

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet YÜKSEL

**ORTA ANADOLU FLUORİTLERİNİN (CaF₂) TERMOLÜMİNESANS (TL)
IŞIMA TEPELERİNE TAVLAMANIN ETKİSİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2008

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORTA ANADOLU FLUORİTLERİNİN (CaF₂) TERMOLÜMİNESANS
(TL) IŞIMA TEPELERİNE TAVLAMANIN ETKİSİ**

Mehmet YÜKSEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

**Bu Tez 15/08/2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

İmza..... Prof.Dr. Zehra YEĞİNGİL DANIŞMAN	İmza..... Prof.Dr. Yüksel UFUKTEPE ÜYE	İmza..... Prof.Dr. Fikret İŞLER ÜYE
İmza..... Prof.Dr. Vedat PEŞTAMALCI ÜYE	İmza..... Yrd.Doç.Dr. Mustafa TOPAKSU ÜYE (İKİNCİ DANIŞMAN)	

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof.Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

İmza ve Mühür

Bu Çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Proje Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: FEF2007YL14

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

ORTA ANADOLU FLUORİTLERİNİN (CaF₂) TERMOLÜMINESANS (TL) IŞIMA TEPELERİNE TAVLAMANIN ETKİSİ

MEHMET YÜKSEL

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof.Dr. Zehra YEĞİNGİL
Yıl : 2008, **Sayfa**: 113
Jüri : Prof.Dr. Zehra YEĞİNGİL
: Prof.Dr. Yüksel UFUKTEPE
: Prof.Dr. Fikret İŞLER
: Prof.Dr. Vedat PEŞTAMALCI
: Yrd.Doç.Dr. Mustafa TOPAKSU

Bu çalışmada, Türkiye'nin Orta Anadolu Masifi, Kırşehir bölgesinden alınan doğal fluorit (CaF₂), 400°C'den 650°C'ye kadar 50°C'lik artışlarla 1'er saat tavlانیp her tavlama işleminden sonra sabit 48 Gy doz verililerek, değişik tavlama sıcaklıklarında termolüminesans (TL) tepelerinin doz tepkileri araştırıldı. TL ışıma tepesi şiddetlerinin, tavlama sıcaklıklarına karşı son derece duyarlı olduğu ve 450°C'de TL ışıma tepelerinin en yüksek doz tepkisi verdiği gözlemlendi. Ayrıca, 450°C'de 15 dakikalık tavlama işleminden sonra TL okuması sırasında farklı ısıtma oranlarının ve 0.04 Gy ile 10.368 kGy arasındaki değişik doz değerlerinin TL ışıma tepelerine etkisi araştırıldı. Çalışılan örneğin tüm ışıma tepelerinin toplam alanlarının ve tepe şiddetlerinin artan doz oranı ile doğrusal olarak arttığı, diğer taraftan, tüm TL ışıma tepesi şiddetlerinin, artan ısıtma oranı ile azaldığı gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Doğal Fluorit, Orta Anadolu Fluoritleri, Termolüminesans (TL) Dozimetre, Fluoritlerin Doz Karşılıkları, Fluoritlerin Tavllanması

ABSTRACT

MSc THESIS

THE EFFECT OF ANNEALING ON THE THERMOLUMINESCENCE (TL) GLOW-PEAKS OF CENTRAL ANATOLIAN FLUORITES (CaF₂)

MEHMET YÜKSEL

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

Supervisor : Prof.Dr. Zehra YEĞİNGİL
Year : 2008, **Page:** 113
Jury : Prof.Dr. Zehra YEĞİNGİL
: Prof.Dr. Yüksel UFUKTEPE
: Prof.Dr. Fikret İŞLER
: Prof.Dr. Vedat PEŞTAMALCI
: Assist.Prof.Dr. Mustafa TOPAKSU

In this study, natural fluorite (CaF₂) collected from Kırşehir region in Central Anatolian Massif, is annealed from 400°C to 650°C with an increment of 50°C for one hour. 48 Gy dose amount has been to the fluorite sample after each annealing process and the dose responses of thermoluminescence (TL) glow-peaks for the same temperatures were recorded. It was observed that the TL glow-peaks are very sensitive to annealing temperatures and that the dose responses of TL glow-peaks have the highest points at 450°C. Furthermore, the effect of various dose values between 0.04 Gy and 10.368 kGy and effects of different heating rates on the TL glow-peaks after 15 minutes of annealing at 450°C were examined. It was observed that the total area and peak intensities of all glow-peaks increase linearly with increasing dose response, and that all glow-peak intensity values decrease with increasing heating rate.

Key Words: Natural Fluorite, Central Anatolian Fluorites, Thermoluminescence (TL) Dosimetry, Dose Response of Fluorites, Annealing of Fluorites

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu tezin yönetiminde ve oluşumunda aynı zamanda çalışmalarım sırasında karşılaştığım sorunların çözümünde her türlü desteğini esirgemeyen, çalışma yapmak için bütün olanakları sağlayan danışman hocalarım, Prof.Dr. Zehra YEĞİNGİL ve Yrd.Doç.Dr. Mustafa TOPAKSU'ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın her aşamasında her türlü desteğini esirgemeyen Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Doç.Dr. A. Necmeddin YAZICI ve Yrd.Doç.Dr. Metin BEDİR'e özellikle teşekkür ediyorum.

Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü Termoluminesans laboratuvarındaki çalışmalarım sırasında yardım ve desteklerini eksik etmeyen Ar.Gör. Vural Emir KAFADAR ve Ar.Gör. Hüseyin TOKTAMIŞ'a yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

Çalışmam sırasında yanımda desteğini sürekli olarak hissettiğim, babam Ahmet YÜKSEL'e, annem Aynur YÜKSEL'e, kardeşlerim Bayram Fikri YÜKSEL, Akif YÜKSEL ve Gülnaz ÜNSAL'a ayrıca yardımlarından dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Ar.Gör. Emre ÜNSAL'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLOLAR DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. TERMOLÜMİNESANS (TL) TEORİSİ.....	7
2.1. Lüminesans Türleri.....	7
2.2. Termolüminesansla İlgili İlk Çalışmalar.....	9
2.3. Termolüminesans (TL) Kavramı ve TL Dozimetreleri.....	10
2.4. Kristal Kusurları.....	15
2.4.1. Noktasal Kusurlar.....	16
2.4.2. Çizgisel Kusurlar.....	17
2.4.3. Yüzeysel Kusurlar (Tane Sınırları).....	18
2.4.4. Hacimsel Kusurlar.....	19
2.5. Termolüminesans Teorileri.....	20
2.5.1. Mott-Seitz Gösterimi.....	20
2.5.2. Schön-Klasens Gösterimi.....	22
2.5.3. Basit Model.....	23
2.5.4. Yarı-Denge (QE).....	30
2.5.5. Randall-Wilkins Teorisi (Birinci Derece Kinetik).....	31
2.5.6. Garlick-Gibson Teorisi (İkinci Dereceden Kinetik).....	35
2.5.7. Genel Mertebe Kinetiği.....	38
2.6. Tuzak Parametrelerinin Hesaplanması İçin Yöntemler.....	40
2.6.1. Tepe Noktalarının Maksimum Sıcaklıklarına Dayanan Yöntemler.....	40
2.6.1.1. İki Farklı Isıtma Oranına Dayanan Yöntem.....	40
2.6.1.2. Farklı Isıtma Oranlarına Dayanan Yöntemler.....	41
2.6.2. Eğrilerin Şekline Dayanan Yöntemler.....	42

2.6.2.1. Değişken Doz Karşılıkları (Yanıtları) Yöntemi.....	42
2.6.2.2. $T_m - T_{stop}$ Yöntemi.....	43
2.6.2.3. Başlangıçtaki Artış Yöntemi.....	44
2.6.2.4. İzotermal Bozunum Yöntemi.....	46
2.6.2.5. Bilgisayarla Işıma Eğrisi Ayırıştırma (Computerised Glow Curve Deconvolution, CGCD) Yöntemi.....	47
2.7. X-Işını Toz Kırınım (XRD) ve X-Işını Floresans (XRF) Yöntemleri.....	47
2.7.1. X-Işını Toz Kırınım (XRD) Yöntemi.....	47
2.7.2. X-Işını Floresans (XRF) Yöntemi.....	49
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	51
3.1. Termolüminesansla (TL) İle İlgili Önceki Çalışmalar.....	51
3.2. Fluoritin Termolüminesansı İle İlgili Önceki Çalışmalar.....	54
3.2.1. Doğal Fluoritlerin (CaF_2) Termolüminesansı İle İlgili Önceki Çalışmalar.....	54
3.2.2. Sentetik Fluoritlerin Termolüminesansı İle İlgili Önceki Çalışmalar.....	57
4. MATERYAL ve METOD.....	60
4.1. Materyal.....	60
4.1.1. Fluorit (CaF_2) ve Fluorit Yataklarının Jeolojisi.....	60
4.2. Metod.....	65
4.2.1. Termolüminesans (TL) Sistemi.....	65
4.2.1.1. Tavlama Fırını.....	65
4.2.1.2. Radyasyon Aleti.....	66
4.2.1.3. TL Okuyucusu.....	67
4.2.2. Riso TL/OSL Lüminesans Okuyucusu: Model TL/OSL-DA-20.....	69
4.2.2.1. Radyasyona Tutma.....	70
4.2.2.2. Beta (β) Radyasyonu.....	71
4.2.2.3. Işık Algılama Sistemi.....	72
4.2.2.4. Isısal Uyarılma Sistemi.....	72
4.2.3. X-Işınları Toz Difraktometresi (XRD) Ölçüm Sistemi.....	72

4.2.3.1. X-Işını Jeneratörü, X-Işını Tüpü ve Monokromatör.....	73
4.2.3.2. Ganyometre.....	74
4.2.3.3. Sistem Kontrolü ve Bilgi İşlem Ünitesi.....	74
4.2.4. Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (WD/XRF)	
Ölçüm Sistemi.....	75
4.2.5. Örneğin Hazırlanması ve Deneysel Aşamalar.....	76
4.2.5.1. Örneğin Hazırlanması.....	76
4.2.5.2. Deneysel Aşamalar.....	76
4.2.5.2.(1). Değişken Doz Oranları Deneyi Aşaması.....	77
4.2.5.2.(2). Farklı Isıtma Oranları Deneyi Aşaması.....	77
4.2.5.2.(3). X-Işını Toz Kırınım (XRD) Analizi Aşaması.....	77
4.2.5.2.(4). X-Işını Floresans (XRF) Analizi Aşaması.....	77
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	79
5.1. Termoluminesansla (TL) İlgili Bulgular.....	79
5.1.1. Tavlama Sıcaklığının Belirlenmesi.....	79
5.1.2. Tavlama Süresinin Belirlenmesi.....	82
5.1.3. Değişken Doz Oranları Deneyi.....	84
5.1.4. Farklı Isıtma Oranları Deneyi.....	86
5.2. Laboratuvarlar Arası Karşılaştırma Çalışmaları.....	89
5.3. X-Işınları Toz Difraktometresi (XRD) ve X-Işını Floresans Spektrometresi (WD/XRF) ile İlgili Bulgular.....	92
5.3.1. X-Işınları Toz Difraktometresi (XRD) Bulguları.....	92
5.3.2. X-Işını Floresans Spektrometresi (WD/XRF) Bulguları.....	95
6. SONUÇLAR.....	99
KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	113

ŞEKİLLER DİZİNİ	SAYFA
Şekil 2.1. Lüminesans türleri.....	8
Şekil 2.2. Temel tuzak ve merkez model.....	11
Şekil 2.3. Tuzaklanmış elektronların boşalması.....	12
Şekil 2.4. Bir seramik parçasının ışıma eğrileri, a) Doğal ışıma eğrisi, b) Doğal+laboratuvar dozu almış örneğin ışıma eğrisi, c) Kara cisim ışıması.....	13
Şekil 2.5. Termolüminesansın açıklanması ve band modeli.....	15
Şekil 2.6. Bir kristalde nokta kusurlar, a) Boşluk kusuru (F Merkezli), b) Boşluk kusuru (M Merkezli), c) Boşluk kusuru (R Merkezli), d) Ara yer atomu (F Merkezli), e) Ara yer safsızlığı.....	17
Şekil 2.7. Bir kristalde çizgisel kusurlar.....	18
Şekil 2.8. Bir kristalde hacimsel kusurlar.....	19
Şekil 2.9. Bir kristalde vida kayma kusuru.....	20
Şekil 2.10. Mott-Seitz mekanizması.....	21
Şekil 2.11. Schön-Klasens modeli.....	22
Şekil 2.12. Termolüminesans (TL) için iki seviyeli basit model.....	24
Şekil 2.13. Düzgün bir tuzak dağılımında uyarılma öncesi ve sonrası tuzak dolum fonksiyonları.....	30
Şekil 2.14. Randall-Wilkins birinci derece TL denklemine göre normalize edilmiş ışıma tepesi.....	32
Şekil 2.15. Randall Wilkins birinci derece TL denkleminin özellikleri...	34
Şekil 2.16. I, Birinci derece ışıma tepe noktası şekli, II, İkinci dereceden ışıma tepe noktası şekli.....	36
Şekil 2.17. Garlick-Gibson ikinci derece TL denkleminin özellikleri...	37
Şekil 2.18. $E=1$ eV; $s=1 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$ ve $\beta=1 \text{ K s}^{-1}$ parametre değerleri için birinci derece ($b=1$), ikinci derece ($b=2$) ve orta derece ($b=1,5$) TL ışıma tepelerinin karşılaştırılması.....	39

Şekil 2.19.	T_{stop} -Aktivasyon enerjisi grafiği.....	43
Şekil 2.20.	Başlangıç artış grafiği.....	45
Şekil 2.21.	Işıma tepesinin başlangıçta yükselen kısmı.....	45
Şekil 2.22.	Bir katıdaki atomların iki düzleminden x-ışınlarının yansıması.....	49
Şekil 4.1.	Orta Anadolu Masifi'nden alınan fluorit örneği.....	60
Şekil 4.2.	Orta Anadolu Masifi fluorit örnekleri.....	62
Şekil 4.3.	Fluorit örneğinin alındığı Orta Anadolu Masifi.....	63
Şekil 4.4.	Kalsiyum Fluoritin kristal yapısı.....	64
Şekil 4.5.	Tavlama fırını.....	66
Şekil 4.6.	Radyasyon aleti.....	67
Şekil 4.7.	Harshaw 3500 TLD sistemi.....	67
Şekil 4.8.	Bir TL okuyucusunun temel diyagramı.....	68
Şekil 4.9.	Riso TL/OSL-DA-20 Model TL/OSL okuyucu sistemi.....	69
Şekil 4.10.	Örnek tablası.....	70
Şekil 4.11.	Kontrol paneli.....	71
Şekil 4.12.	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β kaynağının şematik görünümü.....	71
Şekil 4.13.	Bruker AXS D8 Advance model XRD ölçüm sistemi.....	73
Şekil 4.14.	Panalytical Axios Advanced model dalga boyu dağılımlı X-ışını Floresans Spektrometresi cihazı.....	76
Şekil 5.1.	Doğal fluoritten elde edilen natural ve fon (background) ışıma eğrileri.....	79
Şekil 5.2.	Farklı tavlama sıcaklıklarında elde edilen ışıma eğrileri.....	80
Şekil 5.3.	Doğal floritin CGCD analizi ile ayrıştırılmış ışıma tepeleri..	81
Şekil 5.4.	Tavlama sıcaklığının fonksiyonu olarak ışıma piklerinin TL yanıt eğrileri.....	82
Şekil 5.5.	Farklı tavlama sürelerinde elde edilen ışıma eğrileri.....	83
Şekil 5.6.	Farklı doz oranları (0.04 Gy-10.368 kGy) deneyinden elde edilen ışıma eğrileri.....	85
Şekil 5.7.	Altı ışıma tepesinin (P1-P6) tepe alanlarından belirlenen	

doz yanıt eğrileri.....	86
Şekil 5.8. Farklı ısıtma oranlarında ölçülen ışıma eğrileri.....	87
Şekil 5.9. Isıtma oranlarının fonksiyonu olarak ışıma tepelerinin TL yanıt eğrileri.....	88
Şekil 5.10. Tavlama yapılmadan elde edilen ısıtma oranlarının fonksiyonu olarak ışıma tepelerinin TL yanıt eğrileri.....	89
Şekil 5.11. Natural TL okuması sonucu elde edilen ışıma eğrileri a) Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemiyle elde edilen ışıma eğrisi, b) Riso TL/OSL-DA-20 TL/OSL okuyucu sistemiyle elde edilen ışıma eğrisi.....	90
Şekil 5.12. TL okuması sonucu elde edilen fonlar a) Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemiyle elde edilen fon, b) Riso TL/OSL-DA-20 TL/OSL okuyucu sistemiyle elde edilen fon.....	90
Şekil 5.13. TL okuması sonucu elde edilen ışıma eğrileri a) Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemiyle elde edilen ışıma eğrisi, b) Riso TL/OSL-DA-20 okuyucu sistemiyle elde edilen ışıma eğrisi.....	91
Şekil 5.14. 400°C’de 1 saat tavlama ve 1 Gy’lik β ışınlamasından sonra TL okuması sonucu elde edilen ışıma eğrileri.....	91
Şekil 5.15. 450°C’de 1 saat tavlama ve 1 Gy’lik β ışınlamasından sonra TL okuması sonucu elde edilen ışıma eğrileri.....	92
Şekil 5.16. Tavlama yapılmamış doğal floritin XRD spektrumu.....	93
Şekil 5.17. 500°C’de tavllanmış doğal floritin XRD spektrumu.....	93
Şekil 5.18. 550°C’de tavllanmış doğal floritin XRD spektrumu.....	94

TABLULAR DİZİNİ**SAYFA**

Tablo 5.1. Doğal floritin kübik birim hücre parametreleri.....	94
Tablo 5.2. Doğal floritin şiddet parametreleri ve Miller İndisleri.....	95
Tablo 5.3. Tavlanmamış doğal floritin XRF sonuçları.....	96
Tablo 5.4. 500°C’de tavlanmış doğal floritin XRF sonuçları.....	97
Tablo 5.5. 550°C’de tavlanmış doğal floritin XRF sonuçları.....	98

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
E_a	Aktivasyon enerjisi
E_c	İletim bandı enerjisi
E_v	Valans bandı enerjisi
E_s	Sığ tuzak derinliği
E_t	Kararlı tuzak derinliği
E_g	Yasak band aralığı
E_f	Fermi enerji seviyesi
eV	Elektron volt, enerji birimi
γ	Gamma ışını
Gy	Gray (Radyasyon soğurma birimi)=J/kg
k	Boltzmann sabiti
I(TL)	Termolüminesans sinyalinin şiddeti
nm	Nano metre, 1 nm=10 ⁻⁹ m
ns	Nano saniye, 1 ns=10 ⁻⁹ s
p	Elektronun tuzaktan kaçma olasılığı
R	Yeniden birleşme merkezi
⁹⁰ Sr	Stronsiyum-90
τ	Tuzak ömrü
T	Sıcaklık
⁹⁰ Y	Yutrium-90
ΔS	Entropi değişimi

Kısaltmalar	Açıklama
AD	Doz ekleme
a.u.	Keyfi birim
Bq	Becquerel
CaF₂	Kalsiyum Fluorür
CGCD	Bilgisayarla ışıma eğrisi ayrıştırma
CW-OSL	Sürekli dalga OSL
ESR	Elektron Spin Rezonans
ED	Eşdeğer doz
exp	Exponansiyel
GOT	Basit genel tuzak
IR	İnfrared (Kızıl ötesi, Enfrarüj)
IRSL	İnfrared uyarmalı lüminesans
LM-OSL	Lineer modülasyon OSL
Ci	Curie
MTA	Maden Tetkik Arama Enstitüsü
NTE	Nadir Toprak Elementleri
OSL	Optik uyarmalı lüminesans
POSL	Pulslu OSL
PS	Pik (Tepe) şekli
RT	Oda sıcaklığı
SAR	Tek tablet yeniden oluşturma
TL	Termolüminesans
TLD	Termolüminesans dozimetre
UV	Ultra-Viyole (Mor ötesi)
XRD	X-ışını kırınımı
XRF	X-ışını floresans

1. GİRİŞ

Günümüzde radyoaktivite ile ilgili uygulamalar yaşantımızın birçok alanında yaygın olarak yer almaktadır. Radyoaktivite uygulamaları ve radyasyon ölçümü, Fizik, Kimya, Biyoloji, Tıp, Metalurji, Tarih, Arkeoloji ve Jeoloji gibi birçok bilimsel ve teknik alanda kullanılmaktadır. Doğada, doğal halde bulunan materyallerin bazıları radyasyon yayarlar. Çevresel radyasyonun ölçümü, bilimsel araştırmaların çoğunda önemli ve vazgeçilemez bir yere sahiptir. Yapılan çalışmalarda ölçümü yapılacak olan radyasyon dozu, radyasyona maruz kalan canlı organizmanın veya bir malzemenin aldığı radyasyon miktarının ölçümü ile belirlenmektedir.

