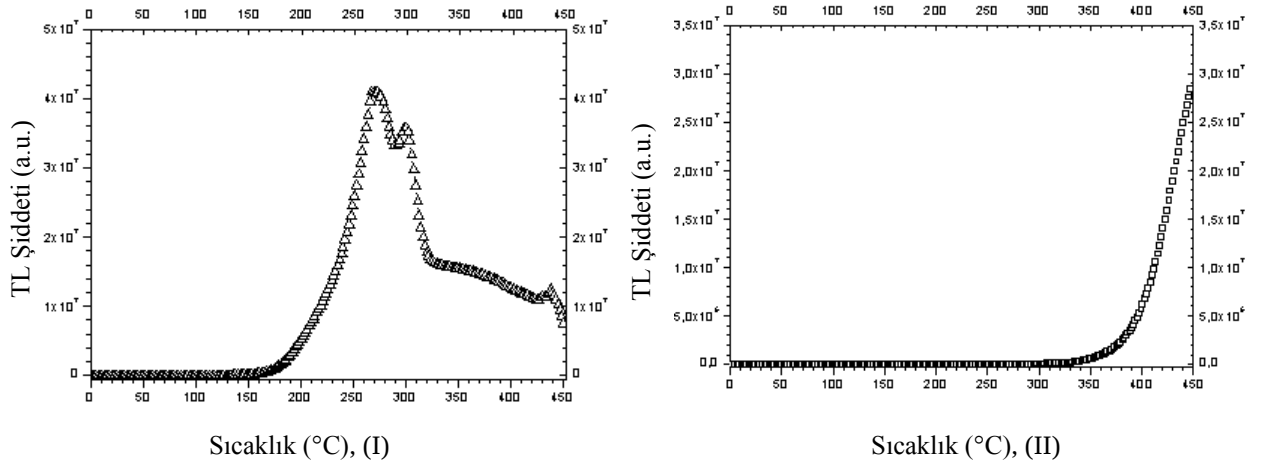
tavlama sıcaklığı belirlenemediği için 0.0084 g ağırlığında yeni bir florit örneği alındı. Yine önce doğal ve fon (background) eğrileri elde edildi. Daha sonra aynı örnek sırasıyla 100°C, 150°C, 200°C, 250°C ve 300°C’de 15’er dakika tavlandıktan sonra 0.5 Gy  $\beta$  radyasyonu verilerek, 1°C/s ısıtma oranında TL ölçümleri alındı.



**Şekil 7.20.** Bir florit örneğinin doğal TL ışıma eğrisi ve farklı tavlama sıcaklıklarına maruz kaldıktan sonra TL okuması ile elde edilen TL ışıma eğrileri (I) Natural ışıma eğrisi, (II) Fon (background) ışıma eğrisi, (III) Farklı tavlama sıcaklıklarındaki ışıma eğrileri

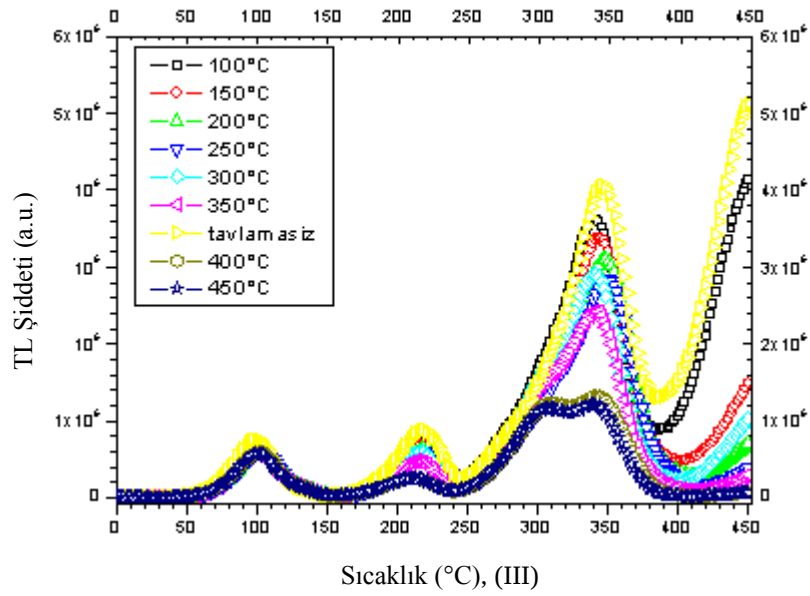
Grafikte de görüldüğü gibi 92°C, 190°C, 280°C ve 310°C civarındaki ışıma pikleri 100 °C’lik tavlama sıcaklığında maksimuma ulaştığından dolayı en uygun

tavlama sıcaklığı belirlenemediği için verilen dozun doz cevabı için yetersiz olabileceği düşünülerek doz miktarının değiştirilmesine karar verildi. 0.0137 g ağırlığında yeni bir florit örneği alındı. Yine önce doğal ve fon (background) eğrileri elde edildi.



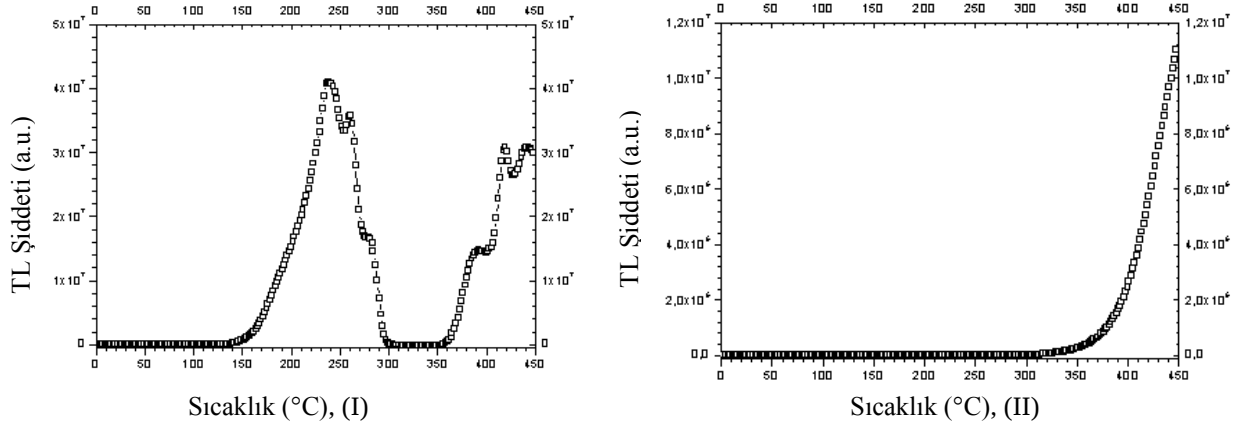
**Şekil 7.21.** Doğal ve fon (background) okuması sonucu elde edilen ışıma eğrileri  
(I) Natural ışıma eğrisi, (II) Fon (background) ışıma eğrisi

Daha sonra tavlamadan 1 Gy doz verilerek TL ışıma eğrisi elde edildi ve tekrar fon (background) okuması yapıldı. Daha sonra aynı örnek sırasıyla 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C ve 450°C’de 15’er dakika tavlandıktan sonra 1 Gy’lik  $\beta$  radyasyonu verilerek 1°C/s ısıtma oranında TL ölçümleri alındı.