Canlı bir organizmanın ya da bir materyalin maruz kaldığı radyasyon dozunun, doğrudan ya da dolaylı olarak ölçülmesi "Dozimetrik Ölçüm" olarak adlandırılmaktadır. Alınan radyasyon dozunu belirlemeye yarayan ölçü aletlerine "Dozimetre" adı verilir. Dozimetreler, radyasyon ölçümü ile ilgili çalışma yürütülen birçok alanda (Tıp, Nükleer Mühendislik, Fizik, Jeoloji, Arkeoloji) yoğun olarak kullanılmaktadır. Termolüminesans dozimetri (TLD) sistemleri, sürekli olarak geliştirilmekte ve ilerlemektedir (Ranogajec, 2002).

Lüminesans olayı dozimetrik amaçla çok geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu konu hakkında birçok makale ve kitap yayınlanmıştır (Schulman ve Compton, 1962; Cameron ve ark., 1968; Fowler, 1968; DeWerd ve Stoebe, 1972; DeWerd ve ark., 1976; Braunlich, 1979; McKinlay, 1981; Horowitz, 1984; Hufton, 1984; Mahesh ve ark., 1989; McKeever ve ark., 1993). Lüminesans dozimetreleri, bazı katılardaki alkali halideler gibi (örneğin LiF) safsızlıkların elektron depolama özelliklerini kullanır. İyonlaşma radyasyonu, elektronları valans banttan iletkenlik bandına uyarır. Bu sırada elektronlar genellikle uygun bir elektron tuzak safsızlığında tuzaklanıp yer değiştirirler. Paralel bir tanım,deşikler (pozitif yükler) için de yapılabilir; bu durumdadeşikler valans banttan uygun safsızlıklara doğru yer değiştireceklerdir. Bu tuzaklanmış elektronlar, atomların yerleştikleri safsızlıklarda bazı durumlarda uyarılınca kadar kalırlar. Eğer bu uyarılma ışıkla gerçekleşiyorsa bu sürece foton uyarılmalı lüminesans, eğer uyarılma ısıyla yapıyorsa bu sürece

termolüminesans (TL) denir. Kristal ısıyla veya ışıkla uyarıldığında elektronlar iletim bandına uyarılırlar ve buradan bir deşikle yeniden birleşmek üzere yer değiştirirler. Bu deşik, valans bandı veya bir safsızlık içerisinde. Serbest bırakılan enerji, ışık fotonları biçimindedir. Eğer yeniden birleşme, bir yeniden birleşme merkezi şeklinde hareket eden safsızlık içerisinde gerçekleşirse o zaman lüminesans bu safsızlığın enerji durumlarının karakteristiğidir.

0.1 mGy'den 10 Gy'e kadar geniş bir doz dağılımı üzerinde kristaller dozimetrelerin soğurduğu doz ile direkt orantılı olarak ışık yayarlar. Bazı materyaller LiF:Mg, Ti gibi, bir limit değerine kadar, örneğin 10 Gy, doza lineer cevap verirler ve 1000 Gy'e kadar supralineer bölgedir ve bunun üzerinde doygunluğa ulaşırlar. Bu supralineeritenin başlangıcı başka safsızlıklara, temel olarak hidroksit iyonlarına bağlıdır (Stoebe ve DeWerd, 1985).

Termolüminesans dozimetreleri (TLD) değişik biçimlerde olabilir, toz halinden (ezilmiş kristaller) katı biçimlerine kadar, genellikle bir ana yapı içerisine gömülmüş veya bir ana yapıdan çıkarılmış biçimdedirler. Bir kristalin safsızlık konsantrasyonu kristal boyunca değişiklik göstereceğinden, genellikle bir kristalin dedektör olarak kullanımı enderdir. Genellikle TL hassaslığı mevcut aktif fosforun kütlesi ile orantılıdır.

Tavlama uygulaması doz ölçümünü etkileyebilir. Bu yöntem tuzaklanmış elektronların popülasyonunu seyreltmek için veya malzemeyi yeniden kullanıma hazırlamak için tuzak yapısını değiştirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bazı TL materyalleri özelleştirilmiş tavlama uygulamalarına sahiptirler. Öyle ki bu tavlama uygulaması ile düşük sıcaklık ışıma tepeleri, yüksek sıcaklık ışıma tepelerini etkilemeden bertaraf edilebilir. Bu, okumadan önceki düşük sıcaklık ön ısıtması (pre-heating) ile gerçekleştirilebilir. Bu sırada elektronlar düşük sıcaklık tuzaklarından ayrılırlar ve yüksek sıcaklık tuzaklarında önemsiz etkiler oluşur. Bu LiF:Mg, Ti okumasından önceki 100°C'de tavlamanın temelini oluşturur. Alternatif olarak, 80°C'de 24 saat tavlayarak düşük sıcaklık tuzak yapısı yeniden düzenlenebilir (dipol tuzak yapısı hep birlikte üçlü dipol olur). Bu durumda, düşük sıcaklık tuzaklarındaki tuzak yapısı mevcut değildir ve bu nedenle elektronlar yüksek sıcaklık tuzaklarında tuzaklanırlar. Bunun sonucunda okuma ile sadece yüksek sıcaklık tuzaklarındaki

elektronlar bir TL ışıma tepesi verirler. Tuzaklardaki elektronlar oda sıcaklığında durmaktan, yavaş yavaş (çok zaman alan bir süreçte) etkilenirler. Buna solma (fading) denir. Bu, materyal radyasyona tutulduktan sonra ve herhangi bir yerde oda sıcaklığında bırakıldıktan sonra oluşur. Örneğin, LiF:Mg, Ti içerisinde ana dozimetri tepesi olan tepe 5, oda sıcaklığında her yıl sadece % 1 oranında azalır. Bu tepenin 80 yıllık yarı ömrü vardır (Zimmerman ve ark., 1966). Bu ana dozimetri tepesinin her yıl sadece % 1 oranında azalması anlamına gelir. Halbuki daha düşük sıcaklık tepeleri çok daha hızlı azalır; örneğin tepe 2 oda sıcaklığında 10 saatlik yarı ömre sahiptir. Bu nedenle, düşük sıcaklık tepe noktası mevcutsa önemli ölçüde ısısal solma oluşacaktır ve TL okumasını etkileyecektir. Isısal etkilerin yanında ışık da solmaya neden olabilir. Işığın enerjisine ve kusur merkezi elektron tuzaklarına bağlı olarak daha yüksek sıcaklık tuzakları, saklandıkları sırada ışığa maruz kalırlarsa etkilenebilirler.

Lüminesans dozimetresi, lüminesans malzemesinin X-ışını tepkisini ölçer; bu, malzeme içerisinde X-ışınlarının soğurulmasına bağlıdır. İlgilendiğimiz şey hava, su veya dokudaki dozdur. Çünkü bunların her biri kliniksel olarak faydalı dozlardır. Bu nedenle lüminesans dozimetreler ölçümü istenen malzeme içerisindeki doza çevrilmelidir. Örneğin hava, su veya doku. Verilen bir radyasyon hüzmesi için bu problem dozimetreyi, o tip hüzmeye içerisinde kalibre ederek aşılabılır. TLD'nin kullanımı çok dikkat, kesin tekrarlanabilirlik ve bir zamandan diğer zamana uygulamada benzerlik ister. Doğruluk ve kesinlikteki en büyük problem zaman içerisinde TLD'nin farklı muamelelerinden kaynaklanır. TLD'ler küçük dozimetrelerden büyük sinyaller verdikleri için genellikle hastaların bedenindeki ölçümler için tercih edilir. TLD'nin boyutları vücuttaki kullanımı için onu elverişli yapar.

Bazı yalıtkan ve iletken maddeler ısıtıldıkları zaman ışıma yaparlar. Bu fiziksel olaya "ısıtma ile ışıma" anlamına gelen termolüminesans (TL) denir. Termolüminesans (TL) yöntemi madde içinde depolanan "Uranyum" (U), "Toryum" (Th) ve "Potasyum" (K) gibi uzun ömürlü radyoaktif izotopların bozunması sonucunda ortaya çıkan alfa (α), beta (β) parçacıkları ile gama (γ) ışınları tarafından taşınan enerjinin madde içerisinde birikmesi olayına dayanmaktadır.

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

Termolüminesans (TL), genellikle çalışılan örneğin belli bir sıcaklığa kadar sabit bir hızla ısıtılmasıyla kristal içerisinde bulunan elektron tuzaklarının boşaltılması yoluyla maddede biriken enerjinin serbest bırakılması temeline dayanır. Tuzaklanmış bir elektron kristaldeki ısısal titreşimlerle çıkarılabilir. Sıcaklık miktarı arttıkça daha derin tuzaklardaki elektronların çıkarılma olasılığı artmaktadır. Elektron tuzaklarının boşaltılması sırasında yayılan lüminesans sinyali sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Karakteristik TL sinyali 'ışınma eğrisi' (glow curve) olarak adlandırılır.

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

Termolüminesans (TL) yöntemi geçmişten günümüze birçok aşamadan geçerek gelmiştir. Termolüminesans teoremi: 17. yy'da ilk kez Robert Boyle (1664) tarafından gözlenmiştir. Boyle, elması avucunun içerisinde ısıttığı zaman, parlaklığı karanlık bir odada kolaylıkla görülen ışık biçiminde dağıldığını gözlemlemiştir. Uygulamalı fizikteki etkinin günümüzdeki kullanımı Wisconsin Üniversitesi'nde Farrington Daniels'in çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır (Daniels ve ark., 1953).

Radyoaktivitenin keşfinden hemen sonra, radyum ışıması altındaki fluorit kristalindeki TL olayı ilk olarak Becquerel tarafından tespit edilmiştir (Becquerel, 1885). Wiedeman ve Schmidt doğal radyoaktivitenin minerallerin TL özelliklerine etkisini fark etmişlerdir (Wiedemann-Schmidt, 1895). Doğal fluoritteki TL olayının

jeolojik araştırmaları ilk olarak Steinmentz ve Gisser tarafından gerçekleştirilmiştir. Steinmentz ve Gisser ayrıca TL spektrumları yardımı ile fluorit minerali çeşitlerini sınıflandırmaya çalışmışlardır (Steinmentz-Gisser, 1936). Devam eden süreçte birçok bilim adamı kayatuzu, NaCl, kuvars ve kalsiyum gibi minerallerin termolüminesans özelliklerini incelemişlerdir. Bu zaman boyunca yayılan termolüminesansın tayfı ile ilgili ilk eksiksiz çalışma 1905'te Morse tarafından yapılmıştır. Morse bu çalışmada, CaF_2 mineralini kullanmıştır (Aitken, 1985). Fotokatlandırıcıların icadından sonra 1953 yılında termolüminesans Daniels tarafından, maruz kalınan nükleer radyasyon miktarının ölçülmesinde kullanılmıştır (Daniels, 1953).

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

Termolüminesans dozimetre materyalleri, son elli yıldır nükleer tıpta olduğu gibi çevresel ve kişisel dozimetride de olağan uygulamalar için kullanılmaktadır (McKeever ve ark., 1995). Bazı doğal mineraller ve sentetik kristaller termolüminesans dozimetre özelliklerine sahiptir. Özellikle termolüminesans (TL) ışıma tepeleri iyi belirlenmiş doğal mineraller, radyasyon dozu ölçümü için elverişlidir. Bu nedenle birçok mineral dozimetrik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile bilimsel çalışmalara konu olmuştur. Dozimetrik özellikleri test edilen minerallerden birisi de kalsiyum fluorittir (CaF_2). CaF_2 , doğal ve sentetik formlarının her ikisi de dozimetre olarak kullanılan uygun bir materyaldir (Polymeris ve ark., 2006). Doğal fluoritin sentetik formları genel olarak Disprosyum (Dy), Mangan (Mn) ya da Tulyum (Tm) katkılı olup, radyasyon dozimetrisinde çokça kullanılan bir materyaldir. Doğal CaF_2 radyasyon dozimetrisinde son derece hassas ve kullanışlı bir termolüminesans materyaldir (Sunta, 1985).

Doğal fluorit (CaF_2) minerali, kristal yapısına ve bulunduğu bölgeye bağlı olarak beyaz, mor, mavi, yeşil kahverengi, pembe, siyah ve kırmızımsı gibi değişik renklerde olabilmektedir. Farklı renklerdeki fluorit mineralleri, farklı termolüminesans özellikler gösteren karmaşık bir yapıya sahiptir. Fluoritin bu özelliklerinden dolayı dozimetrik özellikleri de rengine ve bulunduğu bölgeye bağlı

olarak değişmekte olduğundan, termoluminesans yöntemi kullanılarak yapılan dozimetrik çalışmalarda sıkça test edilen ve dozimetre olarak kullanılan bir mineral olma özelliğine sahiptir.

Orta Anadolu Masifi Türkiye'nin en önemli fluorit yataklarını bünyesinde bulundurur. Masif içerisinde Akçakent ve Kaman bölgelerinde fluorit, damarlar şeklinde, tersiyer yaşlı örtü birimlerinde, karstik dolgular şeklindedir. Karstik karbonatlı yan kayaca sahip Pöhrenk fluoritleri, meteollejeni açısından dünyadaki benzerlerine göre ayrıcalıklı bir yer tutar. Fluoritlerin kökenlerinin incelenmesinde belirleyici olan faktörler, Nadir Toprak Elementleri (Lantanitler) içerikleri ve dağılımlarıdır. Orta Anadolu bölgesinde fluoritler değişik seviyelerde oluşmuş ve değişik Nadir Toprak Elementleri (NTE) içerikleri ile karakteristik özellik gösterirler (Yaman, 1985).

Yapılan bu çalışmada, Orta Anadolu fluoritlerinin granitik masiflerinde görülen damar tipli fluorit yataklarından alınan doğal fluorit (CaF_2) örneğinin termoluminesans (TL) ışıma tepelerine, tavlamanın etkisi araştırılmıştır.

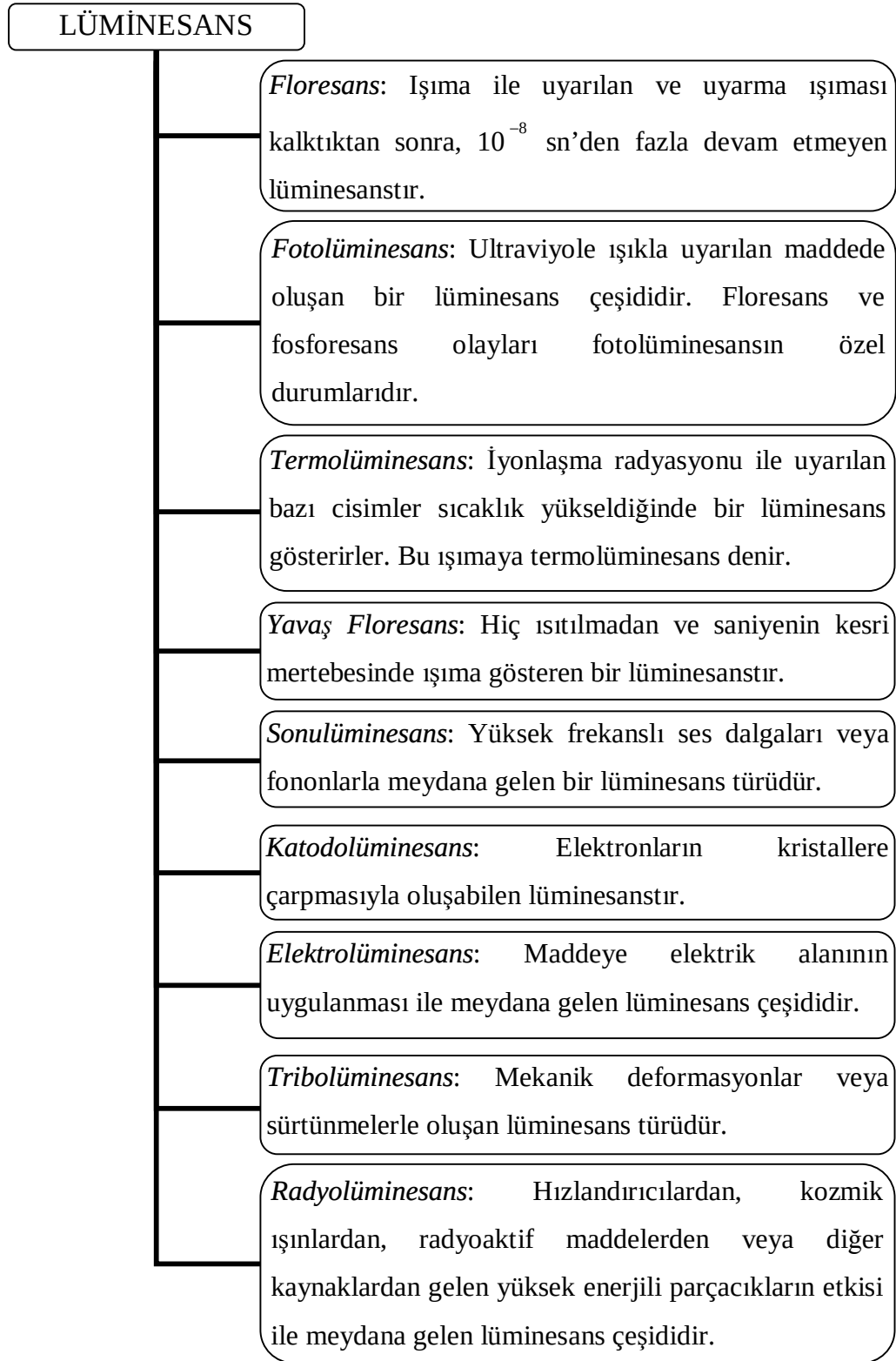
2. TERMOLÜMİNESANS (TL) TEORİSİ

2.1. Lüminesans Türleri

Bir madde üzerine radyasyon geldiği zaman, enerjisinin bir kısmı soğurulur ve daha uzun dalga boylu bir ışık olarak yeniden yayılır (Stoke's Yasası). Bu olay lüminesans olayıdır. Yayılan ışığın dalga boyu, ışıma yapan maddenin karakteristiği olup gelen radyasyonun karakteristiği değildir. Genellikle lüminesans olayı ile ilgili çoğu çalışma, görünen ışığın yayılımı ile ilgilidir; fakat diğer dalga boylarında da yayılma olabilir. Örneğin ultraviyole (UV) ve kızılötesi (infrared) gibi. Biz burada sadece görünen ışığın yayılımı ile ilgileneceğiz.

Lüminesansa yol açan enerji kaynakları, elektron akışı, elektrik ya da manyetik alan, morötesi ışıma, alfa parçacıkları salınımı şeklindedir. Bu yolla uyarılmış atomlar, kararlı hallerine dönerken dışarıya ısı ya da elektromanyetik ışıma -ya da her ikisi birden- yoluyla enerji verirler. Atomdaki bu uyarılma en dıştaki elektron kabuğunda oluşur. Belirtilen şekilde uyarılan atomun en dış elektron kabuğundaki elektron valans ya da değerlilik elektronu, bir üst enerji düzeyine yükselir. Ancak bu enerji düzeyi kararsız olduğundan tekrar eski enerji düzeyine düşecektir. Bu, elektronun aldığı enerjiyi geri vermesidir ve bir foton salınımı olarak gerçekleşir.

Şekil 2.1'de bazı lüminesans türleri ve tanımları verilmektedir.



Şekil 2.1. Lüminesans türleri.

2.2. Termolüminesansla İlgili İlk Çalışmalar

Bilimsel olarak kayıtlara geçmiş ilk Termolüminesans (TL) teoremi: 17. yy'da ilk kez Robert Boyle (1664) tarafından gözlenmiştir. Boyle, elması avucunun içerisinde ısıttığı zaman, parlaklığı karanlık bir odada kolaylıkla görülen ışık olarak dağıldığını gözlemlemiştir. 1676'da Elsholtz, fluorspar mineralinde de benzer bir etki gözlemlemiştir (Seeley, 1975). Bu gözlemle ilgili ilk yorumlar, ısıtmanın (ısı enerjisinin) doğrudan ışığa dönüştüğü şeklinde yapılmıştır. Oldenburg 1676'da (Oldenburg,1676) "Smaragdinus fosforu" adlı bir mineralin TL'si ile ilgili olarak maddenin, yaydığı ışığın kaynağının sadece ateş olduğunu yazmıştır. Du Fay 1726'da (Du Fay, 1726) lüminesansın ısıtma esnasında materyallerin içinde yanan bir sülfürden kaynaklandığını düşünmüş, ama sonradan 1738'de TL'nin aslında gecikmiş bir fosforesans sürecinden başka bir olgu olmadığını kanıtlayan delilleri bulan ilk kişi de kendisi olmuştur (Du Fay, 1738). Du Fay'ın doğal kuvars minerali ile ilgili deneyleri göstermiştir ki, TL, materyali ışığa maruz bırakmakla yeniden aktive edilebilmektedir. Isıtma, sadece ışımayı uyaran etkendir, kesinlikle nedeni değildir.

Deribere'nin (Deribere, 1936) raporuna göre, 1821'de Calloud adlı Fransız kimyacı, sülfat kinini ısıttığında, 100°C-180°C arasında mavi bir ışık yayarak lüminesans yaptığını gözlemiştir. 1864'te ünlü astronom William Herschel'in oğlu Alexander Herschel tarafından dünya dışı minerallerden Middlesborough aerolitinin iç kısımlarından elde edilen tanecik ve tozların kızgın bir ütüyle ısıtıldıkları zaman sarıya yakın beyaz renkte bir ışıma yaptıkları gözlenmiştir (Herschel, 1864). 1867'de Becquerel, florsparın ısıtılınca lüminesans yaptığını rapor etmiştir (Rutherford, 1913).

Radyoaktivitenin keşfinden hemen sonra, radyum ışıması altındaki fluorit kristalindeki TL olayı ilk olarak Becquerel tarafından tespit edilmiştir (Becquerel, 1885). Literatürde ilk defa "Termolüminesans" ismini kullananlar Wiedemann ve Schmidt'tir (Wiedemann ve Schmidt, 1895). Wiedeman ve Schmidt'in deneyleri ile daha önce yapılan TL gözlemlerinin farkı; termolüminesansı laboratuvar ortamında

elektron demetiyle sağlamış olmalarıdır. Bu tür lüminesans yapay lüminesans olarak da bilinir. Wiedeman ve Schmidt, geniş bir fosfor grubu üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Doğal örneklerin termolüminesansını laboratuvar ortamında çalışarak ilk kez yayınlayan bilim insanları ise Trowbridge ve Burbank'tır (Trowbridge ve Burbank, 1898).

Radyasyon nedenli TL araştırmaları, Marie Curie'nin 1904'te doktora tezini yayınlamasıyla artış kazanmıştır. Curie, deneylerinde fluorit gibi bazı maddelerin ısıtıldıkları zaman termolüminesans özellik kazandıklarını, ısımalarının bir süre sonra söndüğünü, fakat tekrar ısıtıldıklarında veya radyasyona tutulduklarında bu özelliklerini yeniden gösterdiklerini gözlemlemiştir.

Lyman'ın bildirdiğine göre (Lyman, 1932), TL ile ilgili yayınlanan ilk eksiksiz çalışmayı fluorit üzerinde Morse 1905'te yapmıştır. CaF_2 minerali Morse'un araştırmasının konusuydu (Aitken, 1985).

1923'te Lind ve Bardwell radyasyon nedenli TL çalışmasını radyum kullanarak bazı kıymetli taş ve saydam minerallerle gerçekleştirmişlerdir (Lind ve Bardwell, 1923). Bu çalışmayı, Wick'in 1924'te fluoritle yaptığı doğal TL gözlemi izlemiştir (Wick, 1924). Daha sonra Wick ve arkadaşları, seçtikleri doğal mineraller ve sentetik fosforlar üzerinde X-ışını ve elektron demetiyle uyarım sağlayarak TL çalışmaya devam etmişlerdir.

1927'de Frisch tarafından katod ışınlarına tabi tutulan NaCl kristalinde TL gözlenmiştir (Weinberg ve Merrill, 1970).

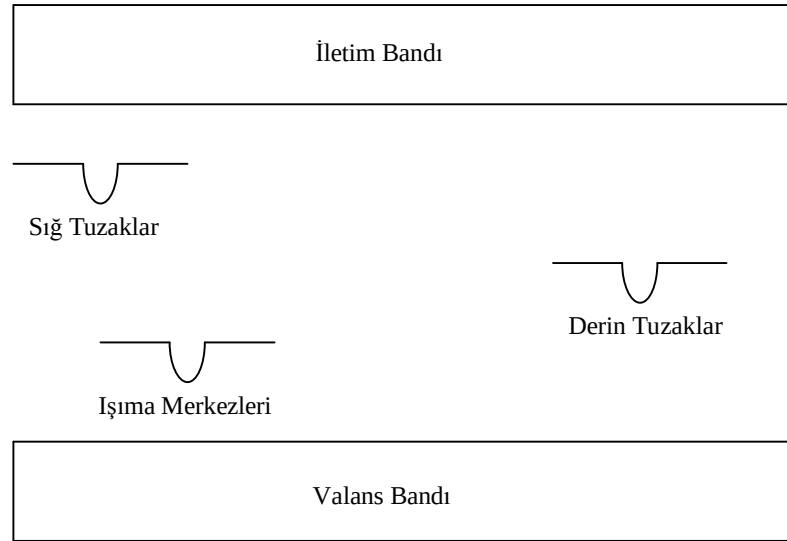
Doğal fluoritteki TL olayının jeolojik araştırmaları ilk olarak Steinmentz ve Gisser tarafından gerçekleştirilmiştir. Steinmentz ve Gisser ayrıca TL spektrumları yardımı ile fluorit minerali çeşitlerini sınıflandırmaya çalışmışlardır (Steinmentz ve Gisser, 1936).

2.3. Termolüminesans (TL) Kavramı ve TL Dozimetreleri

Bazı yalıtkan ve yarı iletken maddeler ısıtıldıkları zaman ışıma yaparlar. Bu fiziksel olaya "ısıtma ile ışıma" anlamına gelen termolüminesans (TL) denir.

Yalıtkan ve yarı iletken maddeler içlerinde ve çevrelerinde bulunan uranyum (U), toryum (Th) ve potasyum (K) gibi radyoaktif elementlerin yaydığı alfa (α) ve beta (β) parçacıkları ile gama (γ) ışınları gibi radyasyonlar etkisiyle, enerji soğururlar. Soğurdukları enerjinin bir kısmını kristal yapılarında depo ederler.

Maddede enerji birikimi şu şekilde olmaktadır: Maddeden geçen radyasyon, yolu üzerindeki atomlarla çarpışır. Bu arada atomlardaki elektronlar enerji kazanırlar ve atomlardaki enerji düzeylerinden daha yüksek düzeylere çıkarlar. Bu elektronların bir kısmı kazandıkları enerjiyi anında geri vererek eski yerlerine veya benzer yerlere dönerler. Bir kısmı ise maddenin kristal yapısında çeşitli nedenlerle oluşan ve "tuzak" adı verilen yerlere bağlanırlar. Tuzağa bağlanan elektronlara "tuzaklanan elektronlar" veya "tuzağa yakalanan elektronlar" denir. Bu elektronlar eski yerlerine dönen elektronların tersine radyasyondan aldıkları enerjiyi geri vermeyip bu tuzaklarda biriktirmiş olurlar (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Temel tuzak ve merkez model (Mc. Keever, 1985).

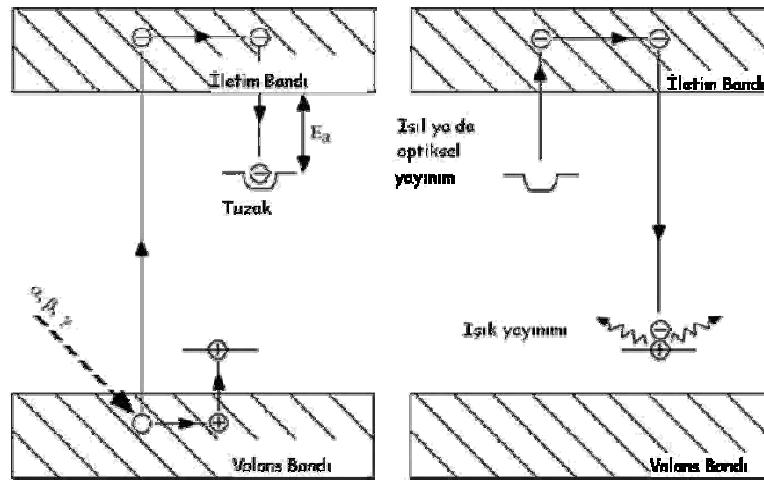
Elektronların yakalandıkları tuzaklarda kalma süreleri, çevre koşullarına ve tuzak özelliklerine bağlıdır. Birkaç dakikadan bir milyon yıla kadar elektronları tutabilen tuzaklar vardır. Kısa sürede boşalan tuzaklara sığ, uzun sürede boşalanlara da derin tuzaklar denir. Bizi ilgilendiren uzun ömürlü tuzaklardır. Çünkü bu tuzaklar

oluştukları andan itibaren kendiliklerinden boşalmadıkları için maddenin aldığı radyasyon miktarını tam olarak yansıtırlar.

Elektronları tuzaklardan kurtarmanın yollarından biri maddeyi ısıtmaktır. Isıtma sonucu tuzaklardan kurtarılan elektronlar birer ışık taneciği (foton) salarak düşük enerji düzeylerine dönerler. Maddede biriken radyasyon enerjisi de böylece ışık olarak geri verilmiş olur. Çıkan ışık miktarı maddenin biriktirdiği radyasyon enerjisi miktarına bağlıdır. Ne kadar çok enerji birikirse o kadar çok ışık çıkar. Hiç enerji birikmemişse veya biriken enerji herhangi bir nedenle, örneğin ısınma yoluyla boşalmış ise termolüminesans gözlenmeyecektir.

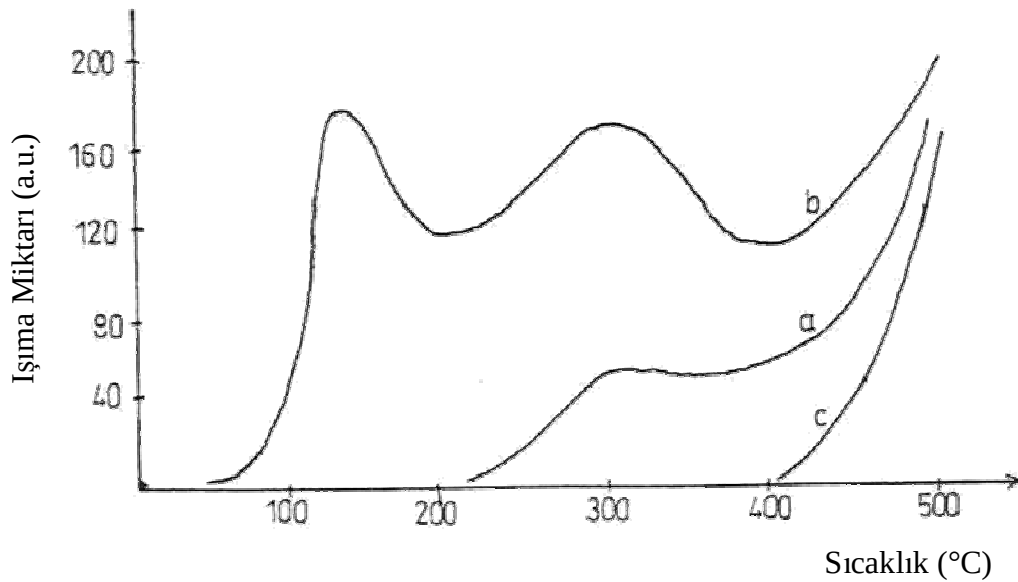
Bir kristal yapıda değişik derinlikte tuzaklar vardır. Bunlar, genellikle birkaç gruba ayrılırlar. Her grubun derinliğine göre bir boşalma sıcaklığı vardır. Madde, sabit bir hızla ısıtılacak olursa, tuzaklar, Şekil 2.3'te görüldüğü gibi sıgıldardan derinlere doğru sırayla boşalırlar.

Örnek içindeki elektron tuzakları sırayla boşalırken farklı sıcaklıklarda ayrı ayrı tepeler meydana gelir. Kristal yapıdaki kusurlar bu tuzaklardan sorumludur. Bir elektron tuzağı olarak davranan negatif iyon boşluğu tipik bir tuzaktır. Tuzaklanmış bir elektron kristaldeki ısısal titreşimlerle çıkarılabilir. Sıcaklık yükseldikçe bu titreşimler güçlenir ve çıkarılma olasılığı artar. Bazı elektronlar tuzaklanmış deşiklerle yeniden birleşerek TL ışıması yayarlar.



Şekil 2.3. Tuzaklanmış elektronların boşalması.

Tuzak gruplarının boşalma sıcaklıklarına yaklaştıkça ışıma artar ve bir maksimum değer aldıktan sonra azalmaya başlar. Bu azalma bir sonraki tuzak grubunun boşalmaya başladığı sıcaklığa kadar devam eder. Ondan sonra yeniden artmaya başlar. Işımadaki bu artma ve azalmaları, sıcaklığa karşı gösteren eğriye "ışıma eğrisi" (glow curve) denir. Şekil 2.4'te bir seramik parçasının doğal ve radyasyona tutulmuş örneklerinin ışıma eğrileri görülmektedir. Bu eğrilerdeki ışıma dorukları (tepe noktaları) değişik derinlikteki tuzak gruplarının boşalma sıcaklıklarını göstermektedir. Tuzak gruplarının birbirinden çok farklı derinlikte olması durumunda ışıma dorukları belirgin bir şekilde görülür. Eğer, grupların tuzak derinliği birbirine yakınsa ışıma dorukları da yakın sıcaklıklarda olacakları için birbirlerini etkilerler ve tek tek belirmeyip geniş bir eğri şeklinde ortaya çıkarlar. Bu durumda eğrinin kaç doruktan oluştuğu ilk bakışta anlaşılmaz. Şekil 2.4'teki eğriler birkaç doruğun girişiminden oluşmaktadır (Türetken, 1984).



Şekil 2.4. Bir seramik parçasının ışıma eğrileri

- a) Doğal ışıma eğrisi
- b) Doğal+laboratuvar dozu almış örneğin ışıma eğrisi
- c) Karacisim ışıması

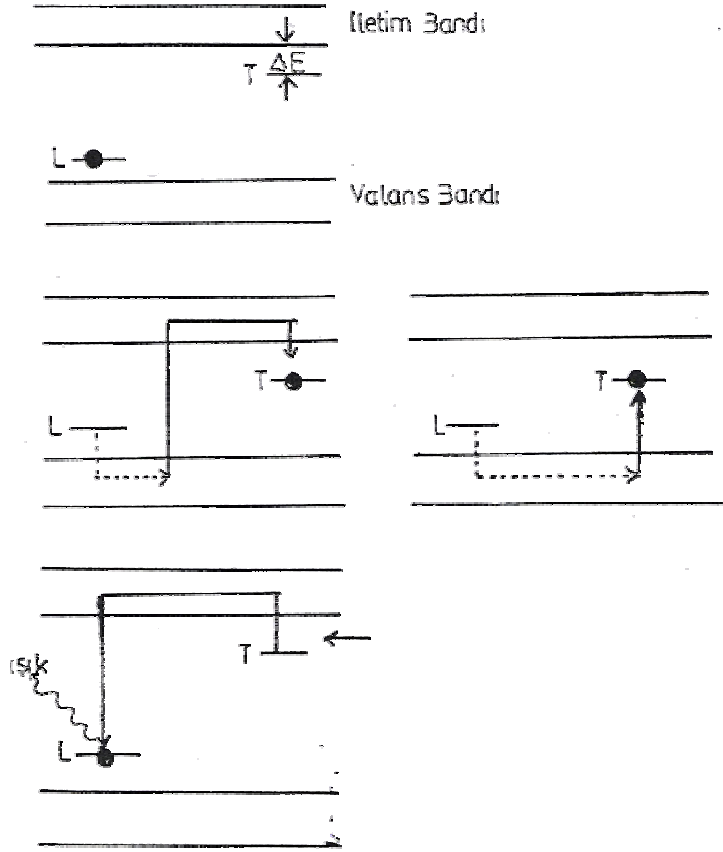
Şekil 2.5'te TL olayının açıklaması ve modeli görülmektedir. Kusursuz ideal bir kristalin TL özelliği göstermesi beklenmez. Elektron tuzakları ve lüminesans merkezleri ilgilenilen minerallerin kristal örgülerindeki bozukluklardan oluşmaktadır. Bu bozukluklara örnek olarak yerinde olmayan bir iyonu veya konumunda olmayan bir atomu gösterebiliriz. Başlangıçta TL'nin nasıl oluştuğu düşünüldüğünde bu bozukluklar kristal için önem taşımaktadır ve dozimetrenin temelini de bunların arasındaki elektronların hareketleri oluşturur.

İyonlaşma radyasyonu, bir TL fosforuyla ve çevresindeki ortamla etkileştiği zaman fosfor tarafından enerji soğurulur ve detektöre gelen radyasyon ile orantılı olarak tuzaklar tarafından depolanır. Bu enerjinin bir kısmı, fosforu ısısal olarak uyatarak ölçülebilir ışık cinsinden serbest bırakılabilir. Işık çıktısı ya fosforun ısıtılması sırasında sıcaklığına karşı çizilerek veya ısıtılması sırasında zamana karşı çizilerek bir ışıma eğrisi oluşturulur. Bazı durumlarda ışıma eğrisi altındaki integral, bazı durumlarda da ışıma tepesinin yüksekliği biçimindeki doz karşılığı fosforun maruz kaldığı radyasyon dozu ile orantılıdır.