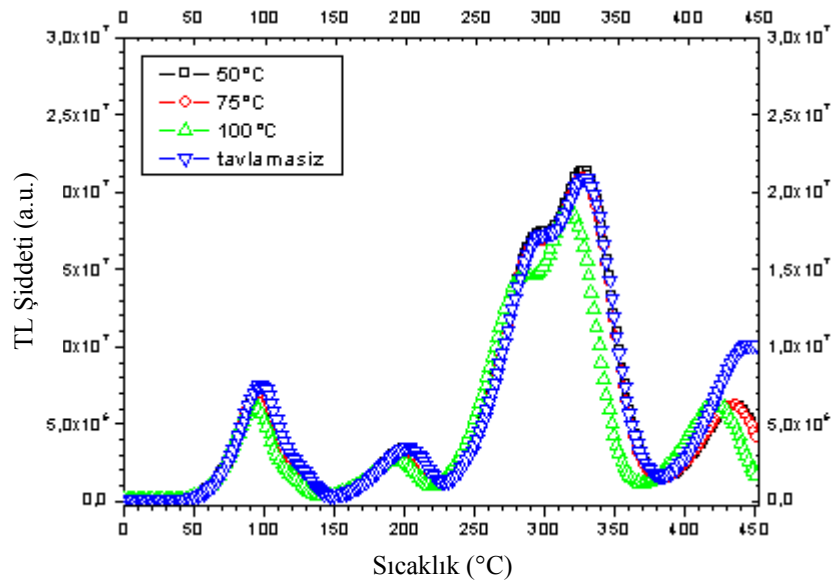
**Şekil 7.22.** Tavlamadan 1 Gy  $\beta$  dozu verilerek ve daha sonra farklı sıcaklıklarda tavlانarak elde edilen TL ışıma eğrileri.

Grafikte de görüldüğü gibi 100°C, 210°C ve 340°C civarındaki ışıma tepeleri 100°C'lik tavlama sıcaklığında maksimuma ulaştığından dolayı en uygun tavlama sıcaklığı belirlenemediği için doz arttırıldı. 0.0129 g ağırlığında yeni bir florit örneği alındı. Yine önce doğal ve fon (background) eğrileri elde edildi.



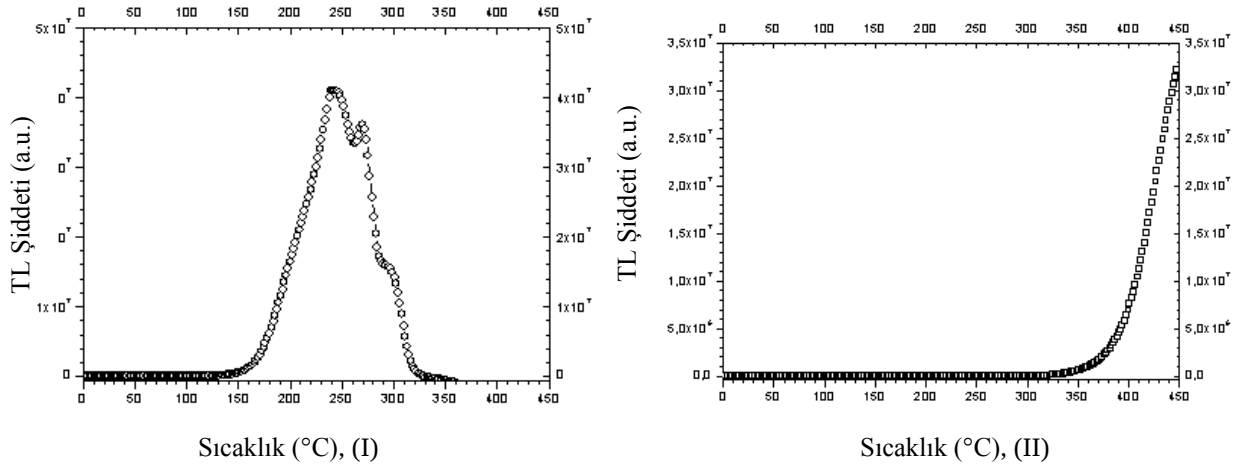
**Şekil 7.23.** Doğal ve fon (background) okuması sonucu elde edilen ışıma eğrileri  
(I) Natural ışıma eğrisi, (II) Fon (background) ışıma eğrisi

Daha sonra tavlamadan 5 Gy doz verilerek TL ışıma eğrisi elde edildi ve tekrar fon (background) okuması yapıldı. Daha sonra aynı örnek sırasıyla 50°C, 75°C ve 100°C’de 15’er dakika tavlandıktan sonra 5 Gy radyasyon dozu verilerek 1°C/s ısıtma oranında TL ölçümleri alındı.



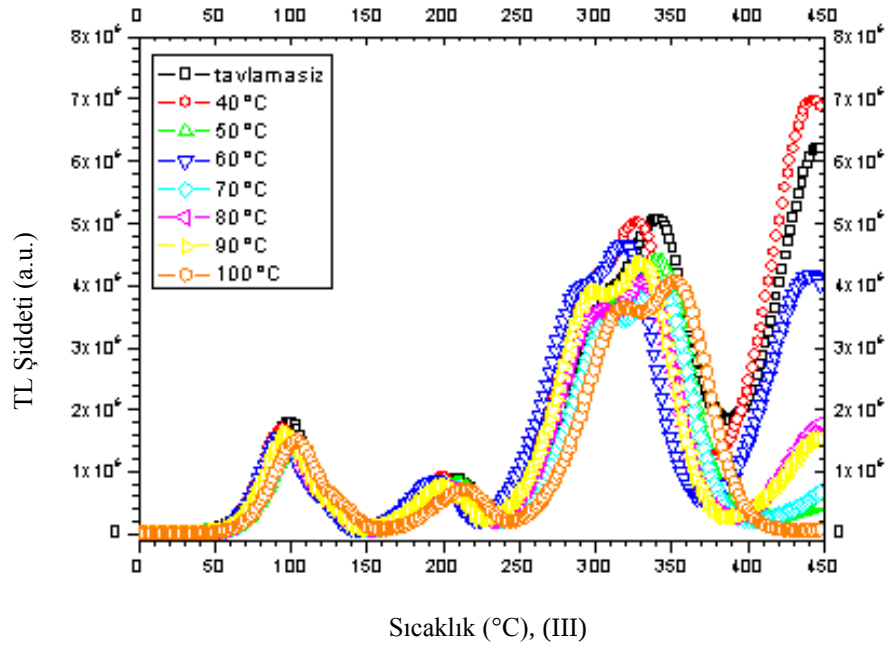
**Şekil 7.24.** Tavlamadan 5 Gy  $\beta$  dozu verilerek ve daha sonra farklı sıcaklıklarda tavlansarak elde edilen TL ışıma eğrileri

Grafikte de görüldüğü gibi 93°C, 1960°C, 295°C ve 322°C civarındaki ışıma pikleri 50°C'lik tavlama sıcaklığında maksimuma ulaştığından dolayı en uygun tavlama sıcaklığı belirlenemediği için 0.0197 g ağırlığında yeni bir florit örneği alındı. Yine kristalin doğal ve (background) eğrileri elde edildi



**Şekil 7.25.** (I) Natural ışıma eğrisi, (II) Fon (background) ışıma eğrisi

Daha sonra örneğe tavlamadan 1 Gy  $\beta$  dozu verilerek TL ışıma eğrisi elde edildi ve tekrar fon (background) okuması yapıldı. Daha sonra aynı örnek sırasıyla 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C ve 450°C'de 24'er saat tavlandı ve 1 Gy  $\beta$  radyasyonu verilerek 1°C/s ısıtma oranında TL ölçümleri alındı.