TL fosforları diğer gama radyasyon detektörlerinin birçok problemini paylaşırlar. Fosforların çoğunun TL karşılıkları enerjiye bağlıdır, çoğunlukla 100 keV'in altındaki fotonların enerjilerini fazlalaştırarak karşılık (yanıt) verirler. Fotonların enerjisine olan bu bağıllık, fosforun uygun bir muhafaza içine alınmasıyla minimuma indirilir. Maalesef fosforu muhafaza içine almak veya paketlemek, eğer fosfor küresel simetriye sahip değilse, sıklıkla yöne ait bağımlılığa neden olmaktadır. Ayrıca fosforların çoğunun üzerine ışığın veya nemin etkisini minimuma indirmek için paketlenmesi gerekmektedir. Cam içinde kapsüle yerleştirmek bu sorunlardan korur; fakat sıklıkla cam içerisindeki potasyumdan (^{40}K) dolayı kendi radyasyonuna neden olur. Bazı fosforlar zaman içerisinde depolanarak sinyali kaybederler buna "fading" (solma) denir; solma oranı genellikle sıcaklıkla artar. Solma son derece karışık bir süreç olarak literatürde geniş olarak tartışılmış ve genellikle süreç ve etkileri ile ilgili sonuçlar birbirleriyle uyumsuz olmuştur.

Düşük ölçme limitinde olduğu gibi bu problemler uygulamalar için önem teşkil etmiştir. Bu uygulamalarda çevre koşulları, özellikle sıcaklık, radyasyona

maruz kalma gibi, birbirlerinden farklıdır. Ölçülebilen radyasyon miktarı 1 mrad'a kadar inebilir ve geniş bir enerji spektrumuna dağılır.



Şekil 2.5. Termolüminesansın açıklanması ve band modeli (Leute, 1987).

2.4. Kristal Kusurları

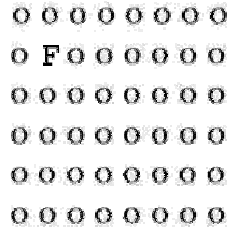
Gerçek kristaller hiçbir zaman kusursuz değildirler. Alaşımlarda soğuk şekillendirilebilirlik, yarı iletkenlerde elektrik iletkenliği, atomların hareket hızı ve metallerde korozyon gibi birçok fiziksel ve mekanik özelliği kapsayan kusur içerirler. Kristallerin mükemmelliğinin bozulduğu an kristal kusurları ortaya çıkar. Birçok değişik tipte kusur vardır. Kristalin üretimi veya doğal oluşum işlemleri bir kristalde hangi tip kusur olduğunun belirlenmesinde önemli faktörlerdir. Kristal kusurları dört ana başlık altında toplanabilir. Bunlar, noktasal kusurlar, çizgisel kusurlar, yüzeysel kusurlar ve hacimsel kusurlardır.

2.4.1. Noktasal Kusurlar

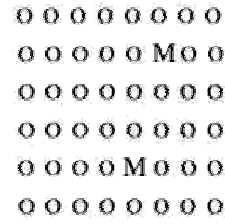
Kristal kusurlarının en basit sınıfı nokta kusurlarıdır. Bir atomun kendine ait yerde bulunmaması demek olan atom boşluğuna nokta kusuru denir. Atom boşlukları metallerde denge kusurlarıdır ve oluşma enerjileri yaklaşık olarak 1-2 eV'tur. Metallerde biçim değiştirme, yüksek sıcaklıklardan düşük sıcaklıklara aniden düşme ilave boşluklar oluşturabilmektedir. Şekil 2.6'da nokta kusurlarının temel türleri görülmektedir. Boşluk kusurları atomdaki boşluk sayısına göre üçe ayrılmaktadır. Eğer tek bir boşluk varsa F merkezli boşluk kusuru, iki boşluk varsa M merkezli boşluk kusuru ve üç boşluk varsa R merkezli boşluk kusuru olarak adlandırılmıştır. Oluşması için 1-2 eV'ye gereksinim olan boşluklar, örgü arası fazlalıklar (ara yer atomu), kristallerde ısısal uyarılmanın bir sonucu olarak meydana gelirler ve sayıları sıcaklıkla hızla yükselir. Bu kusurların parçacık ışıınımı ile oluşumu da çok önemlidir. Örneğin bir nükleer reaktörde yüksek enerjili nötronlar atomları normal konumlarından oynatırlar (Beiser, 1995).

Eğer bir artı katyon bir iyonik kristalde ara yere girerse normal iyon yerinde bir katyon boşluğu oluşmuş olur. Bu şekilde oluşan kusurlara "Frenkel Kusuru" denir. Frenkel kusuru, elektrik iletkenliğinde bir artışa sebep olur.

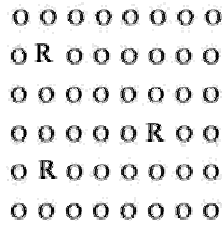
Bir iyonik kristalden iki karşı yüklü iyon yok olduğunda "Schottky Kusuru" denilen katyon-anyon ikili boşluğu oluşur.



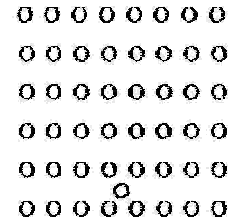
(a)



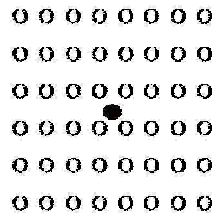
(b)



(c)



(d)



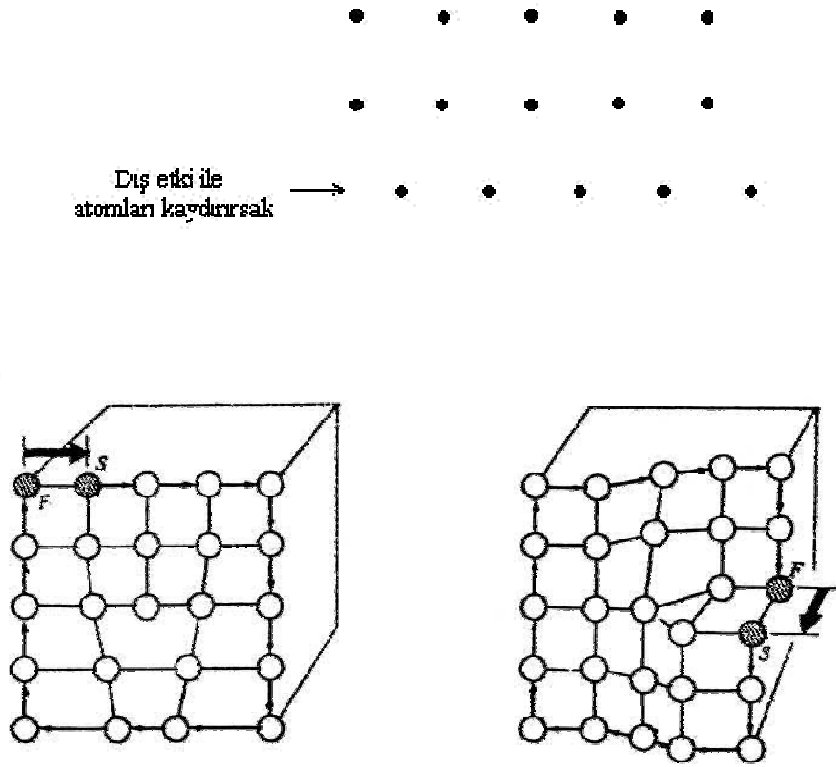
(e)

Şekil 2.6. Bir kristalde nokta kusurlar.

- a) Boşluk kusuru (F Merkezli)
- b) Boşluk kusuru (M Merkezli)
- c) Boşluk kusuru (R Merkezli)
- d) Ara yer atomu
- e) Ara yer safsızlığı

2.4.2. Çizgisel Kusurlar

Bir çizgi boyunca örgünün çarpılmasına neden olan örgü kusurlarıdır. Kristalin katılaşması sırasında oluşurlar. Çeşitli çizgisel kusurlar Şekil 2.7’de görülmektedir.



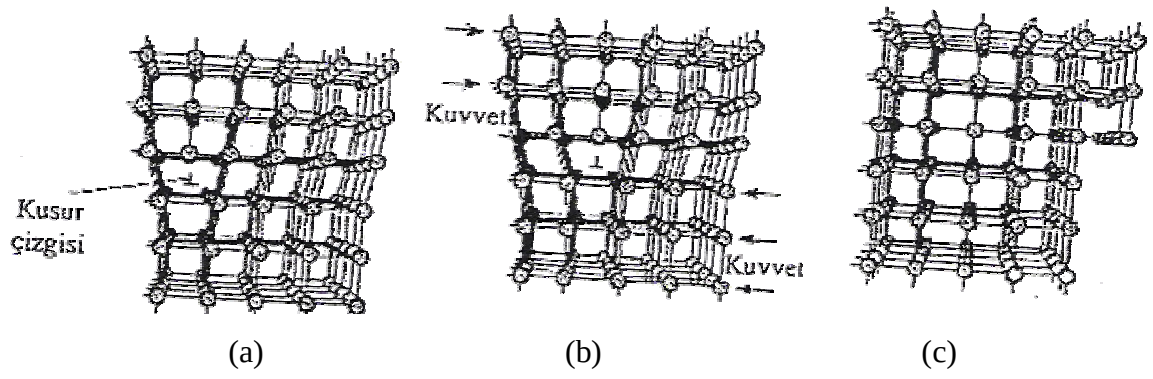
Şekil 2.7. Bir kristalde çizgisel kusurlar.

2.4.3. Yüzeysel Kusurlar (Tane Sınırları)

Bir kristal küçük kristal taneciklerinden oluşmuştur. Genellikle kristal malzemeler bu tip kristal taneciklerinin üst üste yığılmasıyla oluşturulmuştur. Küçük metal tanecikler düzgün olmalarına rağmen birleşme anında birbirleriyle açtıkları yüzeyde kusur oluştururlar. Tane sınırları, çok kristalli metallerde farklı yönelimdeki taneleri birbirinden ayıran yüzey kusurlarıdır. Metallerdeki tane sınırları, katılaşma sırasında farklı çekirdeklerden oluşan ve aynı zamanda büyüyen kristaller birbirine değince oluşur.

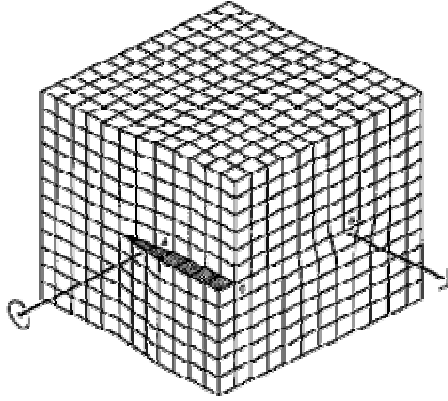
2.4.4. Hacimsel Kusurlar

Hacimsel kayma kusurlarının oluşması için gereken enerji miktarı oldukça fazladır. Hacimsel kusurların başında kayma kusuru gelmektedir. Kayma kusuru, bir atom dizisinin doğru yerinde olmadığı bir kristal kusurudur. Kayma kusurlarının iki temel türü vardır. Şekil 2.8 bir atom tabakasının bir kısmının ortadan kalkması sonucu oluşan kenar kayma kusurunu göstermektedir.



Şekil 2.8. Bir kristalde hacimsel kusurlar.

Kuvvet uygulanan bir kristal, yapısındaki kayma kusurları konum değiştirdikleri için kalıcı şekil bozukluğuna uğrar. Şekil 2.8.a'da kenar kayma kusuru olan bir kristalin başlangıçtaki yapısı gösterilmektedir. Kayma kusurunun altındaki tabakada bulunan atomlar, üstlerindeki atomlarla olan bağlarını birer birer kaydırırken, kayma kusuru sağa doğru ilerler (Şekil 2.8.b). Şekil 2.8.c'de kristal kalıcı şekil değişikliğine uğramaktadır. Diğer tür dislokasyon vida kayma kusurlarıdır. Bir vida kayma kusurunun oluşumunu göz önünde canlandıralım. Mükemmel bir kristalde yarım bir kesik yapıldığını ve Şekil 2.9'daki gibi kesiğin bir tarafının diğer tarafına göre yerinden oynatıldığını düşünelim. Atom tabakaları kayma kusurunun etrafında spiraller oluştururlar (Beiser, 1995).



Şekil 2.9. Bir kristalde vida kayma kusuru.

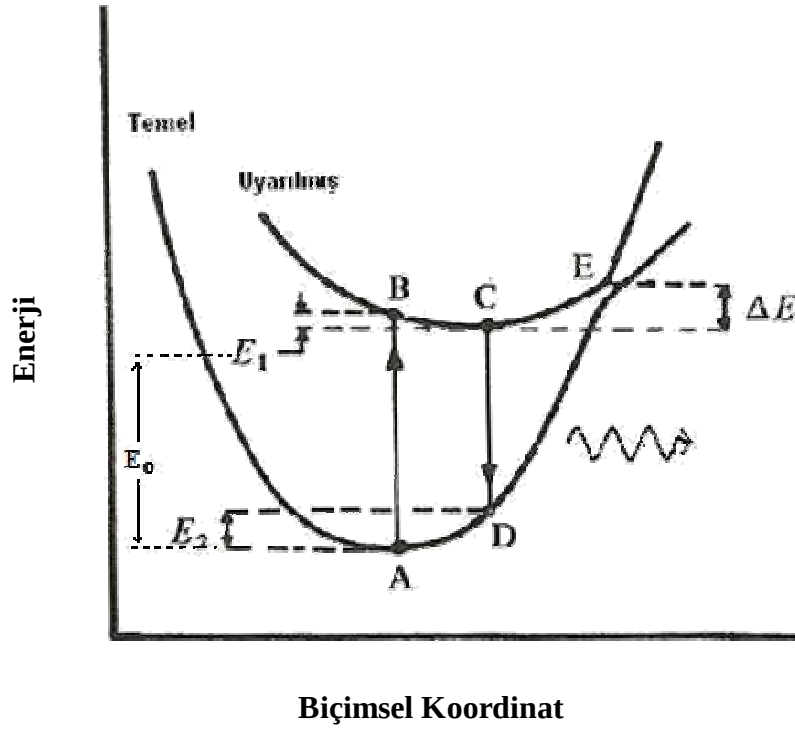
Enerji seviyeleri kusurun ve örgünün yapısına bağlı olarak tek veya dağılmış olabildikleri için kristal kusurları lüminesans olayları için önemlidir.

2.5. Termolüminesans Teorileri

2.5.1. Mott-Seitz Gösterimi

Mott-Seitz (Seitz, 1940; Mott, 1948) mekanizmasında uyarılmış durum ve temel durum arasındaki elektronik geçişler biçimsel koordinat diyagramıyla biçimsel koordinat kusuru yakınındaki atomların yer değiştirmesidir ve dengede temel durumdaki elektron minimum enerjidedir (A noktası). Radyasyondan enerji soğurulması uyarılmış durum B'ye geçişle sonuçlanır. Şekil 2.10'da Mott-Seitz mekanizması görülmektedir.

Uyarılmış durumda minimum enerji için biçimsel koordinat temel durumdakinden farklıdır. Bunun için elektron yeni minimum enerjiye (C noktasına) ulaşmak için E_1 kadarlık enerji kaybeder. CD geçişi lüminesans yayılımı ile sonuçlanır. Biçimsel koordinat yeniden düzenlenir ve elektronun orijinal konumuna (A noktası) geri dönmesi sırasında E_2 kadarlık enerji kaybeder. Lüminesans enerjisi CD, soğurulan enerji AB'den $E_1 + E_2$ kadar azdır. Böylece yayınım bandı, soğurma bantlarının uzun dalga boylu kısmında bulunur.



Şekil 2.10. Mott-Seitz mekanizması.

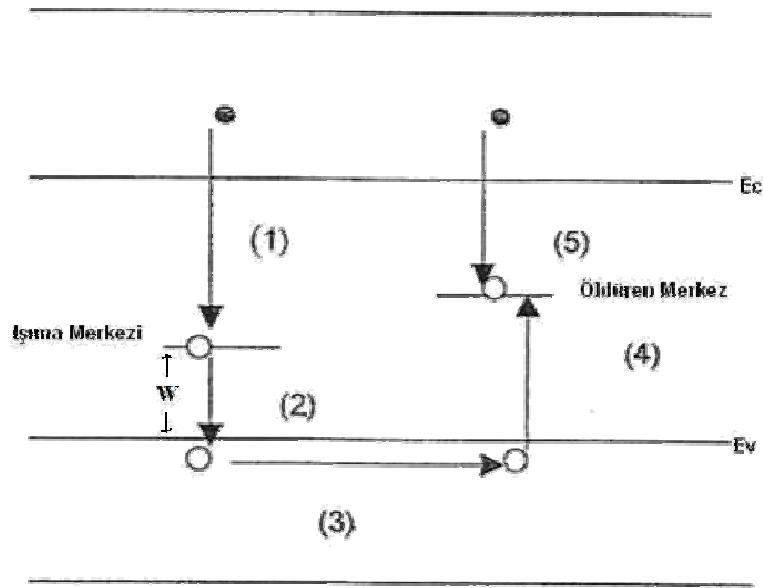
Eğer elektron uyarılmış durumda ΔE kadar enerji soğursa C'den E'ye geçiş oluşur. Elektron temel duruma ışıma yayınlamadan geri döner fakat ısı yayılımı elektronun A noktasındaki minimum enerjiye geri dönmesini sağlar. Böylece ışımasız geçiş olasılığı sıcaklığa, $\exp(-\Delta E/kT)$ bağıntısı ile bağlıdır. Fakat ışımalı geçiş sıcaklıktan bağımsızdır. Bir materyalin ışıma ve enerji soğurmayı takiben ışıma gösterip göstermemesi ışımalı ve ışımasız geçiş olasılıklarına bağlıdır. Genellikle bir fosforun ışıma verimi η , ışımalı geçiş olasılığı P_{nr} 'ye

$$\eta = P_r / P_r + P_{nr} = 1 / [1 + c \exp(-\Delta E/kT)] \quad (2.1)$$

bağıntısıyla bağlıdır.

2.5.2. Schön-Klasens Gösterimi

Schön-Klasens (Latyshev ve ark., 2004) mekanizması enerji band modeline dayanır. Yeniden birleşme (rekombinasyon), yük taşıyıcılarının, kristal örgü içerisinde ışıma oluşturmak için ışıma merkezlerindeki deşiklerle birleşirler. Yeterince yüksek sıcaklıklarda elektronlar direkt olarak valans bandından ışıma merkezlerine geçerler (deşikler ısısal olarak serbest kalmış olabilirler) ve serbest deşikler ilerler ve diğer merkezlerde (Öldüren merkez olarak adlandırılır) yeniden tuzaklanırlar. Öldüren merkezin yoğunluğundaki ve sıcaklıktaki artış ışımasız geçiş olasılığını arttırır. Mekanizma Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Schön-Klasens modeli.

Elektronların ışıma merkezlerinde, yeniden birleşme ile verim

$$\eta = 1/(1 + c \exp(-W/kT)) \quad (2.2)$$

şeklinde yazılabilir.

Işıma merkezleri düşük sıcaklıklarda yeniden birleşme merkezi gibi davranırken yüksek sıcaklıklarda deşik tuzağı gibi davranır. Bir yük taşıyıcısının tuzaktan kurtulma olasılığı $\exp(-E/kT)$ ile orantılıdır. Burada E tuzak derinliği yani tuzak ile delokalize bant arasındaki enerji farkıdır. Verilen bir sıcaklık için E küçük ise merkez tuzak gibi davranır. Bundan dolayı yeniden birleşme merkezleri yasak aralığın ortasına doğru, tuzaklar ise yasak aralığın kenarlarına doğru yerleşmişlerdir.

Tuzak ve yeniden birleşme merkezleri arasındaki fark tuzaklanma ve yeniden birleşme olasılıklarına dayanır. Verilen bir sıcaklıkta bu iki olasılığın eşit olduğu kusur seviyeleri vardır. D derinliğindeki böyle bir seviye tuzak ve yeniden birleşme merkezleri arasında bir sınır seviyesidir. Eğer $E < D$ ise merkez tuzak gibi, $E > D$ ise merkez yeniden birleşme merkezi gibi davranır.

Bir öldüren merkezin yüksek sıcaklıklarda yeniden birleşme merkezi gibi davranabilmesi için enerji derinliğinin, ışıma merkezinin valans banttaki derinliğinden (W) büyük olması gerekir.

2.5.3. Basit Model

Basit model Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Bu enerji bant şemasında biri sınır seviyesi ve delokalize bant arasına (D_e ve E_c veya D_h ve E_v) diğeri ise sınır seviyeleri arasında herhangi bir yere yerleşmiş olan iki lokalize seviye vardır. Böylece biri tuzak gibi davranırken diğeri ise yeniden birleşme merkezi olarak davranır. Şekil 2.12’de tuzak dengi Fermi seviyesinin E_f ’nin üstüne yerleştirilmiştir ve denge durumunda boştur (Radyasyondan enerji soğurmadan önce). Böylece potansiyel elektron tuzağıdır. Yeniden birleşme merkezi Fermi seviyesinin altına yerleştirilmiştir ve tamamen elektronlarla doludur. Bundan dolayı potansiyel deşik tuzağıdır.

Radyasyon enerjisinin soğurulması iletim bandında serbest elektronlar ve valans bandında deşikler oluşturur. Serbest elektronlar T seviyesinde tuzaklanırlar. Tuzaklanan bu elektronlar yeterince enerji soğururlarsa iletim bandına dönerler.

Tekrar serbest kalan elektronlar yeniden birleşme merkezinde tuzaklanmış deşiklerle birleşirler. Bu yeniden birleşme geçişi ışıma yayınımları ile sonuçlanır (Şekil 2.12).

Işıma yayınımları tuzakta harcanan zaman τ kadar gecikir.

$$p = \tau^{-1} = s \exp(-E/kT) \quad (2.3)$$

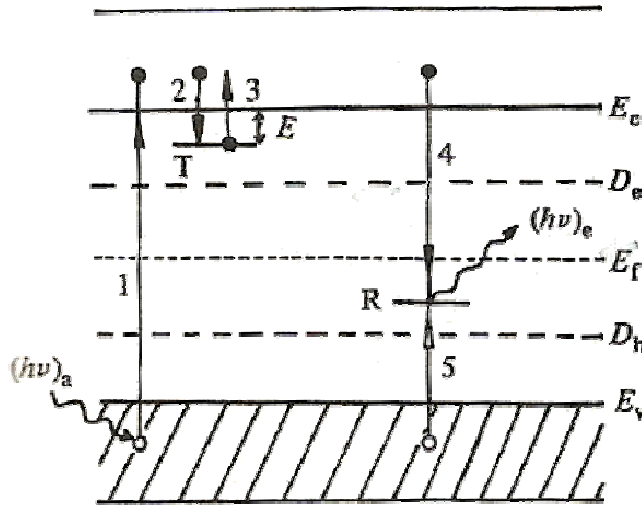
Burada,

p: elektronun birim zamanda tuzaktan kurtulma olasılığı,

E: aktivasyon enerjisi (tuzak derinliği),

k: Boltzman sabiti,

T: sıcaklıktır.



Şekil 2.12. Termolüminesans için iki seviyeli basit model. İzinli geçişler: (1) iyonlaşma; (2) ve (5) tuzaklanma; (3) ısısal serbest kalma; (4) ışımsal yeniden birleşme ve foton yayınımları.

Eğer tuzak derinliği E , ışınlama sıcaklığı T_0 'da $E \gg kT_0$ ise elektron uzun bir süre tuzakta kalır. Serbest elektron ve deşikler çiftler halinde oluştukları ve yine

çiftler halinde yok oldukları için R seviyesinde elektronla eşit yoğunlukta tuzaklanmış deşik bulunmalıdır. T ve R seviyeleri denge Fermi seviyesinin altında ve üstünde bulundukları için tuzaklanmış elektron ve deşikler kararsız durumu gösterirler. Denge durumuna dönüş yolu her zaman açıktır. Fakat denge durumunda ısınlama şeklindeki (perturbasyon) düşük sıcaklıkta olduğu için denge durumuna dönme oranı (2.3) eşitliğinden dolayı düşer. Denge durumuna dönme sıcaklığı T_0 'ın üstüne çıkararak hızlandırılır ($E < kT$). Bu da elektronların tuzaktan kurtulma olasılığını artırır ve tuzaktan kurtulan elektronlar iletim bandına geçerler. Serbest elektronların yeniden birleşme merkezlerindeki deşiklerle birleşmeleri sonucu termolüminesans oluşur.

Herhangi bir zamanda termolüminesans şiddeti $I(t)$, R seviyesinde elektron ve deşiklerin birleşme oranıyla orantılıdır. Eğer m tuzaklanmış deşiklerin yoğunluğu ise

$$I(t) = -dm/dt \quad (2.4)$$

olarak verilir.

Sıcaklık yükseldikçe elektronlar kurtulur, yeniden birleşme oluşur ve termolüminesans şiddeti artar. Elektron tuzakları sürekli boşaldıkça yeniden birleşme oranı düşer ve böylece termolüminesans şiddeti düşerken karakteristik TL tepesi oluşur.

Sıcaklık zamanın lineer bir fonksiyonu olarak,

$$T = T_0 + \beta t \quad (2.5)$$

bağıntısına göre artar. Burada $\beta = dT/dt$ 'dir.

Bir elektronun tuzaktan kurtulma olasılığı tuzak derinliği E ve sıcaklığa bağlı olduğu için TL tepesinin oluşacağı sıcaklık aralığı tuzak derinliğine bağlıdır. Maksimumunun konumu E ve s ile belirlenir. Sabit bir s için E 'nin değeri ne kadar büyükse tepenin oluştuğu sıcaklık o kadar yüksektir (McKeever, 1985).

s sabiti genellikle "ön-exponensiyel faktör" olarak adlandırılır. Fakat şimdiki uygulama için daha tanımlayıcı olan "kaçış frekansı" olarak adlandırılır ve birim zamanda örgü kafesi ile etkileşme sayısı olarak yorumlanır. Böylece s,

$$s = \nu \kappa \{ \Delta S / k \} \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada ν birim saniyede elektronun örgü kafesi ile etkileşme sayısı, κ geçiş olasılığı, ΔS , elektron temel durumdan uyarılmış duruma geçerken entropide meydana gelen değişimdir. Böylece s örgü titreşim frekansı ile aynı değer alır, yani 10^{12} s^{-1} . Uyarılmış durum, bir delokalize banttır yani elektronlar için iletim bandı,deşikler için valans bandıdır. Bu durumda frekans faktörü yarı kararlı durumun yakalama etki kesiti σ 'ya eşittir:

$$s = N_s \nu \sigma \quad (2.7)$$

N_s : delokalize banttaki seviyelerin etkin yoğunluğu

ν : serbest taşıyıcının ısısal hızı

N_s , σ ve ν sıcaklığa bağlı olduğu için s de sıcaklığa bağlıdır.

Model, termolüminesansın uyarılması sırasında değişik enerji seviyeleri arasındaki yük akışını tanımlayan oran denklemleri ile analiz edilir. Olayı iki bileşime ayırmak gerekir. Birisi ışınlama sırasında tuzakların dolması diğeri ise ısısal uyarılma sırasında tuzak boşalma olayıdır. Bu durum Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Şekilde düzgün bir tuzak dağılımı için doldurulan enerji seviyelerini göstermek için kullanılan dolum diyagramları gösterilmiştir (Braunlich, 1979). Şeklin sol tarafında 0°K 'de Fermi-Dirac dolum fonksiyonları görülmektedir. Uyarılmadan sonra E_f 'nin altında ve üstündeki lokalize seviyelerde tuzaklanan elektron vedeşik dağılımlarını gösteren yeni dolum fonksiyonları vardır. Biri elektronlar için E_{fn} ve diğerideşikler için E_{fp} olmak üzere iki "Yarı Fermi Seviyesi" vardır. Bu seviyeler uyarılmayı

takiben oluşan dengede olmayan durumu tanımlamak için kullanışlı araçlardır. Isıtılma sırasında dolum fonksiyonu $F_n(E)$ derece derece uyarılma öncesi durumuna geri döner.

Tuzaklanan yük yoğunlukları azaldıkça yarı Fermi seviyeleri de denge Fermi seviyesine doğru hareket eder.

Lokelize seviyeler arasında direkt geçişler ihmal edilmiştir. Elektronların iletim bandından ($E \geq E_c$) E enerjili tuzaklara geçişi ($E_c > E > E_{dn}$) ve deşiklerin valans bandından ($E \leq E_v$) deşik tuzaklarına ($E_{dp} > E > E_v$) geçişleri fonon yayarak, yani ışımasızdır.

Serbest elektronların iletim bandından ($E \geq E_c$) rekombinasyon merkezlerine ($E_f > E > E_{dn}$) ve serbest deşiklerin valans bandından rekombinasyon merkezlerine ($E_{dn} > E > E_f$) geçişi ışımalıdır.

Adirovitch (Adirovitch, 1956), Haerings-Adams (Haerings ve Adams, 1960) ve Halperin-Braner (Halperin ve Braner, 1960) denklemlerini genelleştirerek ısısal uyarılma sırasında iletim ve valans bandına giren yük atışını tanımlayan oran denklemlerini yazdılar. Bu denklemleri yazarsak,

$$\begin{aligned} \frac{dn_c}{dt} = & \int_{E_{dn}}^{E_c} p_n(E) N(E) f(E) dE - n_c v_n \int_{E_{dn}}^{E_c} s_n(E) N(E) (1-f(E)) dE \\ & - n_c v_n \int_{E_{dn}}^{E_c} s_{mn}(E) N(E) (1-f(E)) dE \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} \frac{dn_v}{dt} = & \int_{E_v}^{E_{dp}} p_p(E) N(E) f(E) dE - n_v v_p \int_{E_v}^{E_{dp}} s_p(E) N(E) (1-f(E)) dE \\ & - n_v v_p \int_{E_f}^{E_{dn}} s_{np}(E) N(E) (1-f(E)) dE \end{aligned} \quad (2.9)$$

$p_n(E)$ ve $p_p(E)$ tuzaklardan kurtulma olasılıkları, $N(E)$ durum yoğunlukları fonksiyonu, $f(E)$ dolum fonksiyonu, n_c iletim bandındaki elektron sayısı, n_v valans bandındaki deşikler, v_n ve v_p serbest elektron ve deşğin ısısal hızları, $s_n(E)$ ve $s_p(E)$ elektron ve deşik tuzaklarının yakalama tesir kesiti, $s_{np}(E)$ ve $s_{mn}(E)$ yeniden birleşme tesir kesitleridir.

$$\int_{E_{dn}}^{E_c} N(E)f(E)dE \hat{=} n \quad (2.10)$$

Boş tuzakların sayısı

$$\int_{E_{dn}}^{E_c} N(E)(1-f(E))dE \hat{=} N-n \quad (2.11)$$

Deşik durumlarının sayısı

$$\int_{E_v}^{E_{dp}} N(E)(1-f(E))dE \hat{=} m \quad (2.12)$$

Sadece elektronların tuzaklardan kurtulduğu varsayılırsa $n_v=0$ 'dır.

$$\frac{dn_c}{dt} = n_s \exp(-E_t/kT) - n_c(N-n)A_n - n_c mA_{mn} \quad (2.13)$$

$$dn_v = 0$$

$A_n = v_n s_n$ yeniden tuzaklanma olasılığı

$A_{mn} = v_n s_{mn}$ yeniden birleşme olasılığı

$$\frac{dn}{dt} = n_c (N-n) A_n - n s \exp(-E_t/kT) \quad (2.14)$$

$$\frac{dm}{dt} = -n_c m A_{mn} \quad (2.15)$$

$$\frac{dn_c}{dt} = dm/dt - dn/dt$$

yükün nötürlüğünden,

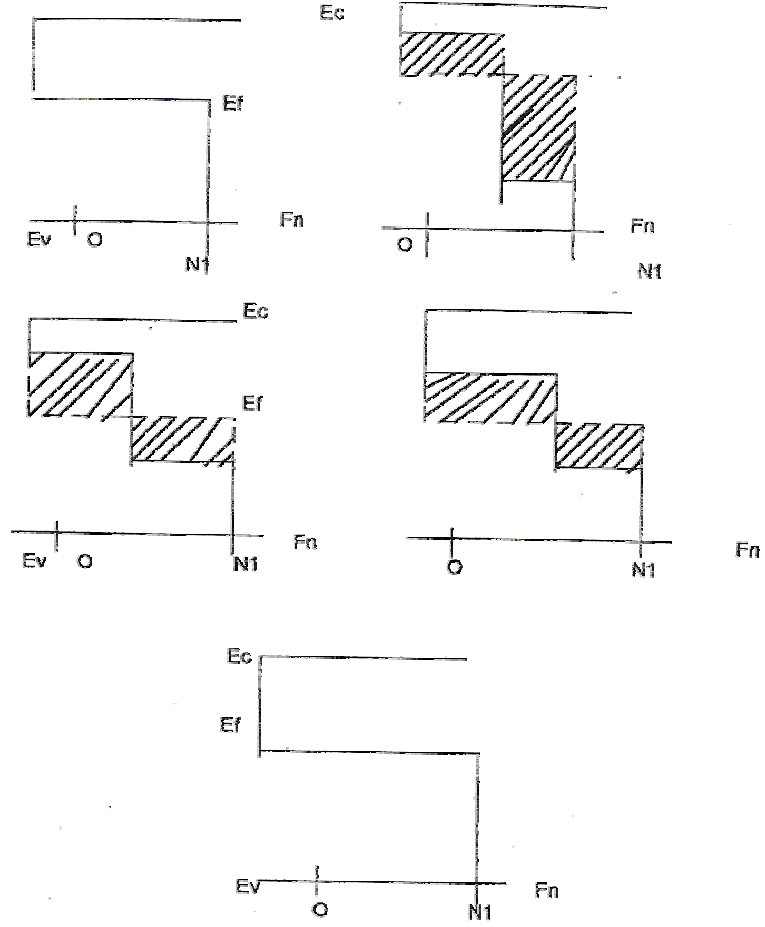
$$n_c + n = m \quad (2.16)$$

sistemin dengeye dönüşü sırasında yayılan TL şiddeti

$$I_{TL} = -h \, dm/dt \quad (2.17)$$

h ışıma verimidir ve bir sabittir. Bütün yeniden birleşme olayları foton üretir ve tüm fotonlar için $h = 1$ 'dir.

2.13-2.16 denklemleri denge durumundan uyarılan bir sistem için ısıtılma sırasında elektronların trafiğini tanımlar. Bunlar birinci derece lineer olmayan diferansiyel denklemlerdir. n_c , n , m yoğunluklarının üçü de hem zamana hem de sıcaklığa bağlıdır (Chen ve McKeever, 1997).



Şekil 2.13. Düzgün bir tuzak dağılımında uyarılma öncesi ve sonrası tuzak dolum fonksiyonları.

2.5.4. Yarı-Denge (QE)

TL şiddeti ve sıcaklık arasında bir bağlantı oluşturmak için oran denklemlerine bazı varsayımlar yerleştirilmelidir. Bu denklemlere yerleştirilen tüm varsayımların en önemlisi yarı dengedir.

QE varsayımı

$$| dnc/dt | \gg | dn/dt |, | dm/dt | \quad (2.18)$$

Bu varsayım basitçe, iletim bandındaki serbest elektron yoğunluğunun yarı kararlı olduğunu belirtir. Eğer bu varsayımı, başlangıçtaki serbest yük yoğunluğunun çok az olduğu varsayımıyla ($n_c=0$) birleştirirsek ısısal uyarılma sırasında iletim bandında hiçbir zaman elektron birikmez.

Bu eşitsizliği uygulayarak,

$$-dn/dt = -dm/dt = I_{TL} \quad (2.19)$$

bağıntısı kullanılarak n_c hesaplanır ve yerine yazılarak aşağıdaki denklemler bulunur:

$$I = \frac{ns \exp\{-E_t/kT\} m s_{mn}}{(N-n)s_n + m s_{mn}} \quad (2.20)$$

$$I = ns \exp\{-E_t/kT\} \left[1 - \frac{(N-n)s_n}{(N-n)s_n + m s_{mn}} \right] \quad (2.21)$$

(2.20) ve (2.21) denklemleri TL yayınımları için genel bir tuzaklı bağıntı (GOT) olarak adlandırılır (Levy, 1985, 1991). (2.21) denklemindeki kare parantez içerisindeki ifade ısısal olarak yeniden tuzaklanmama olasılığıdır.

2.5.5. Randall-Wilkins Teorisi (Birinci Derece Kinetik)

Randall ve Wilkins tuzaklardan kurtulan elektronların tekrar tuzaklanmadığını yani $m s_{mn} \gg (N-n)s_n$ olduğunu varsaydılar. Bu şart başlangıçta doğru görülmekle beraber, daha sonra tuzaklanan elektronlar azaldıkça doğru olmama olasılığı artmaktadır. Yavaş tuzaklanma şartından GOT denklemi

$$I_{TL} = ns \exp\{-E_t/kT\} \quad (2.22)$$

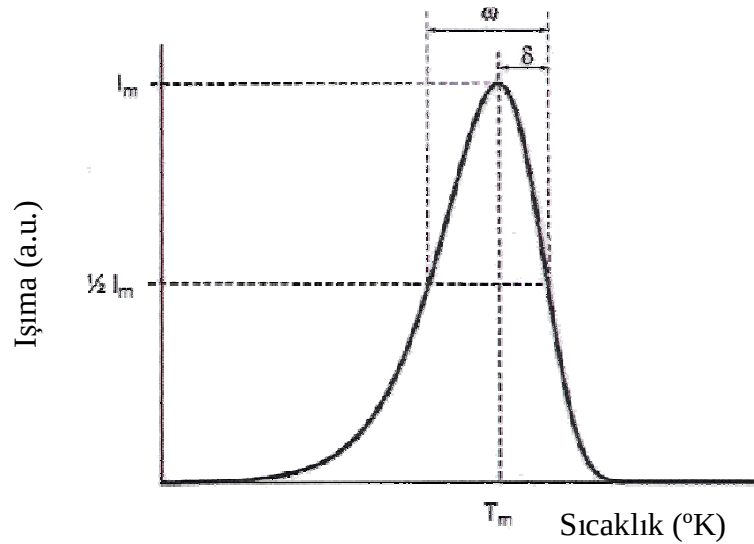
denklemine dönüşür.

$I_{TL} = -dn/dt = -dm/dt$ denkleminde $-dn/dt \approx n'$ dir. Böylece birinci dereceden bir reaksiyondur. (2.22) denkleminin $t=0$ 'dan $t=t'$ ye integrali alınarak Randall-Wilkins bağıntısı;

$$I_{TL} = n_0 s \exp(-E_t/kT) \exp[-s/b \int_{T_0}^T \exp\{-E_t/kq\} dq] \quad (2.23)$$

olarak bulunur. Burada q , sıcaklığı gösteren bir değişkendir.

Bu ifade karakteristik bir T_M sıcaklığında maksimum bir yoğunluk ile Şekil 2.14'teki gibi çan şeklinde bir eğri verir.