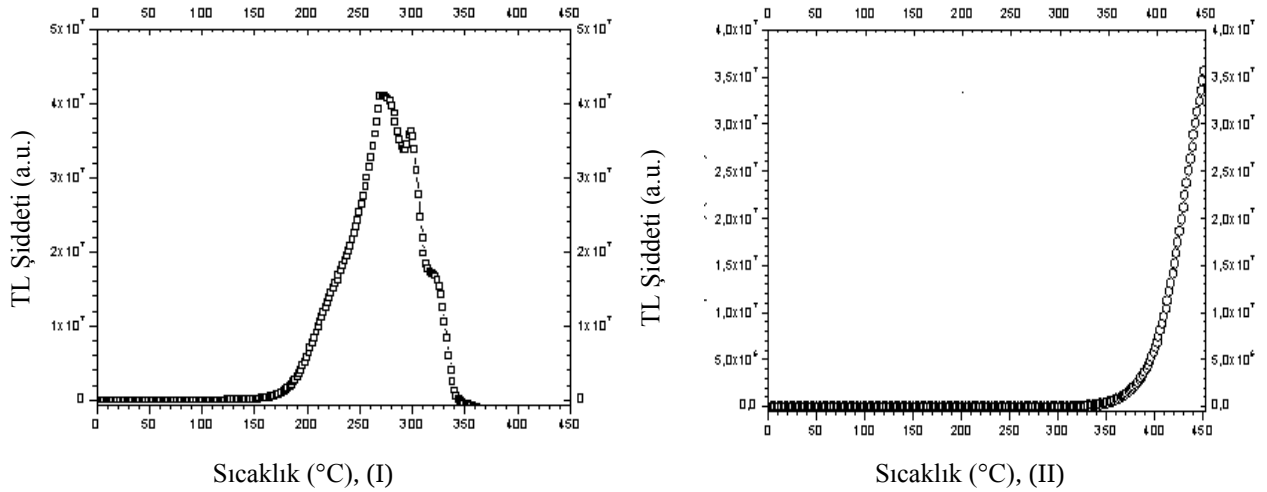
**Şekil 7.26.** Tavlamadan 1 Gy  $\beta$  dozu verilerek ve daha sonra farklı sıcaklıklarda tavlamanarak elde edilen TL ışıma eğrileri

Grafikte de görüldüğü gibi her iki örnek için ise 80°C, 1960°C, 280°C ve 324°C civarındaki ışıma pikleri 40°C'lik tavlama sıcaklığında maksimuma ulaştığından dolayı en uygun tavlama sıcaklığı ve zaman olarak bundan sonraki deneyler için 40°C'de 24 saat seçildi. Tavlama sıcaklığı düşük olduğu için süre uzun seçildi. Benzer bir çalışma Holmes ve ark. (2006) tarafından LiF kristali kullanılarak yapılmıştır.

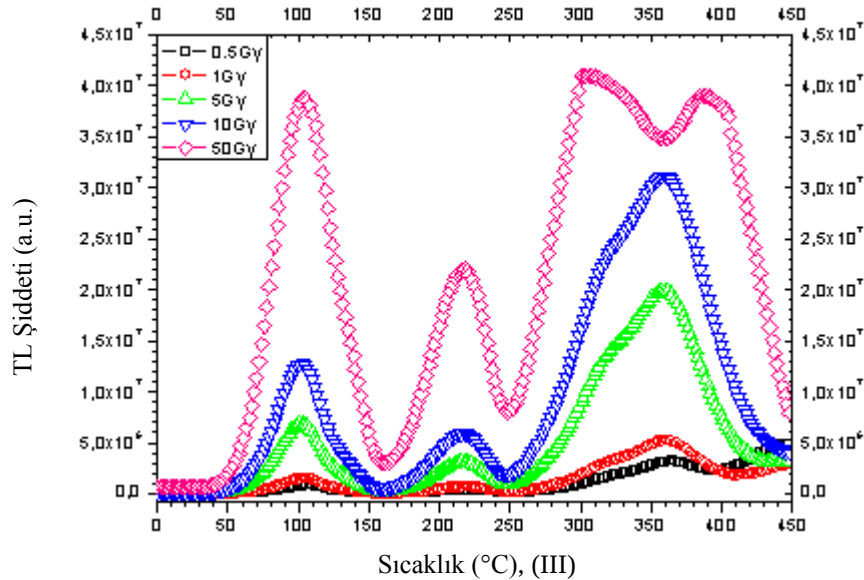
### 7.3. Değişken Doz Oranları Deneyleri

0.015 g ağırlığında yeni bir florit kristali alındı. Önce örneğin doğal TL okuması yapıldı ve fon (background) eğrisi elde edildi. Daha sonra doz vermeden önce örnek uygun tavlama sıcaklığı olarak belirlenen 40°C'de, 24 saat tavlandı. Daha sonra 10 dakika soğumaya bırakıldı. Soğuduktan sonra önce 0.5 Gy  $\beta$  ışınlamasına tabi tutularak  $1^{\circ}\square/\square$  ısıtma oranında TL ölçümü yapıldı ve ölçümün hemen ardından fon (background) okuması yapıldı. Daha sonra bu işlemler sırasıyla 1, 5, 10 ve 50 Gy için tekrar edildi. Farklı doz oranlarından elde edilen ışıma eğrileri şekilde

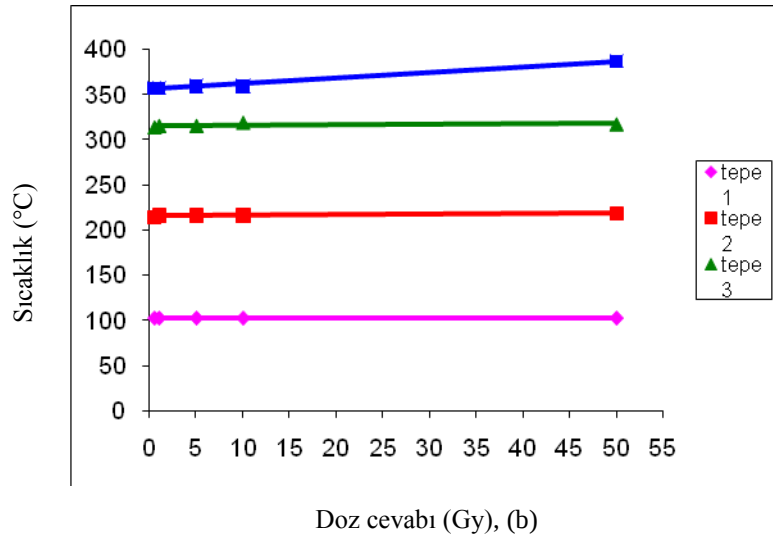
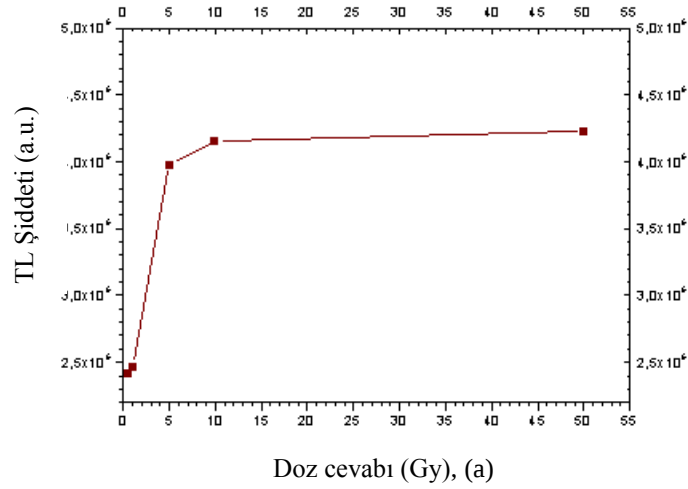
görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi tüm tepelerin TL şiddetleri artan doz oranı ile artmaktadır. Ayrıca termolüminesans şiddeti ve soğurulan doz arasında 1 Gy'e kadar linner bir ilişki görülmektedir (Şekil 7.29 (a)) ve tepeler artan doz oranıyla birlikte sağa doğru çok az kaymaktadır (Şekil 7.29 (b))