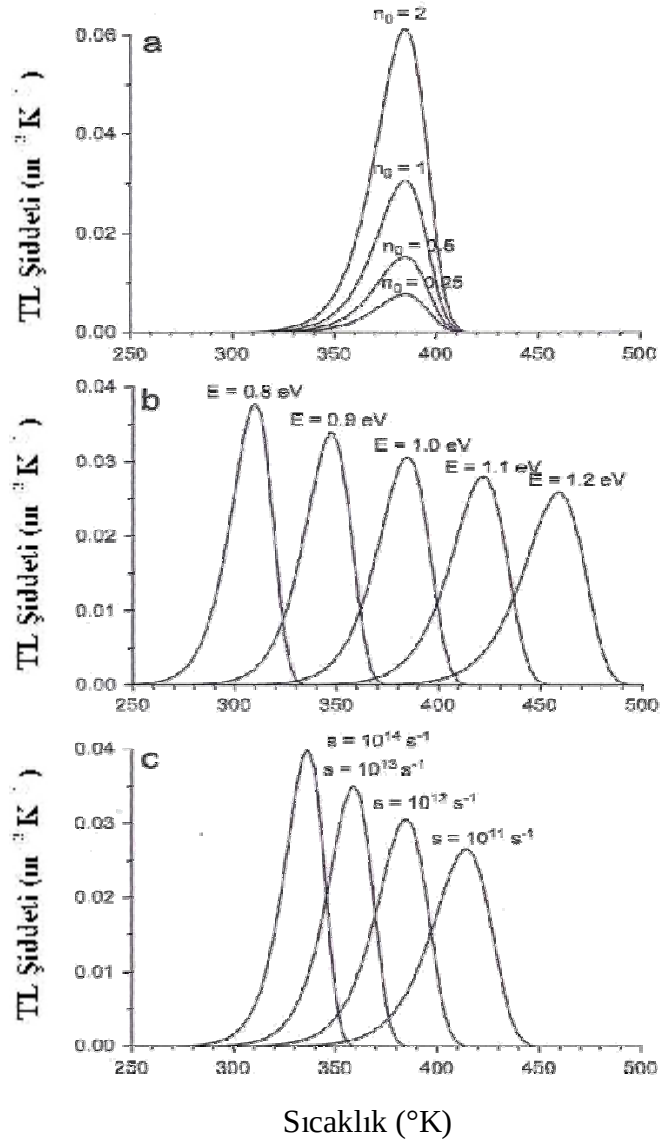
Şekil 2.14. Randall-Wilkins birinci derece TL denkleminde normalizasyon yapılmış ışımada tepesi: Asimetrik ya da geometrik faktör olarak tanımlanan $m_g = d/w$, 0.42 tipik değerine sahiptir (Bos, 2007).

Birinci derece kinetiğinin maksimum noktası aşağıdaki şekilde bulunur. İlk önce I_{TL} denkleminin logaritması alınır. Daha sonra türevi alınır ve $T = T_M$ 'de sıfıra eşitlenir. Böylece s hesaplanmış olur.

$$s = b \frac{E}{kT_M} \exp \left\{ -\frac{E_t}{kT_M} \right\} \quad (2.24)$$

Eğer E ve b sabit fakat n_0 değişiyorsa tepe yüksekliği de değişir. Fakat tepenin konumu değişmez. Bu birinci dereceden TL eğrilerinin önemli bir karakteristik özelliğidir. Birinci dereceden TL eğrilerinin bir diğer karakteristik özelliği de tepenin asimetrisidir. Düşük sıcaklık kısmı yüksek sıcaklık kısmından daha geniştir. Kararlı tuzak derinliği (E_t) arttıkça, tepe maksimumu daha yüksek sıcaklıklara doğru kayar. Tepenin yüksekliği azalır ve genişliği artar. Isıtma oranı (β) arttıkça tepe yüksek sıcaklıklara doğru kayar. Tepenin yüksekliği artar ve tepe alanı da b ile değişir.

Randall-Wilkins birinci derece TL denkleminin özellikleri Şekil 2.15'te görülmektedir.



Şekil 2.15. Randall Wilkins birinci derece TL denkleminin özellikleri; (a) n_0 ışınlanmasından sonra, tuzaklanmış doz taşıyıcılarının yoğunlukla değişimi. (b) E , aktivasyon enerjisi ile değişimi (c) Parametre değerleri: $n_0 = 1 \text{ m}^{-3}$; $E = 1 \text{ eV}$; $s = 1 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$, s kaçış frekansı ile değişimi. Bütün eğriler için ısıtma oranı $b = 1^{\circ}\text{K s}^{-1}$ 'dir. Belirlenen tepenin maksimum konumu n_0 'la değişmez (Bos, 2007).

2.5.6. Garlick-Gibson Teorisi (İkinci Derece Kinetik)

Garlick ve Gibson elektronun yeniden tuzaklanma olasılığının, tuzaklanmış deşiklerle birleşme olasılığından daha yüksek yani $(N-n)s_n \gg m s_{mn}$ olduğunu varsaydılar.

$N \geq n$ ve $n = m$ eşitsizliği GOT bağıntısına uygulandığında,

$$I_{TL} = - dn/dt = - s [s_n / N s_{mn}]^2 \exp\{-E_t/kT\} \quad (2.25)$$

denklemini elde edilir.

Birinci derece olayın tersine, $(N-n)s_n \gg m s_{mn}$ eşitsizliği başlangıçta doğru ise tüm tepe boyunca sabit kalır.

$s_n = s_{mn}$ için;

$$I_{TL} = - dn/dt = s/N n^2 \exp\{-E_t/kT\} \quad (2.26)$$

$$I_{TL} = s/N n_0^2 \exp\{-E_t/kT\} [1 + s n_0 / b N \int_{T_0}^T \exp\{-E_t/kT\} dq]^{-2} \quad (2.27)$$

(2.29) eşitliği ikinci derece kinetik Garlick-Gibson denklemdir.

Birinci derece TL tepesi ile ikinci derece TL tepesi arasındaki en belirgin fark n_0 arttıkça ikinci TL tepesinin n_0 ile orantılı olarak büyümesi ve düşük sıcaklık kısmına doğru kaymasıdır. (2.24) denklemini

$$I_{TL} = n_0^2 s' \exp\{-E_t/kT\} [1 + n_0 s' / b \int_{T_0}^T \exp\{-E_t/kT\} dq] \quad (2.28)$$

şeklinde değiştirilmiştir. Burada,

$$s' = s/N, \quad s_n = s_{mn} \quad \text{ve} \quad s' = s s_n / N s_{mn} \quad s_n \neq s_{mn}$$

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

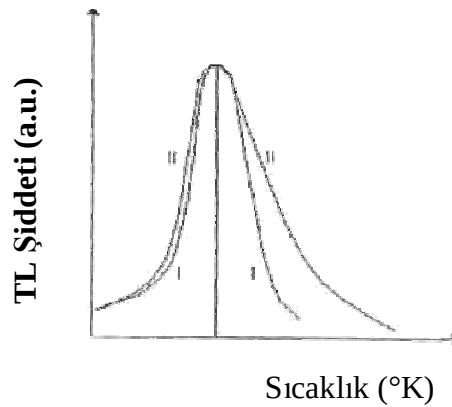
s'' : etkin ön exponansiyel faktör

b : kinetik derece

$$I_{TL} = n_0 s'' \exp\{-E_t/kT\} [1 + s''/b \int_{T_0}^T \exp\{-E_t/kT\} dq] \quad (2.29)$$

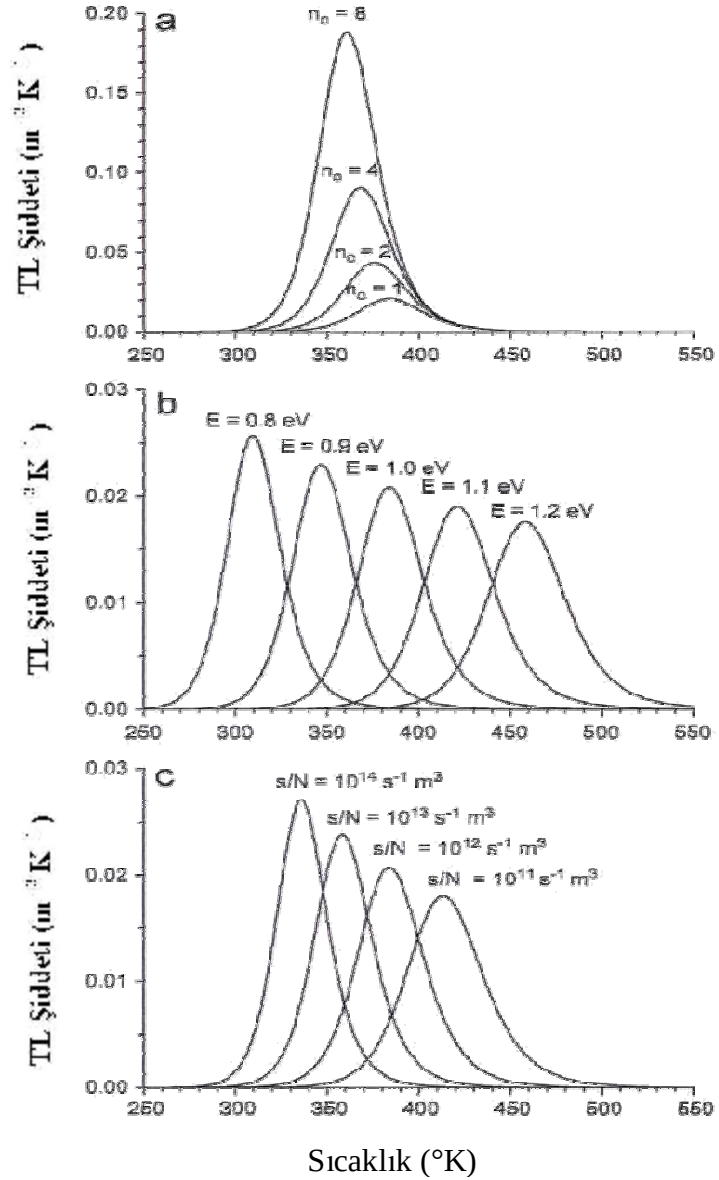
Bir TL tepesinin konumu hem E_t 'ye hem de s' 'ye bağlı olduğundan ikinci derece tepe için n_0 arttıkça s'' artar. Bu da TL tepesinin düşük sıcaklıklara kaymasına neden olur. İkinci derece TL tepesinin bir diğer özelliği de birinci derece tepesinden daha geniş ve simetrik olmasıdır. İkinci derece reaksiyonda, serbest kalan elektronların büyük çoğunluğu yeniden birleşmeden önce tuzaklanırlar. Böylece ışıma yayınımdan gecikmeye ve yayınının geniş bir sıcaklık aralığına yayılmasına neden olurlar.

Işıma tepe noktası üzerinde, kinetiklerin mertebesinin etkisi Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Ayrıca şekilde, tek tip tuzaktan gelen iki ışıma eğrisi de karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.16. I, Birinci derece ışıma eğrisi şekli, II, İkinci derece ışıma eğrisi şekli: İki eğri arasındaki büyük fark, eğrinin alçalan kısmında görülmektedir.

Garlick-Gibson ikinci derece TL denkleminin özellikleri Şekil 2.17’de görülmektedir.



Şekil 2.17. Garlick–Gibson ikinci derece TL denkleminin özellikleri; (a) n_0 ışınlamasından sonra tuzaklanmış doz taşıyıcılarının yoğunlukla değişimi. (b) E , aktivasyon enerjisi ile değişimi (c) Tüm eğriler için $b = 1^{\circ}\text{Ks}^{-1}$ ısıtma hızı oranında, diğerleri sabit tutulurken $n_0 = 1 \text{ m}^{-3}$; $E = 1 \text{ eV}$; $s/N = 1 \times 10^{12} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-3}$ parametrelerinden birinin değiştirilmesi sonucu sıcaklıkla TL yoğunluğunun değişimi: Belirlenen tepenin maksimum konumu Şekil 2.17.a’da n_0 ’la değişir (Bos, 2007).

2.5.7. Genel Mertebe Kinetiği

Birinci ve ikinci derece kinetik şartları sağlanmadığı zaman, arada bulunan (intermediate) durumlara genel mertebe kinetiği uygulanır. May ve Partridge genel derece kinetiği için bir empirik TL bağıntısı geliştirdiler (McKeever, 1985).

$$I_{TL} = n^b s' \exp\{-E_t/kT\} \quad (2.30)$$

Burada s' 'nin birimi $m^{3(b-1)} s^{-1}$ 'dir ve b genel derece kinetiği parametresidir. $b \neq 1$ için (2.27) bağıntısının integralini alarak aşağıdaki genel dereceli empirik TL bağıntısı elde ederiz.

$$I_{TL} = n_0 s'' \exp\{-E_t/kT\} [1 - (b-1) s''/b \int_{T_0}^T \exp\{-E_t/kq\} dq]^{-b/b-1} \quad (2.31)$$

Geliştirilen bu genel mertebeli empirik TL bağıntısında s' 'nin biriminin kinetik mertebeye değişmesinden dolayı problem meydana gelir. Bu problemi gidermek için Rasheedy (Rasheedy, 1993) (2.27) denklemini

$$I_{TL} = -dn/dt = (n/N)^b \exp\{-E_t/kT\} \quad (2.32)$$

şeklinde yazmayı önerdi.

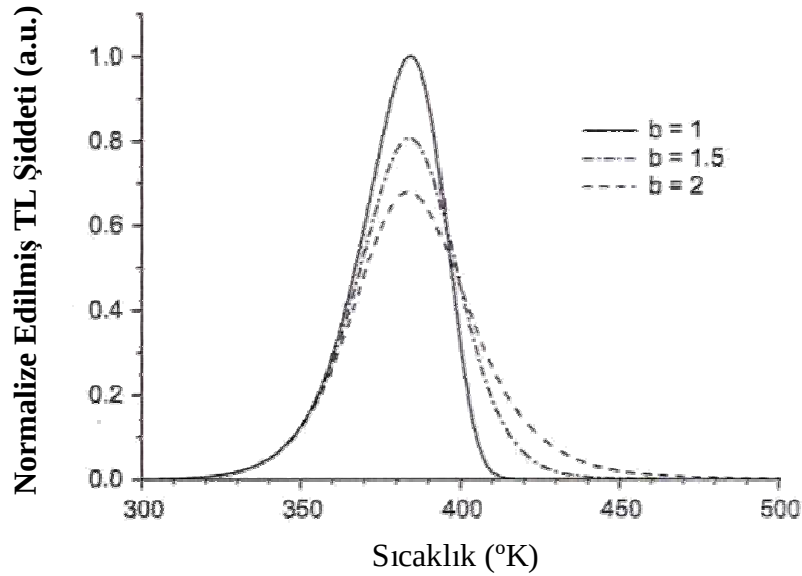
(2.31) denkleminin integralini aldığımızda;

$$I_{TL} = n_0^b \exp\{-E_t/kT\} N [1 + s(b-1)(n_0/N)^{b-1} / b \int_{T_0}^T \exp\{-E_t/kq\} dq]^{-b/b-1} \quad (2.33)$$

Bu da empirik bir bağıntıdır fakat bağıntı bu şekilde yazıldığında s 'nin birimi s^{-1} olur. Bu tanımlamayla birimin değişiminden kaynaklanan güçlük ortadan kalkar. Verilen bir doz için s sabittir ve doz oranı değiştikçe değişir.

$$I_{TL} = \frac{\exp(E_a/kT_m)}{kT_m^2} \left[\left(1 + (b-1) \frac{2kT_m}{E} \right) \right] \frac{b}{b-1} \quad (2.34)$$

Aşağıdaki şekilde birinci, ikinci ve orta dereceden ışıma tepelerinin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 2.18. $E = 1 \text{ eV}$; $s = 1 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$ ve $b = 1^\circ \text{K s}^{-1}$ parametre değerleri için birinci derece ($b = 1$), ikinci derece ($b = 2$), ve orta derece ($b = 1.5$) TL ışıma tepelerinin karşılaştırılması. Tepeler, birinci derece ışıma tepesine normalize edilmiştir. Belirlenen bütün tepeler eğrinin başlangıç bölümündeki artmada çıkarılır (Bos, 2007).

2.6. Tuzak Parametrelerinin Hesaplanması İçin Yöntemler

2.6.1. Tepe Noktalarının Maksimum Sıcaklıklarına Dayanan Yöntemler

2.6.1.1. İki Farklı Isıtma Oranına Dayanan Yöntem

Bu yönteme göre ısıtma oranı, TL ışıma eğrisinin karakteristik özelliklerini etkileyen bir parametredir. Isıtma oranı arttığı zaman tepe maksimumu yüksek sıcaklıklara doğru kayar, tüm tepeler genişler ve TL şiddeti azalır. TL şiddetindeki bu azalma ısısal azalmadan kaynaklanır.

Isıtma oranlarını değiştirip başlangıçtaki tuzak yoğunluğu n_0 gibi diğer tüm parametreleri sabit tutan değişik yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemler ısısal olarak uyarılan olaylardan bağımsız olarak geliştirilmiştir.

Booth (1958), Bohum (1954) ve Parfianovitch (1954) birbirlerinden bağımsız olarak çalışırken iki farklı ısıtma oranı ve birinci derece maksimum yayılım şartını kullanarak aktivasyon enerjisi ve frekans faktörünü hesaplamak için bir bağıntı geliştirmişlerdir.

$$\frac{bE_a}{kT_m^2} = s \exp\left(\frac{-E_a}{kT_m}\right)$$

Isıtma oranlarını bu bağıntıda yerine yazarsak,

$$\frac{b_1E_a}{kT_{m1}^2} = s \exp\left(\frac{-E_a}{kT_{m1}}\right) \quad (2.35)$$

$$\frac{b_2E_a}{kT_{m2}^2} = s \exp\left(\frac{-E_a}{kT_{m2}}\right) \quad (2.36)$$

bu iki bağıntıyı oranlar ve gerekli düzeltmeleri yaparsak,

$$E_a = \ln \left(\frac{b_1}{b_2} \right) \left(\frac{T_{m2}}{T_{m1}} \right)^2 k \frac{T_{m2} T_{m1}}{T_{m2} - T_{m1}} \quad (2.37)$$

eğer $b = 1$ ise iki ısıtma oranı maksimum TL şiddetine karşılık gelen tepe sıcaklıklarını ölçerek E_a kolay bir şekilde hesaplanır. T_m 1°C 'lik hata ile ölçülürse E_a %5'lik bir hata verir. E_a değerini (2.35) veya (2.36) denklemlerinde yerine yazarak frekans faktörü s hesaplanabilir.

2.6.1.2. Farklı Isıtma Oranlarına Dayanan Yöntemler

Hoogenstaraaten (1958) aktivasyon enerjisi ve frekans faktörünü belirlemek için bir bağıntı geliştirmiştir (Bos, 2007).

$$\frac{bE_a}{kT_m^2} = s \exp\left(\frac{-E_a}{kT_m}\right)$$

$$\ln\left(\frac{T_m^2}{b}\right) = \left(\frac{E_a}{k}\right)\left(\frac{1}{T_m}\right) + \ln\left(\frac{sk}{E_a}\right) \quad (2.38)$$

$$\ln\left(\frac{T_m^2}{b}\right)'nin \frac{1}{T_m}'e göre grafiği, eğimi $\frac{E_a}{k}$ olan bir doğrudur ve eğimden$$

aktivasyon enerjisi hesaplanabilir (Şekil 2.20). $\frac{1}{T_m} = 0$ olduğunda $\left(\ln \frac{sk}{E_a}\right)$ 'dan frekans

faktörü hesaplanır. Fakat üst üste binen tepeler varsa hesaplamada bazı güçlükler oluşabilir. Çünkü ölçülen ışıma eğrisinin maksimumu ışıma tepelerinin asıl tepe maksimumları ile çakışmayabilir. Böylece bu yöntemle belirlenen kinetik dereceler asıl değerler olmayabilir. Bu problemi halletmek için düşük sıcaklık tepeleri ısısal temizleme yöntemi ile yok edilebilir. Bu yönteme göre örnek tepe maksimumundan yüksek sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu işlem tüm tepeler için tekrarlanır.

Değişken ısı oranları yöntemi ile elde edilen kinetik parametrelerde, ısıtıcı eleman ve örnek arasında var olan sıcaklık farkı çok büyük hatalara sebep olabilmektedir. Kitis ve Tuyn (1998), bu sıcaklık farkından kaynaklanan hatayı düzeltmek ve farklı ısıtma oranlarında asıl tepe sıcaklıklarını belirlemek için;

$$T_m^j = T_m^i - C \ln\left(\frac{b_i}{b_j}\right) \quad (2.39)$$

bağıntısını geliştirdiler. Burada T_m^j ve T_m^i , b_j ve b_i ısıtma oranlarında tepelerin maksimum sıcaklıklarıdır. C, ısıtıcı eleman ve örnek arasında var olan sıcaklık farkının ihmal edilebileceği iki düşük ısıtma oranı kullanılarak elde edilen bir sabittir. C'yi bulmak için 1°C/s 'nin altındaki ısıtma oranları tercih edilir.

2.6.2. Eğrilerin Şekline Dayanan Yöntemler

2.6.2.1. Değişken Doz Karşılıkları (Yanıtları) Yöntemi

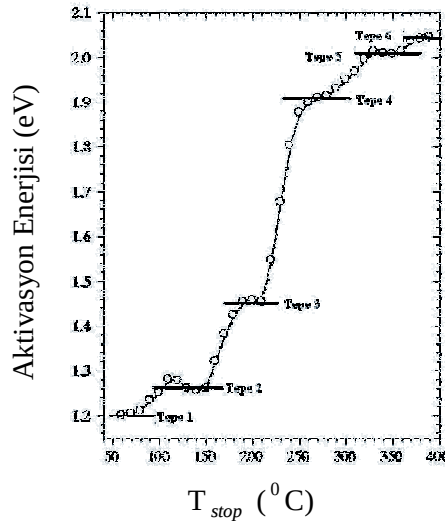
Işıma eğrisindeki her ışıma tepesinin kinetik derecesini belirlemek için bu yöntem kullanılır. TL teorisinin birinci derece kinetiğinde, ışıma tepelerinin maksimum sıcaklıkları yalnızca ısıtma oranı değiştiği zaman değişir. Eğer ısıtma oranı sabitse maksimum yayınım şartında başlangıçta tuzaklanan elektron sayısı n_0 olmadığı için maksimum sıcaklık doz oranıyla değişmez ve deneysel hata limitleri içerisinde ($\pm 2^\circ\text{C}$) sabit kalır. Genel mertebe kinetiğinde ise tepe sıcaklıkları artan doz oranıyla düşük sıcaklıklara doğru kayar. Eğer doz oranı, f çarpanı kadar artıyorsa tepe maksimumundaki kayma

$$\Delta T = T_1 - T_2 = \frac{T_1 T_2 k(i-1)}{E \ln f}$$

bağıntısı ile belirlenir. $T_1 = T_m$ ise orijinal tepe konumudur. $T_1 > T_2$ ise doz artışından sonraki tepe konumudur (Bos ve Dieldorf, 1991).

2.6.2.2. $T_m - T_{stop}$ Yöntemi

Işıma eğrisindeki tepelerin kinetik dereceleri $T_m - T_{stop}$ yöntemiyle de belirlenebilir. Bu yöntemde, örnek ısılandıktan sonra ilk tepenin düşük sıcaklık kısmına karşılık gelen bir sıcaklığa (T_{stop}) ısıtılır. Örnek daha sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılır ve ışıma eğrisinin geri kalanını elde etmek için örnek aynı ısıtma oranında tekrar ısıtılır ve T_m belirlenir. Yöntem, yeni ısıtılmış bir örnek üzerinde veya ısıtılmış/ısıtılmış örnek üzerinde birçok kez tekrarlanır. $T_m - T_{stop}$ grafiği Şekil 2.19’da görüldüğü gibi merdiven basamağı şeklindedir. Bu yöntemle tepelerin sayısı da belirlenir ve her plato bölgesi her tepenin yaklaşık konumunu, yani tepenin hangi sıcaklıkta oluştuğunu belirler. Plato bölgesinin bitimindeki T_m ’deki kademeli artış kinetik derecenin birden büyük olduğunu gösterir. Birinci derecede TL kinetiğinde ise T_m bir sonraki plato bölgesine keskin bir artış gösterir (Bos ve Dieldorf, 1991).



Şekil 2.19. T_{stop} - Aktivasyon enerjisi grafiği (Topaksu ve Yazıcı, 2007).

2.6.2.3. Başlangıçtaki Artış Yöntemi

Bu yönteme göre TL ışıma eğrisinin başlangıcında tuzaklanan elektronların yoğunluğu n_0 sıcaklıkla çok az değişir ve böylece sabit olur. Sıcaklık tepe maksimumundan küçük bir T_c sıcaklığına yükseldikçe,

$$I_{TL} = n_0 s \exp(-E_t/kT) \exp[-s/b \int_{T_0}^T \exp\{-E_t/kq\} dq]$$

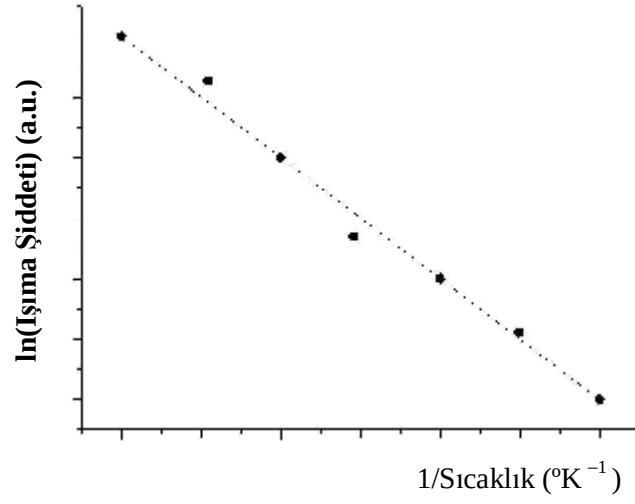
denklemindeki ilk exponansiyel terim artarken ikinci exponansiyel terim bire eşittir. Sıcaklık arttıkça ($T > T_c$) ikinci terim azalmaya başlar. Bundan dolayı birinci ve genel derece kinetik denklemleri

$$I(T) = A \exp(-\frac{E_a}{kT}) \quad (2.40)$$

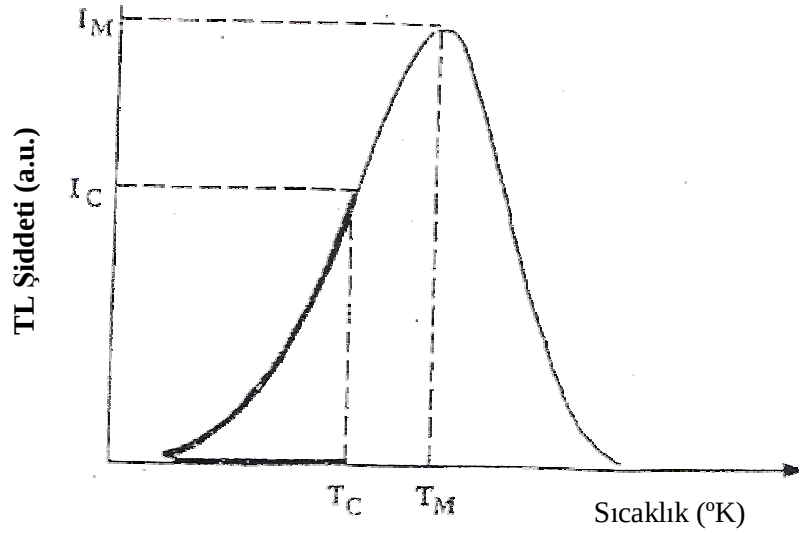
şeklinde basitleştirilir. Burada A bir sabittir ve TL şiddeti kinetik dereceden bağımsızdır. $\ln(I)$ 'nin $\frac{1}{T}$ 'ye göre grafiği, eğimi, $-\frac{E_a}{kT}$ olan bir doğruyu verir (Şekil 2.20). Eğimden aktivasyon enerjisi (E_a) kolayca hesaplanır. Bu yöntem yalnızca tepe maksimumu (I_m)'nin ancak %10'una kadar olan başlangıç bölgesine uygulanır. Tepenin başlangıcında şiddet çok düşük veya ışıma eğrisi birden fazla ışıma tepesinden oluşuyorsa, elde edilen aktivasyon enerjileri asıl değerlerini yansıtmaz. Bundan dolayı E_a değerlerindeki hataları azaltmak için yüksek sıcaklık tepeleri kullanılır (Yazıcı ve ark., 2002).

Eğer TL ışıma eğrisi iki veya daha fazla üst üste binen tepeden oluşuyorsa bu yöntem kullanılmaz. Buna benzer durumlara da başlangıçtaki artış yöntemini uygulayabilmek için ısısal temizleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde örnek, ilk tepenin maksimumundan daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılır. Örnek bir sonraki

tepenin sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılır. Yöntem tüm tepelere uygulanır.



Şekil 2.20. Başlangıç artış grafiği.



Şekil 2.21. Işıma tepesinin başlangıçtaki yükselen kısmı.

2.6.2.4. İzotermal Bozunum Yöntemi

İzotermal bozunum yöntemi TL'ye dayanan bir yöntem olmamasına rağmen yine de aktivasyon enerjisini (E_a) ve frekans faktörünü hesaplamak için kullanışlı bir yöntemdir. Bu yöntemde herhangi bir ısıtma döngüsü kullanılmamaktadır. DeneySEL aşamada örnekler ışılandıktan sonra, bir sıcaklığa kadar hızlı bir şekilde ısıtılır ve belli bir süre o sıcaklıkta tutulur. Işık çıkışı (fosforesans bozunumu) ölçülür ve bu yöntemle tuzaklanan elektronların azalma oranını belirlemek mümkündür.

Genel olarak izotermal bozunum yöntemi, aşağıdaki denklemin, birinci derece kinetik için T'nin sabit olduğu durumda çözülmesi yoluyla kullanılır.

$$I(T) = -c \frac{dn}{dt} = c \frac{n_0}{t} \exp\left(-\frac{t}{t}\right) \quad (2.41)$$

burada n_0 , n'nin ilk değeri ve $t = s^{-1} \exp\left(\frac{E}{kT}\right)$ 'dir (McKeever, 1985).

Yukarıdaki denklemden yararlanılarak çizilen $\ln(I)$ 'ya karşılık T grafiği, eğimi $m = s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$ olan bir doğrudur. E ve s değerlerini hesaplamak için iki farklı sabit T_1 ve T_2 değerlerinde yapılan ölçüm sonucu bulunan m_1 ve m_2 gibi iki eğimden yararlanılarak aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$E = \frac{k}{\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} \ln\left(\frac{m_1}{m_2}\right) \quad (2.42)$$

Bu denklem, sadece birinci dereceden kinetik için kullanışlı olup diğer kinetikler için uygun değildir. Diğer kinetiklerde bu denklemi kullanabilmek için 1979 yılında Kathuria ve Sunta tarafından bir yöntem geliştirilmiştir (Kathuria ve Sunta, 1979).

Bu yöntemle göre, sabit sıcaklıkta tutulan bir örneğin bozunum şiddeti için $I^{\left(\frac{1}{b}-1\right)}$ 'e

karşılık T grafiği bir doğru verir. Bu grafikten yararlanılarak diğer mertebedeki kinetikler için hesaplamalar yapılabilir. Burada b değeri keyfidir.

2.6.2.5. Bilgisayarla Işıma Eğrisi Ayırıştırma Yöntemi (Computerised Glow-Curve Deconvolution, CGCD)

CGCD, TL ışıma eğrilerinden tuzak parametrelerini belirlemenin en önemli yöntemlerinden birisidir. Işıma eğrisini analiz etmek için bir Bilgisayarla Işıma Eğrisi Ayırıştırma (CGCD-Computerised Glow-Curve Deconvolution) programı kullanılır. Program Hollanda'daki Delft Reaktör Enstitüsü'nde geliştirilmiştir (Bos, 1993). Bu program ışıma eğrisini aynı anda en az dokuz tepeye ayırma kapasitesine sahiptir. Bu bilgisayar programında iki farklı model kullanılmıştır. İlk modelde ışıma eğrisi birinci derece kinetiğinden elde edilir.

İkinci modelde, ışıma eğrisi genel mertebe kinetiğinden elde edilir. Tüm tepelerin ve fonun (background) katkısının toplamı aşağıdaki formülü verilen ışıma eğrisini oluşturur.

$$I(T) = \sum_{i=1}^n I_i(T) + a + b \exp(T) \quad (2.43)$$

$I(T)$ uyarlanmış toplam ışıma eğrisidir. Burada a, diskin ve dozimetrelerin gürültü katkısıdır.

2.7. X-Işını Toz Kırınım (XRD) ve X-Işını Floresans (XRF) Yöntemleri

2.7.1. X-Işını Toz Kırınım (XRD) Yöntemi

Mineraller gibi amorf olmayan materyallerin üç boyutlu yapısı, bir kristal örgüdeki atomların tekrarlanan düzenli düzlemleriyle tanımlanır. Odaklanmış bir x-

ışını demeti, atomların bu düzlemleriyle etkileşime girdiğinde, ışık demetinin bir kısmı yayılır, bir kısmı atom tarafından soğurulur, bir kısmı saçılır ve diğer bir kısmı da kırılır. Bir kristalleşmiş katı tarafından bir x-ışını demetinin kırınımı, bildiğimiz gökkuşağı oluşumundaki su damlacıklarının ışığı kırmasına benzer. X-ışını, her bir mineralden, mineralin kristal yapısına ve atomların nasıl dizildiğine bağlı olarak, farklı şekilde kırılır. İncelemede kullanılan x-ışınları vakum altında bir tüp içerisinde üretilir.

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

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

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

eşitliği ile ifade edilir. Burada,

n : kırılmış demetlerin derecesi (n , tek sayı)

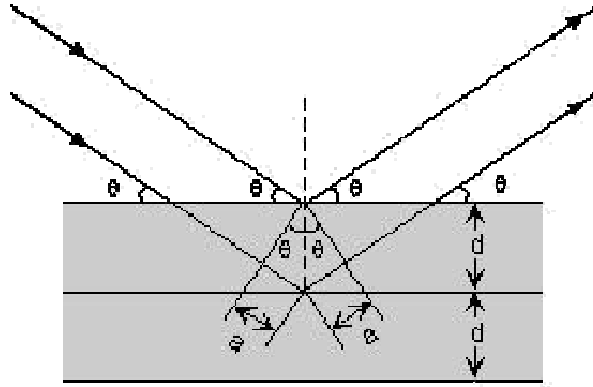
λ : gelen x-ışını demetinin dalga boyu

d : atomların komşu düzlemleri arasındaki mesafe

θ : x-ışını demetinin gelme açısıdır.

Denklemden, λ 'yı bildiğimiz ve θ 'yı ölçebildiğimiz için d mesafelerini hesaplayabiliriz. d mesafelerinin karakteristiği, örnekteki mevcut mineral veya mineraller hakkında bir ipucu sağlar. Standart referanslar ve ölçüm sonuçları

karşılaştırılıp yorumlama yapıldığında, bu ipuçları materyalin tanınmasında yol gösterici olur.



Şekil 2.22. Bir katıdaki atomların iki düzleminden x-ışınlarının yansıması.

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

2.7.2. X-Işını Floresans (XRF) Yöntemi

Bir x-ışını tüpünden veya bir radyoaktif kaynaktan uyarıcı birincil bir x-ışını, bir örneğe çarptığında, x-ışını atom tarafından soğurulur ya da numune içerisinde saçılır. Bu olayda x-ışını enerjisi, elektronu çekirdeğin elektrik alanından koparmak için harcanır. Yüksek enerjiye sahip olan elektron, atomdan uzaklaşarak madde içinde iyonizasyona neden olur. Bu elektrona "fotoelektron", olaya ise "fotoelektrik

olay" adı verilir. Bu olay süresince, eğer birincil x-ışını yeterli enerjiye sahip olursa, elektronlar içteki kabuklardan dışarı atılır ve böylece iç kabukta boşluklar meydana gelir. Bu boşluklar atom için kararsız durumlardır. Atom kendi kararlı durumuna dönerken, en dıştaki kabuktaki elektronlar içteki kabuklara geçişler yaparlar. Bu olayda meydana gelen x-ışınları yayılımı, "X-Işını Floresans" veya kısaca XRF olarak adlandırılır. Yayılan x-ışını analizi ve tayini işlemine de "X-Işını Floresans Yöntemi" denir.

XRF yöntemi, materyallerin elementsel bileşimlerini ölçmek için kullanılır. Bu yöntem, uygulamalar için güvenilir ve hızlı, ayrıca örnekler zarar vermeyen bir yöntemdir. XRF, elementlerin ppm seviyesi altındaki limitlerinin tayininde de kolaylık sağlar.

XRF analizi yapılacak örnekler ilk olarak 80°C'de 24 saat fırında bekletilir. Daha sonra örneklerden küçük parçalar kırılarak, öğütme aleti ile homojen bir biçimde dağıtılır. Bu toz tanecikler XRF analizi için tablet haline getirilir. Tablet aşamasında toz halindeki örnekten 0.7 gr tartılır. Bu miktar, 0.35 gr LiF (Lityum Florür) ve 6.65 gr LiBO₂ (Lityum Borat) ile karıştırılır. Daha sonra bu karışım tablet haline getirilir ve XRF cihazında analiz yapılır.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3.1. Termolüminesansla (TL) İlgili Önceki Çalışmalar

Engin (1996), "Doğal Kalsit Minerallerinin Termolüminesans ve ESR Yöntemleriyle İncelenmesi ve Tarihlendirilmesi" başlıklı doktora tezinde, Denizli ve Çankırı bölgelerinden alınan kalsit yapısındaki traverten örnekleri, Termolüminesans (TL) ve Elektron Spin Rezonans (ESR) yöntemleriyle incelenmiş ve tarihlendirilmiştir. TL yöntemi kullanılarak Denizli travertenler için bulunan yaş 774.000 ± 66000 yıl, Çankırı travertenler için bulunan yaş ise 103.000 ± 9.000 yıl bulunmuştur. Aynı örneklerin yaşları ESR yöntemiyle de bulunmuştur. Denizli travertenleri için $1.100.000 \pm 110.000$ yıl, Çankırı travertenleri için ise 230.000 ± 22.000 yıl değerleri bulunmuştur. İki yöntem arasındaki çıkan bu farklılık, TL yönteminin doğasına bağlı olarak, tuzaklanmış elektronların lüminesans ışıma verimliliklerinin değişik parametrelere bağlı olarak azalmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanmıştır.