Şekil 7.27. Örneğin (I) Natural ışıma eğrisi, (II) Fon (background) ışıma eğrisi



Şekil 7.28. (1) Doğal doz okuması, (2) background ölçümü, (3) Farklı doz oranları deneyinden (0.5-50 Gy ) elde edilen ışıma eğrisi

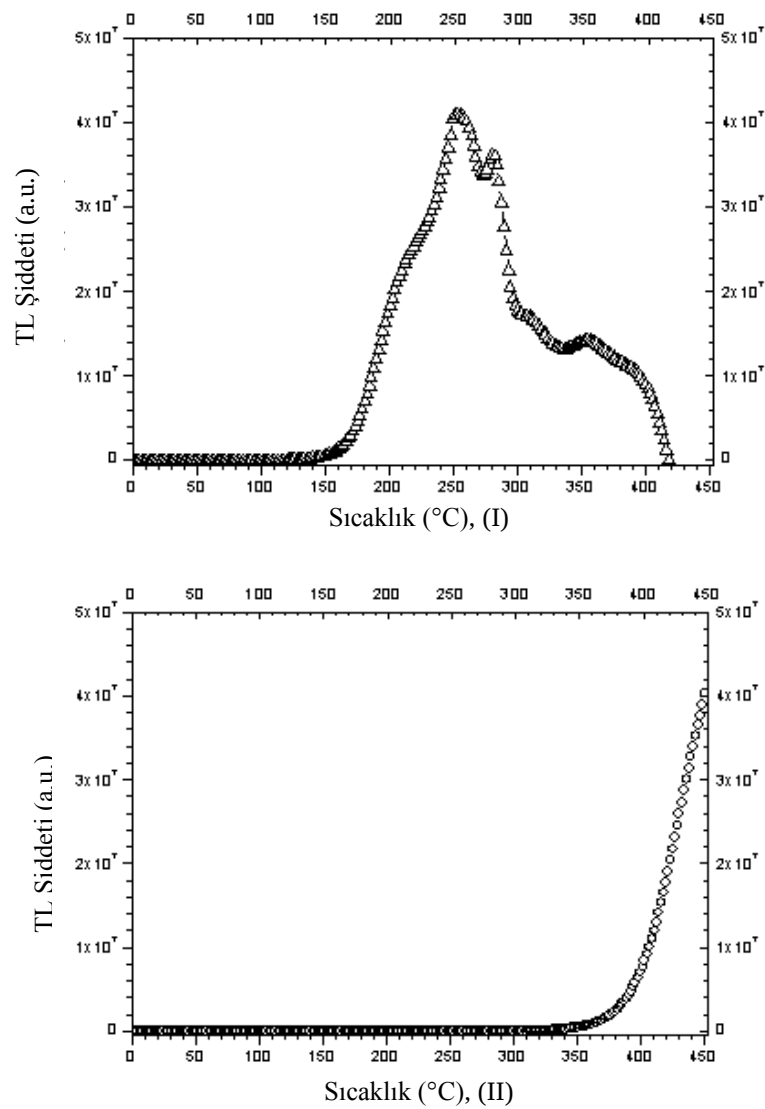


**Şekil 7.29.** a) Tepe 1 için (100°C) Termoluminesans şiddeti ve doz oranı oranı arasındaki lineer ilişki b) Farklı doz oranları deneyinden elde edilen TL şiddetlerinin tepe noktalarının kaymaları

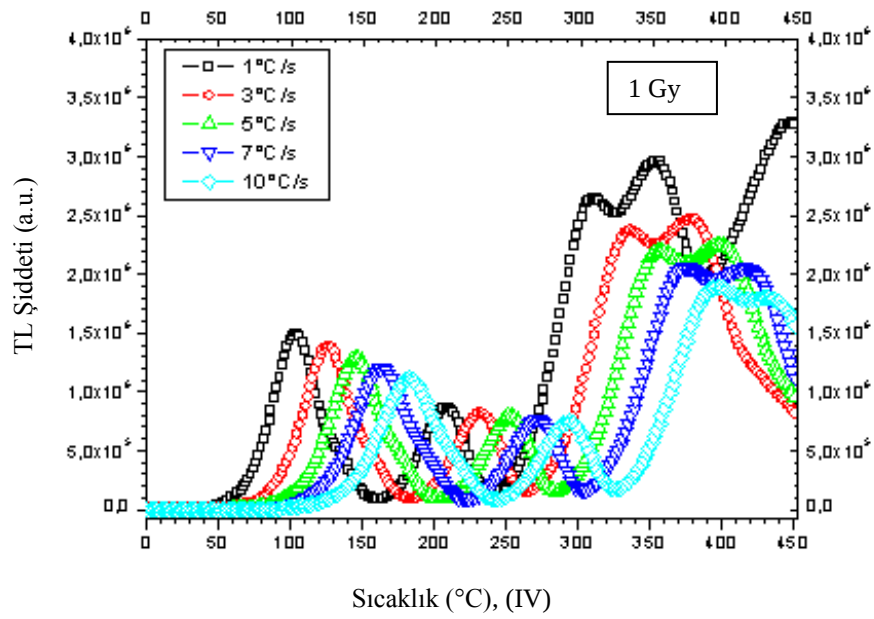
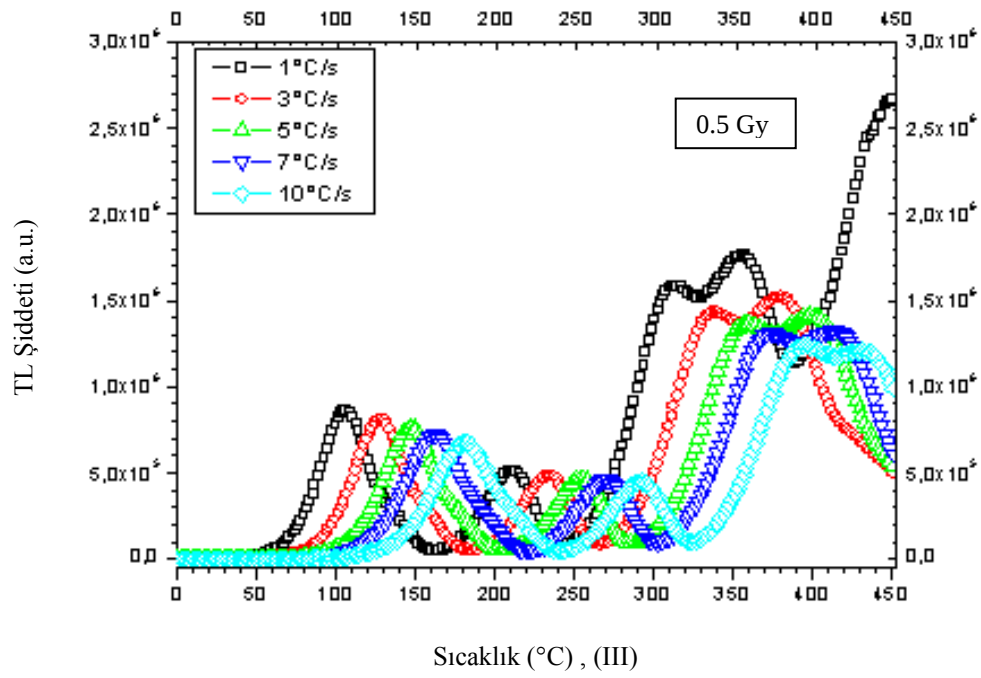
#### 7.4. Farklı Isıtma Oranları Deneyleri

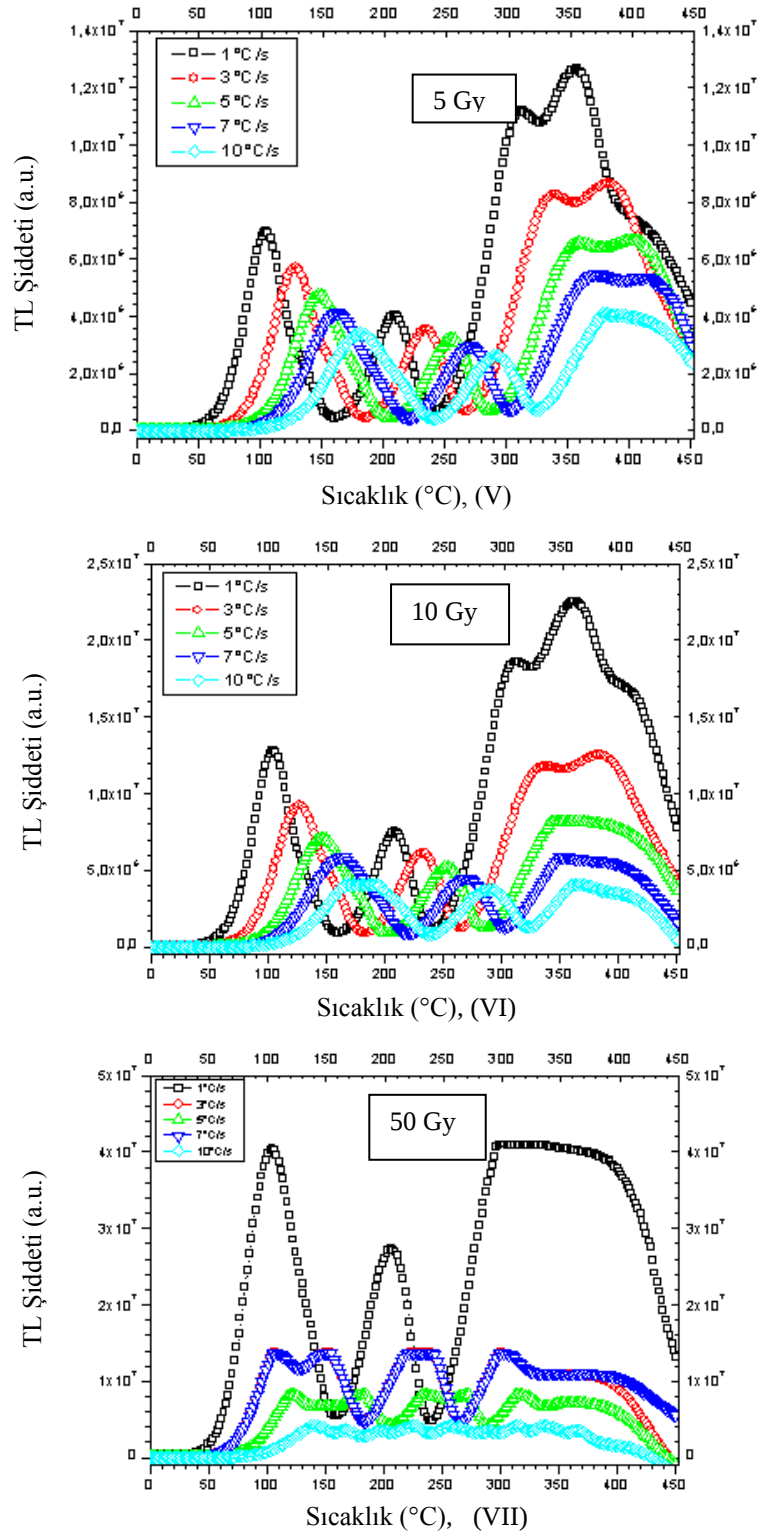
Çalışılan florit ( $\text{CaF}_2$ ) örneğine herhangi bir işlem yapılmadan önce doğal TL okuması ve ardından fon (background) ölçümü yapıldı. Daha sonra örnek 40°C'de 24 saat tavlandı ve 10 dakika soğumaya bırakıldı. Soğuduktan sonra 0.5 Gy  $\beta$  radyasyonuna tabi tutularak  $1^\circ\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranıyla TL ölçümü yapıldı. Bu işlem  $3^\circ\text{C}/\text{s}$ ,  $5^\circ\text{C}/\text{s}$ ,  $7^\circ\text{C}/\text{s}$  ve  $10^\circ\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranları ile tekrarlandı. Daha sonra aynı

ısıtma oranları kullanılarak ölçümler sırasıyla 1 Gy, 5 Gy, 10 Gy ve 50 Gy için tekrarlandı ve ölçüm sonuçlarına bağlı olarak sıcaklığa karşılık TL ışıma şiddetlerinin grafiği çizildi. Grafiklerden de görüldüğü gibi TL şiddeti artan ısıtma oranıyla birlikte azalmaktadır (Şekil 7.32). En iyi doz cevabı  $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$  ısıtma oranında elde edilmiştir. Doz büyüdükçe bu özellik daha da belirginleşmektedir. Tepe noktaları artan ısıtma oranıyla sağa doğru kaymaktadır (Şekil 7.31).

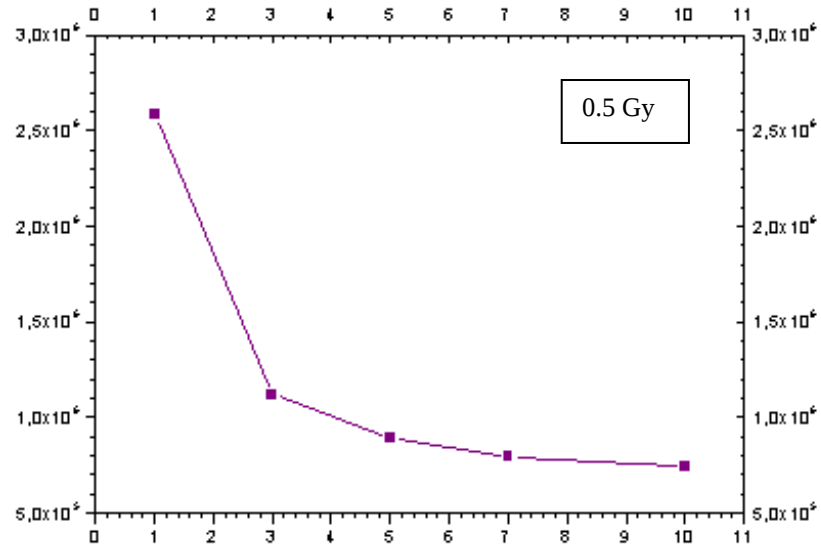


Şekil 7.30. Örneğin (I) Natural ışıma eğrisi, (II) Fon (background) ışıma eğrisi





Şekil 7.31. (III), (IV), (V), (VI) ve (VII) farklı ısıtma oranlarında ölçülen ışıma eğrileri



Şekil 7.32. Artan ısıtma oranı ile TL şiddetinin azalma

**8. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada İç Anadolu bölgesinde bulunan Kırşehir ilinin Akçakırtı ilçesinin Çiçekdağı Masifinden alınan doğal florit ( $\text{CaF}_2$ ) kirstallerinin termoluminesans (TL) ışıma tepelerine tavlamanın etkisi çalışıldı. Bu çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar bulundu.

Termal işlemler sonucunda tüm doğal dozu silmek için yapılan çalışmalardan 550°C'de 24 saat tavlamanın en uygun başlangıç ısısal muamele rejimi (initial thermal treatment regime) olarak seçilebileceği gözlenmiştir.

400°C'den 500°C'ye kadar 50°C'lik artışlarla 15'er dakika tavlandıktan sonra 0.5Gy doz verilerek 1 °C/s ısıtma oranıyla alınan TL ölçümlerinde belli bir değere kadar artış, sonra düşüş beklenirken, en yüksek TL şiddeti 400°C'de gözlenmiş ve bu yüzden en uygun tavlama sıcaklığına karar verilememiştir. 300°C'den 450°C'ye kadar 50°C'lik artışlarla 15'er dakika tavlandıktan sonra 0.5Gy doz verilerek 1 °C/s ısıtma oranıyla alınan TL ölçümlerinde de en yüksek TL şiddeti 300°C'de elde edilmiştir bu yüzden en uygun tavlama sıcaklığına karar verilememiştir. 100°C'den 300°C'ye kadar 50°C'lik artışlarla 15'er dakika tavlandıktan sonra 0.5 Gy doz verilerek 1 °C/s ısıtma oranıyla alınan TL ölçümlerinde en yüksek TL şiddeti 100°C'de gözlenmiş ve uygun tavlama sıcaklığı belirlenememiştir. Bu sefer dozun değiştirilmesine karar verilmiş böylece floritin doz duyarlılığı da incelenmiştir. Bu amaçla örnek 100°C'den 500°C'ye kadar 50°C'lik artışlarla 15'er dakika tavlandıktan sonra 1 Gy doz verilerek 1 °C/s ısıtma oranıyla alınan TL ölçümlerinde en yüksek TL şiddeti 100°C'de gözlenmiş yine uygun tavlama sıcaklığı belirlenememiştir. Yine doz değiştirilerek 50°C'den 100°C'ye kadar 25°C'lik artışlarla 15'er dakika tavlandıktan sonra 5 Gy doz verilerek 1 °C/s ısıtma oranıyla alınan TL ölçümlerinde belli bir değere kadar artış sonra düşüş beklenirken, en yüksek TL şiddeti 50°C'de gözlenmiş ve bu yüzden en uygun tavlama sıcaklığına karar verilememiştir. Daha sonra tekrar sıcaklığın düşürülmesine ve dozun azaltılmasına karar verilmiştir. Çünkü kristalin dozimetre olarak kullanılabilmesi için en küçük dozları dahi ölçebilmemiz gerekir.

40°C'den 100°C'ye kadar 10°C'lik artışlarla 24'er saat tavlandıktan sonra 1 Gy sabit  $\beta$  dozu verilerek 1 °C/s ısıtma oranıyla alınan TL ölçümlerinden, 40°C'lik tavlama sıcaklığında TL ışıma tepelerinin en yüksek doz tepkisi verdiği tespit edilmiştir.

Bu sefer 40°C'de 24 saat tavlanan doğal florit kristaline 0.5 Gy ile 50 Gy arasındaki değişik doz değerlerinin TL ışıma tepeleri araştırıldı ve tüm ışıma tepelerinin ışıma tepesi şiddetlerinin artan doz oranı ile 1 Gy'lik doz oranına kadar doğrusal olarak arttığı 1 Gy'lik doz miktarının üzerindeki doz değerlerindeki artışın doğrusal olmadığı belirlendi.

40°C'de 24 saatlik tavlama işleminden sonra doğal  $\text{CaF}_2$  kristaline 0.5Gy doz verilerek 1 °C/s'den 10 °C/s'ye kadar değişen farklı ısıtma oranlarında sıcaklığın fonksiyonu olarak TL ışıma tepelerinin grafikleri çizildi. TL ışıma tepesi şiddetlerinin artan ısıtma oranı ile azaldığı ve TL ışıma tepelerinin de artan ısıtma oranı ile yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı gözlemlendi. En iyi doz cevabı ise 1 °C/s'lik ısıtma oranında elde edilmiştir.

Bu çalışmaya konu olan İç Anadolu Bölgesi Kırşehir ili Çiçekdağı yöresinden alınan doğal floritin ( $\text{CaF}_2$ ) 40°C'de 24 saat tavlandıktan sonra 1 Gy'lik doz miktarına kadar 1 °C/s ısıtma oranında termoluminesans (TL) ölçümleri yapılarak çok iyi bir termoluminesans dozimetre (TLD) olarak kullanılabileceği söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- ADAM, G., KATRIEL, J., 1971. Proc. 3rd. Int. Conf. Lumin. Dosim. (Riso), 9.
- BALOGUN, F. A., AKANLE, A. O., TUBOSUN, L. A., OJO, J. O., ADESANMI, C. A., AJAO, J. O., SPYROU, N. M., 1997. INNA In the Determination of Elemental Consistents of a Natural Fluorite, J. Radiational Nucl. Chem., 222 (12), 35-38.
- BALOGUN, F.A., OJO, J. O., OGUNDERE, F. O., FASASI, M. K., HUSSEIN, L. A., 1999. Tl Response of Natural Fluorite, Radiation Measurements 30: 759-763.
- BANGERT, U., THIEL, K., AHMED, K., TOWNSEND, P. D., 1982. Radiat. Effects, 64, 143, 64, 153.
- BANGERT, U., THIEL, K., AHMED, K., TOWNSEND, P.D., 1982b. Radiat. Eff., 64, 153.
- BASSI, P., BUSUOLI, G., RIMONDI, O., 1977. Nucl. Inst. Meth., 143, 195.
- BECKER, K., 1973. Solid State Dosimetry, CBC Press, Cleveland.
- BINDER, W., CAMERON, J.R., 1969. Health phys, 17, 613.
- BINDI, R., LAPRAZ, D., IACCONI, P., BOUTAYEH, S., 1994. J. Phys. D. Appl. Phys., 27, 2395.
- BOS, A. J. J., 2001. On The Energy Conversion in Thermoluminescence Dosimetry Materials, Radiation Measurements 33737-744.
- BÖHN, M., IACCONI, P., KROMN, K.D., SCHARMANN, A., 1994. Phys. Stat. Sol. (a) 146, 757.
- BRAUNLICH, P., (ED.), 1979. Thermally Stimulated Relaxation in Solids, Springer-Verlag, Berlin.
- BRINCK, W., GROSS, K., GELS, G., PARTRIDGE, J., 1977. Health Phys, 32, 221.
- BROVETTO, P., DELONAS, A., FLORIS, A., MAZIA, V., MURGIA, M., SPANO, G., 1989. Investigation on  $\text{CaF}_2$  Lattice Defects by Thermoluminescence Experiments, Il Nuovo Cmento D, 12(12): 1651-1665.

- BURGKHARDT, B., SINGH, D., PIESCH, E., 1977. Nucl. Inst. Meth., 141, 363.
- CAMERON, J. R., SUNTHRALINGHAM, N., KENNEY, G. N., 1968. In Thermoluminescence Dosimetry, Universty of Wisconsin Press, Madison, p. 48.
- CASTIGLIONI, M., MARTINI, M., SPINOLO, G., VEDDA, A., 1994. Radiat Meas, 23, 361.
- CHANDRA, B., BHATT, R.C., SUPE, S.J., 1981. Nucl. Inst. Meth. 184, 549.
- CHENI, R, McKEEVER, S.W.S., 1997. Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena. World Scientific Publishing Co. Ptc. Ltd, 559p.
- CHEN, R. & KIRSH, Y., 1981. Analysis of Thermally Stimulated Processes, Pregamon Press, Oxford.
- CLAFFEY, E.W., CLICK, C.C., ATTIX, F.H., 1968. Proc. 2nd. Int. Conf. On Luminescent Dosimetry, Gatligberg, p. 302.
- CROISSETTE, D.I., 1965, Prentice Hall Electrical Engineering Series Transistor, Preatice Hall Inc, 22-56, Englewood Cliffs, N.J.
- CURIE, D., 1960. Luminescence in Crystals, Methuen, London.
- DANIELS, F., BOYD, C.A., SAUNDERS, D.F., 1953. Science, 117, 343.
- DEKKER, H., 1976. Health Phys, 30, 399.
- DEXTER, D.L., KLINK, C.C., RUSSEL, G.A., 1955. Phys. Rev., 100, 603.
- DUBOURG, R., SCVOERER, M., BERGER, R., DUMEREG, B., 1989. Phys. Stat. Sol (a) 115, 335.
- DURLU, T.N., 1992. Katuhal Fiziğine Giriş. İkinci Baskı Set Ofset Ltd. 125-145, Ankara.
- DRISOL, C.M.H., FRANCIS, T.M., RICHARDS, D.J., 1984. The Response of Thermoluminescent Materials to Beta Radiation, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 9, No. 4, pp. 295-298.
- DURAN, M.N., 2002. Orta Anadolu Floritlerinin Termolüminesans Özellikleri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstütüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 63s.
- EMICO, O., SHIGUEO, W., 1972. UV Induced Thermoluminescence on Natural Calcium Fluorite, Health Physics, 23(3); 377-382

- FAIN, J., SANZELLE, S., MIALLIER, D., MONTRET, M., PILLEYRE, TH., 1994. Radiat. Meas., 23, 287.
- FUKUDA, Y., (2008). Thermoluminescence in Calcium Fluoride-Doped With Terbium and Gadolinium Ions, Radiation Measurements 43, 455-458.
- FURETTA , C., LEE Y.R., 1983. Annealing and Fading Properties of  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$  (TLD-300), Radiation Protection Dosimetry, Vol. 5, No. 1, 57-63
- FURETTA, C., WENG, P.S., 1998. Operational Thermoluminescence Dosimetry, World Scientific Publishing Co. Ptc. Ltd, 251p.
- GARLICK, G.F.J., 1949. Luminescent Materials, Oxford Universty Press, London.
- GARLICK, G.F.J. & WILKINS, M.H.F., 1945. Proc. Roy. Soc. Lond., 184,408.
- GARLICK, G.F.J. & GIBSON, A.F., 1948. Proc. Phys. Soc., 60, 574.
- GASSIOT, J., FILLAND, J.P., 1977. J. Appl. Phys., 48, 3171.
- GINTHER, R.J., KIRK, R.D., 1957. J. Electrochem Soc., 104, 365.
- GORBICS, S. G., ATTIX, F. H., KERRIS, K., 1973. Health Phys, 25, 499.
- GRANT, R.M., CAMERON, J.R., 1966. J. Appl. Phys., 37, 3791.
- GUGGENHEIÖ, H., 1963. J. Appl. Phys., 34, 2482.
- GÜNEŞDOĞDU, S.,1998. Termolüminesans Yöntemiyle Kuvars Kristalinin Tuzak Enerji Parametrelerinin Belirlenmesi Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 86s.
- HAGEBEUK, H. J. L., KIVITS, P., 1976. Physics, 83B, 289.
- HAGEKYRAKOU, K., FLEMING, R.J., 1982. J. Phys. D: Appl. Phys., 15, 1795.
- HAJEK, M., BERGER, T., BERGMANN, R., VANA, N., UCHIHORI, Y., YASADA, N., KITAMURA, H., 2008. Let Dependence of Thermoluminescent Efficiency and Peak Height Ratio of  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ , Radiaion Measurements 43, 1135-1139.
- HALPERIN, A., BRANER, A.A., 1960. Phys. Rev., 117, 408.
- HENNINGER, J., HORLBECK, B., HUBNER, K., PROKERT, K., 1982. Nucl. Inst. Meth., 204, 209.
- HASHIMOTO, T., YANAGAWA, Y., YAWATA, T., Blue and Red Thermoluminescence of Natural Quartz in the Temperature Region from-196 to 400°C, Radiation Measurements 42, 341-346.

- HOLMES, S., DEWERD, L., MICKA, J., Med. Phys. 33(6), p. 2121-2121.
- HSU, P.C., JAOT, J.C., WENG, P.S., 1984. Annealing Properties of  $\text{CaF}_2$ , *Tm*, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 11, No. 2, 123-125.
- JABLOWSKI, A., 1935. Z. Phys, 94, 38.
- JAIN, V.K., 1984. In Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry, vol 2, (Y.S. Hoorowitz Ed.) C.R.C Press, Boca Raton, Fla.
- KETIN, I., 1959. Über Alter und Art der Kristallinen Gesteine und Erzlagerstaetten in Zentral Anatolien Berg. und Hüttenm Monatsh. 104,8
- KHARITA, M.H., STOKES R., DURRANI, S.A., 1995. TL and PTTL in Natural Fluorite Previously Irradiated with Gamma Rays and Heavy Ions, pp. 469-472 (4).
- KIRSH, Y., KRISTIANPOLER, N., 1976. Defects Induced in Alkaline Earth Fluorides by far U.v. Irradiation, Colloque C7, supplement au n°12, Tissue 37, 216-219.
- KIYAK, N.G., BULUS, E., 2001. Effect of Annealing Temperature on Determining Trap Depths of Quartz by Various Heating Rates Method, Radiation Measurements 33, 879-882.
- KLASEMS, H.A., 1953. J. Electrochem Soc., 100, 72.
- LEWANDOWSKI, A.C., MARKEY, B.G., McKEEVER, S.W.S., 1994. Phys. Rev. B: Cond. Mat., 49, 8029.
- LUCAS, A.C., KASPUR, B.M., 1977. Proc. 5th. Int. Conf. Lumin. Dosim., Sao Paulo, 131.
- MANDOWSKI, A., SWIATEK, J., 1994. Diff. Defects Data B: Sol. St. Phenom., 37/38, 249.
- MANGALA, M. J., PATEL, J. P., 1996. X-Ray Fluorescence of Fluorite Minerals for Major and Trace Constituents, Jnl. Trace Microprobe Techn, 14 (4), 703-710.
- MANRIQUE, J., ANGALO, S., PARDO, M.P., GASTESI, R., DE LA CRUZ, A., PEREZ, A., 2006. Thermoluminescence Spectra of Natural  $\text{CaF}_2$  Irradiated by 10 MeV Electrons, Radiation Measurements 41, 145-153.

- MARIA, R.K., 2002. Thermoluminescence Dosimetry Application in Environmental Monitoring, Vol. 2, No. 1, 2-16.
- MARRON, M. J., ATTIX, F.H., 1964. Health Phys, 10, 431.
- MASSILON, J.L.G., GAMBON-DEBUEN, I., BUENFIL, A.E., MONROY-RODRIGUEZ, M.A., BRNADAN, M.E., 2008.  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$  (TLD-300) Thermoluminescence Response and Glow Curve Induced by  $\gamma$ -Rays and Ions, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 266 (5), p. 772-780.
- MATHAR, V. K., 1993. In: Thermoluminescent Materials (D. R. Vij Ed.) (Prentice Hal, Englewood Cliffs. NJ), p. 181.
- MAYBUGH, M.R., CHRISTY, R.W., JOHNSON, N.M., 1968. Proc. 2nd. Int. Conf. Lominescent Dosimetry, Gatlinberg, p. 294.
- MAYBUGH, M.R., 1970. J. Appl. Phys., 48, 4776.
- McKEEVER, S. W. S., 1985. Thermoluminescence of Solids, Cambridge Universty Press, USA, 374p.
- McKEEVER, S. W. S., LEWANDOWSKI, A. C., MARKEY, B. G., 1993. A New Look at Thermoluminescence Kinetics, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 47, No. 114, pp. 9-16.
- McMASTERS, JASSEMNEJED, McKEEVER, 1987. Some Observations Regarding the Effects of Backge-round Rare-Earth Impurities on the Thermoluminescence and Optiksel Absorbtion of  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ , Appl. Phys, 20, 1182-1190.
- McCOLLOUGH, E. C., FULLERTON, G.D., CAMERON, J.R., 1972. J. Appl. Phys, 43, 77.
- MILLER, S.D., ENDRES, G.W.R., McDONALD, J.C., SWINTH, K.L., 1988. Radiate Prot. Dosim., 25, 201.
- MTA, 1979. Türkiye Snai Kalkınma Bankası Araştırma Müdürlüğü Kimya Sektör Araştırma Yayınları, No; 4, İstanbul, 100 s.
- NAMBI, K.S.V., 1982. Nucl. Instum. Meth., 197, 453.
- NICHOLS, K.G., VERVOLIN, E.V., 1966. Transistor Physics, 9-11, Cambridge.
- NINK, R., KOS, H.J., 1980. J. Nuch. Inst. Meth., 175, 15, 24.

- OGUNDERE, F. O., BALOGUN, F. A., HUSSEIN, L. A., (2005). Heating Rate Effects on the Thermoluminescence of Fluotite, Radiation Measurements 40: 60-64.
- OGUNDERE, F. O., BALOGUN, F. A., HUSSEIN, L. A., (2006). Evaluation of Kinetik Parameters of Traps in Thermoluminescence Phosphors, Radiation Measurements 40: 892-896.
- OGUNDERE, F.O., BALOGUN, F.A., HUSSEIN, L.A., 2007. Temperature Dependence of Phtoluminescence Emisssion Characteristics in a Natural Fluorite, Mineralogy and Petralogy, 90: 167-173.
- OGUNDERE, F.O., BALOGUN, F.A., OLOWOFELA, J.A., MOKOBIA, C.E., FASUNWON, O.O., 2006. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research .b 243, 156-160.
- OLGATE, S.A., SLOANE, T. H., TOWNSEND, P.D., WHITE, D.R., CHADVICK, A.V., 1994. J. Phys. Cond. Mat., 6, 9255.
- ÖZÜŞ, A.Ş., YAMAN, S., 1986. Akkaya (Feke-Adana) Florit-Barit Mineralleşmesive Köken Sorunları, Türkiye Jeol. Kur. Bült., 29, 2, 35-42.
- PAWEL, O., 1998. Calcium Fluoride,  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$  (TLD-400) as a Thermoluminescence One Heat Detector, Radiation Measurements, Vol. 29, No. 3-4, pp. 383-389.
- PIREA, M.A.F., DANTASI E.S.K., MUNITA, C.S., 1996. Fluoride Content in Some Teas Consumed in Sao-Paulo Fluoride, 29 (3), 144.
- POLYMERIS, G., KITIS, G., PAGONIS, V., 2006. The Effect of Annealing and Irradiation on the Sensitivity and Superlinearity Properties of the 110°C Thermoluminescence Peak of Quartz, Radiation Measurements 41, 554-564.
- PRADHAN, A.S., BHATT, R.C., SUPE, S.J., 1984. J. Phys. D: Appl. Phys., 17, 1699.
- PRADHAN, A.S., BHATT, R.C., 1983. J. Phys. D: Appl. Phys., 16, 53.
- PRADHAN, A.S., BHATT, R.C., 1981. Int. J. Appl. Isot., 32, 179.

- PRADHAN, A.S., 1981. Thermoluminescence Dosimetry and its Applications, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 1, No. 3, pp. 153-167.
- PRADHAN, A.S., 2002. Effect of Heating Rate on the Responses of  $\text{CaF}_2:\text{Cu}$ ,  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ ,  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$  and  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ , Radiation Protection Dosimetry, Vol. 100, No. 1-4, pp. 289-292.
- PRADHAN, A.S., BHATT, R.C., 1987. TL Emission Spectra and Glow Peaks of  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ , Radiation Protection Dosimetry, Vol. 20, No. 4, pp. 237-241.
- PRENER, J.S., WILLIAMS, F.E., 1956. J. Electrochem Soc., 103, 342.
- RANDALL, J.T. & WILKINS, M.H.F., 1945a. Proc. Roy. Soc. Lond., 184, 366.
- RANDALL, J.T. & WILKINS, M.H.F., 1945b. Proc. Roy. Soc. Lond., 184, 390.
- SCHLESINGER, M., WHIPPEY, P.W., 1967. Investigation of the Eneji Level Scheme of  $\text{Gd}^{+3}$  in  $\text{CaF}_2$  Using Thermoluminescence, Phys Rev 162, 286-290.
- SCHLESINGER, M., WHIPPEY, P.W., 1968. Investigations of 4s-5d Transitions of  $\text{Ce}^{+3}$  in  $\text{CaF}_2$ . Phys Rev. 171, 361-364.
- SCHAYES, R., BROOKE, C., KOZLOWITZ, I., LHEUREUX, M., 1967. Proc. Ist. Int. Conf. Lumin. Oosim., Stanford, 138.
- SCHÖN, M., 1942. Z. Physik, 119, 463.
- SCHULMAN, J.H., ATTIX, F.H., WEST, E.J., GINTHER, R.J., 1960. Rev. Sci. Inst., 31, 1263.
- SOBRABI, M., ABBASISAR, F., JAFARIZADEH, M., 1999. Dosimetric Characteristics of Natural Calcium Fluoride of Iran, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 84, Nos. 1-4, pp. 277-280.
- SUNTA, C.M., 1970. Thermoluminescence Spectrum of Gamma-Irradiated Natural Calcium Fluorite, Solid State Phys, 3(9): 1978-1983.
- SUNTA, C.M., 1977. Associated Luminescence Centers and Traps in the Thermoluminescence of  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$  (TLD-200), Appl. Phys. 10, 147-151.
- SUNTA, C.M., 1979. Phys. Stat. Sol. (a) 53, 127.

- SUNTA, C.M., 1979. Radiaat. Prot. Dosim., 8, 25.
- SUNTA, C.M., 1984. Thermoluminescence of Natural  $\text{CaF}_2$  and its Applications, Danish Atomic Energy Commision Research Establishment Riso, Riso Report No. 49, pp. 392-409.
- TOPAKSU, M., YAZICI, N., (2007). The Thermoluminescence Properties of Natural  $\text{CaF}_2$  After  $\beta$ -Irradiation, Nuclear Instruments and Metods in Physics Research B 264: 293-301.
- TOWNSEND, P.D., 1994. Radiat Meas, 23, 341.
- UPADEO, S.V., GUNDURAO, T.K., MOHARIL, S.V., 1994. J. Phys. Cond. Mat. 6, 9459.
- URBACH, F., 1930. Wiener Berichte, 139, 363.
- VII, D.R., 1998. Luminescence of Solids. Plenum Press, New York, 427p.
- WILLIAMS, F.E., 1955. Brit. J. Appl. Phys. Suppl., 4, 97.
- YAMAN, S., 1985. Akçakent (Çiçekdağı-Kırşehir) Yöresi Florit Yataklarının Jeolojisi ve Sıvı Kapanım Çalışmaları, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni Cv. 28, 73-79.
- YAZICI, N., BEDİR, M., SÖKÜCÜ, A.S., 2007. The Analysis of dosimetric Thermoluminescent Glow Peak of  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$  After  $\beta$ -Irradiation, Nuclear Istruments and Methods in Physics Research B, 259, 955-96.
- YAZICI, N., HACİİBRAHİMOĞLU, M.Y., 1998. Determination of the Trapping Parameters of Glow Peaks of  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$  (TLD-200) by Using Computer Glow Curve Deconvolution Method, Turk J. Phy., 25(2001), 249-255.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1981 yılında Antalya’da doğdum. İlkokulu Antalya’nın Serik ilçesindeki Tekeli İlkokulunda, Orta öğrenimimi Antalya’nın Serik ilçesindeki Kazım Karabekir Ortaokulunda, Lise öğrenimimi 1999 yılında Serik Süper Lisesi’nde tamamladım. 2001 yılında Adana Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’ne girdim. 2005 yılında lisans eğitimini tamamladım. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde Yüksek Lisans öğrenimime başladım ve halen devam etmekteyim.