Kırıkkaya (2002) "Kocaeli (Kullar-Yaylacık) Fayından Alınan Kuvars Örneklerinin Optik Uyarılmalı Lüminesans (OSL) ve Termolüminesans (TL) Yöntemleri İle İncelenmesi ve Tarihlendirilmesi" başlıklı doktora tezinde, Kocaeli depreminin oluşturduğu yüzey fayının Kullar-Yaylacık bölgesinde açılan bir hendekten alınan sediman örneklerinde, Optik Uyarılmalı Lüminesans (OSL) ve Termolüminesans (TL) yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak yaş tayinlerini yapmıştır. Örneklerdeki ^{238}U , ^{232}Th miktarlarını "Alfa Cihazı" ile ^{40}K miktarını Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi ile belirlemiş ve böylece bunlardan gelen alfa ve beta katkılarının etkisini hesaplamıştır. Gama ve kozmik ışınlardan gelen katkıyı ise $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetrelerini kullanarak bulmuştur. Örneklerin tanecik büyüklükleri arttıkça ısı ya da ışıl işlemlerden etkilenmeleri azalacağından tarihleme işlemleri için orta büyüklükteki taneleri (60-90 μm) kullanmıştır. OSL ölçümlerini, 325°C'deki tepe noktasını veren tuzakların boşalması ile elde edilen lüminesans sinyalinin katkısını engellemek amacı ile 220°C'de 5 dakika ön ısıtma işlemini yaptıktan sonra

elde etmiştir. OSL büyüme eğrilerini oluştururken, doz ekleme (MAAD-Multiple Aliquot Additive Dose) ve yenileme (SAR-Single Aliquot Regeneration) gibi iki farklı yöntem uygulamıştır. Örneklerin yaşları MAAD yöntemi ile 11311 ± 843 yıl, 9263 ± 691 yıl ve 8218 ± 613 yıl, SAR yöntemi ile 11546 ± 861 yıl, 9441 ± 704 yıl ve 8345 ± 622 yıl olarak hesaplamıştır. Örneklerin TL yöntemi ile tarihlendirilmesinde tipik tarihleme sinyali olan 325°C tepe noktasının dozla artışı ile elde edilen büyüme eğrilerinden eşdeğer doz değerlerini bulmuştur. Örneklerin küçük doz değerlerine karşı oluşturulan büyüme eğrileri sapmalar gösterdiğinden eşdeğer dozu bulurken bu sapmadan kaynaklanan düzeltme faktörünü bularak buna eklemiş ve böylelikle paleodoz değerlerini hesaplamıştır. Örneklerin TL yöntemi ile yaşlarını, 11115 ± 829 yıl, 9213 ± 687 yıl ve 7997 ± 596 yıl olarak hesaplamıştır. Örneklerin TL ve OSL yaşlarını karşılaştırmış ve bulunan değerlerin her iki yöntemin hata sınırları içinde yer aldığını belirtmiştir.

Kafadar (2004) "Sentetik Kuvars Kristalinin Dozimetrik ve Termoluminesans Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinde $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ (TLD-900) ve sentetik kuvars kristalinin dozimetrik ve termoluminesans özelliklerini araştırmıştır. Bu çalışmada asitle yıkanmış sentetik kuvars kristalinin 0.02 Gy ile 2.5 kGy arasında beta ışını ile ışınladıktan sonra, termal ışıma eğrileri ve bu eğrileri oluşturan ışıma tepciklerinin kinetik parametreleri (kinetik derecesi b, aktivasyon enerjisi E_a ve frekans faktörü s), doz ekleme (AD-Additive Dose), tekrarlanan ilk yükselme (RIR-Initial Rise), değişken ısıtma sıcaklığı oranı (VHR-Variou Heating Rates) ve bilgisayar ile ışıma eğrisi ayrışımı (CGCD-Computerised Glow-Curve Deconvolution) yöntemlerini kullanarak bulunmuştur. AD ve CGCD yöntemleriyle bu materyalin iç içe geçmiş en az yedi adet birinci dereceden ışıma tepciğinden oluştuğunu göstermiştir ve bu sıcaklıklar oda sıcaklığı ile 500°C arasında P1-P7 olarak belirtilmiştir. Kinetik parametre sonuçlarının uygulanan yöntemlere göre değişiklikler gösterdiği gözlenmiştir. Radyasyon dozimetresinde ve arkeolojik yaş tayinlerinde oldukça kullanışlı olan doz tepkisi eğrisi ve zaman ile sönüm işlemi bu materyalin her bir tepesi için ayrı ayrı incelenmiştir. Bütün tepciklerin doz tepkisinin aynı modelde olduğu, öncelikle uygulanan doz miktarı ile çizgisel olarak arttığı ve ardından farklı dozlarda doyuma ulaştığı gözlenmiştir. Birinci ve ikinci

ışırma tepeciklerinin karanlık bir ortamda bir ay bekletildikten sonra tamamen söndüğü gözlenmiştir (Fading). Dördüncü, beşinci, altıncı ve yedinci ışıma tepeciklerinin bu süreçten etkilenmediği fakat üçüncü tepeciğın şiddetinin orijinal değeriinin %27'sine düştüğü görülmüştür. Bu çalışmada aynı zamanda $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ 'un ışıma eğrileri doz ekleme (AD) metodu kullanılarak çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonrasında $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ 'un iç içe geçmiş birinci dereceden 6 tane ışıma tepeciğine sahip olduğu gözlenmiştir.

Topaksu, Yeğingil, Arık ve Sakarya (2005), "Kubad Abad'a (Konya) ait Selçuklu Seramik ve Çinilerinin Termolüminesans (TL) Tarihlendirilmesi, Yapısının Belirlenmesi ve Teknolojisinin Açıklanması" adlı bildirilerinde; Beyşehir (Konya) gölünün güneybatı kıyısında yer alan Selçuklu sarayı olan Kubad Abad'tan toplanan eski çini ve seramiklere termolüminesans (TL) tarihlendirme yöntemini uygulamışlardır. Örneklerden ayrılan kuvars kristallerinin 225°C ile 280°C arasındaki TL tepe noktası toplam dozun hesaplanması için kullanılmıştır. Yıllık gama doz oranı kazı alanına yerleştirilen TLD (Termolüminesans dozimetresi) dedektörü ($\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$) kullanılarak belirlenmiştir. TL tarihlendirme sonuçları 619 yıl ile 2417 yıl arasında değişen değerler vermiştir. TL sonuçları tartışılarak arkeolojik olarak beklenen yaşlar ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca Kubad Abad seramik ve çinilerinin analizleri XRF ve EDX yöntemleriyle yapılmıştır. Tanecik boyutu ve görünür içerikler polarize mikroskop kullanılarak, ince kesit yöntemiyle belirlenmiştir. Fırınlama sıcaklığını ve seramik çamurunun yapısında bulunan mineralleri belirlemek için X-ışını toz kırınım yöntemi çalışılmıştır. Çamur bünyenin kimyasal bileşimi ve iz elementleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını Flöresans (XRF) yöntemiyle belirlenmiştir. Sırlar, SEM'e bağılı bir enerji saçınımı X-ışını spektrometresi (EDX) ile analiz edilmiştir.

Alçıçek, Kazancı, Şen, Kappelman ve Özkul (2006), 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı'nda bildirdiklerine göre; güneybatı Türkiye'de, Denizli travertenleri içinde bulunan ilk insan fosili ve yataklık eden travertenler termolüminesans (TL) yöntemi ile tarihlendirilmiştir. Tarihlendirme sonucunda; ön ve yan kemiklerin iyi korunduğu ergin bir bireye ait olduğu tespit edilen kafatası parçasının Homo erectus taxonu ile

benzerlikler taşıdığı ve 0,49 m 0,05 ile 0,33 m 0,04 milyon yıl arasında bir yaşa sahip olduğu belirlenmiştir.

3.2. Fluoritin Termolüminesansı İlgili Önceki Çalışmalar

3.2.1. Doğal Fluoritlerin Termolüminesansı İlgili Önceki Çalışmalar

El-Kolaly, Ganguly ve Sunta (1981), doğal ve Seryum (Ce), Gadolinyum (Gd), Terbiyum (Tb), Disprosyum (Dy) katkılı CaF_2 kristallerinin oda sıcaklığından 650°C'ta kadar termolüminesansı ile ışıma tepelerini gözlemişlerdir. Mevcut örneklerin çeşitli ışıma tepelerinde, lüminesans hızında ısının etkisini belirlemek için çalışmışlar ve bu amaç için değişik sıcaklıklarda X ışını ile uyarılmış lüminesans (XEL) şiddetlerini kaydetmişlerdir. Elde edilen bulgulara göre 320°C ile 500°C arasındaki sıcaklıklarda XEL şiddetinde sürekli bir düşüş gözlenmiştir. Yayınımında ısının etkisinin, farklı yabancı iyonlar için aynı olmadığı gözlenmiştir. 200-500 nm dalga boyları arasında Ce, Gd, Tb ve Dy katkılı CaF_2 kristallerinde TL ve XEL tayf spektrumlarında temel yayılım gözlenmiştir. Gd yayılımı, oda sıcaklığından istenilen sıcaklığa doğru keskince düşmüştür. Dy yayılımı yaklaşık 200°C'ta kadar yükselmiş sonra düşmüştür. Ce ve Tb yayılımı, oda sıcaklığından 100°C'ta kadar bir azalma gösterip sonra 100°C'den 320°C'ye kadar bir yükseliş ve ondan sonra sürekli bir düşüş göstermiştir.

Hasan (1985), 50 Mrad değerine kadar CaF_2 'nin davranışını çalışmış ve çalışmasında 50°C ve 520°C arasındaki sıcaklıklarda tek tepelerin ve toplam TL'nin doz oranına karşılığına bakmıştır. Dozun yeterli düşük değerleri için yanıtın lineer, yüksek değerleri için supralineer olduğunu ve çok daha yüksek doz değerlerinde benzer biçimli ışıma eğrisi ile sabit bir düzeye yaklaştığını gözlemlemiştir. Fosfor ile alınan dozun etkileri sonradan okuma ve tavlama ile aydınlatılmıştır.

Romero (1995), "Kalsiyum Fluorit" adlı çalışmasında doğal kalsiyum fluoritin fiziksel ve optiksel özellikleri ile beraber termolüminesans özelliklerini araştırmıştır. Araştırmasında kalsiyum fluoritin örgü parametrelerini, elektronik

enerji-band biçimlerini ve renk merkezlerini göz önünde bulundurarak termolüminesans özelliklerini incelemiştir. Farklı bölgelerden alınan fluorit kristallerinin TL ışıma tepelerinin birbirleriyle karşılaştırmasına yer vererek bazı açıklamalar getirmiştir. Doğal fluorit kristalinin, yüksek gama ışınlamasına tabi tutulmasından sonra duyarlılığının arttığını tespit etmiş ve bu artışın sıcaklığa ve tavlama süresine bağlı olduğunu belirtmiştir.

Balogun, Ojo, Ogundare, Fasasi ve Hussain (1999), Nijerya'nın Orta Benue Valley bölgesinden alınan doğal olarak oluşmuş fluoritin TL özelliklerini ayrıntılı olarak çalışmışlardır. 10°C/s ısıtma hızında 119°C, 144°C ve 224°C'de TL ışıma tepelerini gözlemişler ve yüksek doz aralığını incelemişlerdir. Bekledikleri gibi artan dozla yükselen TL karşılığını gözlemişlerdir. Doğal fluoriti oda sıcaklığında saklamışlar ve değişik ışıma tepelerindeki değişimleri incelemişlerdir. Düşük sıcaklık tepelerinde düşüş meydana gelirken, dört hafta saklandığında 224°C ışıma tepesi için TL sinyalinin arttığı gözlenmiştir. Gözlenen TL karşılığına, güneş ışığının katkısını engellemek için fluorit kristalini siyah sızdırmaz bir kapta saklamışlar ve UV ışıkla temasını önlemişlerdir. Saklama süresince, küçük karmaşık kusurlardan büyük kusurların oluşumu ile ilgili öneri sunmuşlardır. Ayrıca düşük sıcaklık tepelerinde sinyalin kaybına ve daha yüksek sıcaklıklarda gözlenen TL sinyalinde uygun bir artışa yol açabilecek olan bir yöntem önermişlerdir.

Duran (2002), "Orta Anadolu Fluoritlerinin Termolüminesans Özellikleri" adlı yüksek lisans tezinde, Orta Anadolu Pöhrenk, Akçakent, Bayındır, Alişar, Durmuşlu, Eşrefli ve İсахocalı doğal fluoritlerinin (CaF_2) granitik masiflerinde görülen damar tipli fluorit yataklarından alınan örneklerin termolüminesans özelliklerini çalışmıştır. Yapılan deneylerde 4°C/s ısıtma hızı kullanılarak TL eğrilerinde 100°C, 180°C, 280°C'de doruk noktaları elde edilmiştir. Radyasyon doz miktarını arttırdıkça TL doruk noktalarının arttığı görülmüştür. Örnekler dört hafta bekletilip TL sinyalleri gözlenmiş, düşük sıcaklıktaki doruk noktalarında düşme, yüksek sıcaklıktaki doruk noktasında artma gözlenmiştir.

Ogundare, Balogun ve Hussain (2003), Nijerya'nın bir bölgesine ait bir doğal fluorit örneğinin, iki yüksek sıcaklıktaki ışıma tepelerinin kinetik parametrelerini Chen'in tepe şekli (Peak Shape, PS) ve başlangıçtaki artış (Initial Rise, IR)

yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir. Bu parametrelerin değerlerini, karşılaştırılabilinen iki yöntemle hesaplamışlardır. İki tepe noktasının kinetik derecelerini ya birinci ya da ikinci yöntemden farklı olarak bulmuşlardır. b değerlerini Tepe 3 için, 1.023 ile 1.134 ve Tepe 4 için 1.156 ile 1.223 arasında değişen değerlerde elde etmişlerdir. E_a değerlerini Tepe 3 için, 0.777 eV ile 1.068 eV ve 1.328 eV ile 1.428 eV arasında değişen değerlerde elde etmişlerdir. Kinetik parametrelerin bulunan değerlerini doğal fluoritin eski çalışmalarından elde edilen değerlerle karşılaştırmışlar ve gözlenen değişimleri tartışmışlardır. Ayrıca bir dozimetrik parametre olarak, elektron tuzaklarının her birinde, elektronların kalma sürelerini belirlemişlerdir. Tepe 3 için belirlenen kalma süresinin değerini, rapor edilen saklama zamanıyla bu tepenin TL artışı ile olan ilişkisini gözlemişler ve bu tepenin karmaşık bir tepe olabileceğini belirtmişlerdir. Genel dereceden model varsayılan yarı denge (QE) durumunu kullandığı için iki tepe yarı denge (QE) durumu için test edilmiştir. Yarı denge (QE) şartları altında, Tepe 3'ün sadece bu çalışmada kullandıkları 7°C/s ve 10°C/s ısıtma hızlarından yalnızca en küçük ısıtma hızında ortaya çıkarken, yarı denge (QE) durumu altında kullanılan tüm ısıtma hızlarında Tepe 4'ün ortaya çıktığını gözlemişlerdir.

Ogundare, Balogun ve Hussain (2005), "Isıtma Hızının Fluoritin Termoluminesansı (TL) Üzerindeki Etkileri" başlıklı bildirilerinde, farklı ısıtma hızlarının, bir Nijerya fluorit örneğinin, iki yüksek sıcaklık ısıtma tepesinin TL ısıtma tepesi sıcaklığına, yüksekliğine ve integre edilmiş TL yoğunluklarına etkisini araştırmışlardır. Elde edilen veriler, ısıtma tepesi sıcaklıklarının ısıtma hızıyla yükseldiğini göstermiştir. ısıtma tepesi yüksekliği, incelenen ısıtma hızı aralığında, Tepe 3 için 10°C/s ve 20°C/s 'de ve Tepe 4 için 10°C/s ve 25°C/s 'de iki maksimum göstermiştir. Isıtma hızıyla bu iki tepenin TL yoğunluklarının davranışı kümelenme ve ısısal söndürme bakımından açıklanmıştır. Sonuçlar, ısısal sönümün Tepe 3 için Tepe 4'ten daha geniş olabileceğini göstermiştir.

Topaksu ve Yazıcı (2007), "Doğal CaF_2 'nin Dozimetrik Termoluminesans ısıtma Tepelerinin Analizi" başlıklı bildirilerinde, Orta Anadolu Masifi'nden alınan doğal CaF_2 'nin TL özelliklerini çalışmışlardır. Bu çalışmada, doğal CaF_2 'nin oda

sıcaklığında (RT, Room Temperature) beta ışınlamasından sonra TL özellikleri araştırılmıştır. Doğal CaF_2 'nin TL özelliklerini araştırmak için doz ekleme (AD), $T_m(E_a)$ -Tstop, Tekrarlanan başlangıçtaki Artış (RIR, Repeat Initial Rise) ve Bilgisayarla Işıma Eğrisi Ayırıştırma (CGCD, Computerised Glow-Curve Deconvolution) yöntemi kullanılmıştır. Örnek, 0.015 Gy ile 2 kGy arasında beta ışınlamasına tutulmuştur. Bu metodlar, doğal CaF_2 'nin TL ışıma tepeleri ile ilgili olan tepelerin sayılarını belirlemek için kullanılmıştır. E_a -Tstop ve CGCD metodları ile bu materyalin ışıma eğrisinin en az 6 ışıma tepesinin üst üste bindiği gösterilmiştir. Değişken doz oranı deneyleri ile doğal CaF_2 'nin ışıma eğrisinin hem birinci derecede hem de genel dereceden ışıma tepelerinin olduğu açığa çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, doğal CaF_2 'nin dozimetrik ışıma tepeleri üzerine ısıtma hızı oranlarının etkisi de çalışılmıştır. Artan ısıtma hızı oranı ile toplam ışıma tepelerinin alanı ve bütün ışıma tepelerinin şiddetinin sürekli olarak azaldığı gözlenmiştir.

3.2.2. Sentetik Fluoritlerin Termoluminesansıyla İlgili Önceki Çalışmalar

Merz ve Pershan (1967)'de $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ kristalinin 77°C 'in altında oluşan tepeler için E_a ve s değerlerini hesaplamışlardır.

Binder ve Cameron (1969) $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ kristalinin dozimetrik özellikleri ile beraber ışıma eğrisinin 120 , 140 , 200 ve 240°C 'lerde üst üste binen dört düşük sıcaklık tepesi (1-4) ile 340 ve 400°C 'de iki yüksek sıcaklık tepesinden oluştuğunu gözlemişlerdir.

Hsu ve Wang (1986), " $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ (TLD-200)'ün Isıtma Yöntemi" adlı çalışmalarında depolama için farklı yöntemleri kullanarak $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ (TLD-200) dozimetresinin TL karakteristiğini detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Artık TL, hassaslık, ışıma tepelerinin yükseklik oranları incelenmiştir. Deneysel sonuçlardan 20 dakika 450°C 'de ısıtma yönteminin yeterli olduğunu önermişlerdir. Düşük sıcaklık uygulamaları gerekli bulunmamıştır.

Yazıcı, Hacıbrahimoglu ve Bedir'in (2000) "Değişik Deneysel Parametrelerin $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ 'ün Tuzak Parametrelerinin ve Işıma Tepeleri Üzerindeki Etkileri" adlı çalışmalarında $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ kristalinin termoluminesans ışıma eğrisinin 27 ile 277°C arasındaki sıcaklık bölgesi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bilgisayarla ışıma eğrisi uyarlama, tepe şekli ve izotermal bozunum metodlarını kullanarak tepelerin sayısını belirlemişlerdir. Buna ek olarak birinci ve genel derece denklemlerini ve Bilgisayarla Işıma Eğrisi Ayırıştırma (CGCD-Computerised Glow-Curve Deconvolution) yöntemini kullanarak doz oranları, ısıtma oranları ve oda sıcaklığında depolama sürelerinin tuzak parametreleri üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemişler ve bu deneysel parametrelerin $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ 'ün ışıma tepelerinin tuzak parametreleri üzerinde belirgin etkileri olduğunu belirlemişlerdir.

Yazıcı ve Öztürk (2001) $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ 'ün 145°C'de ışınlama sonrası ısıtma işlemiyle ayrılan Tepe 6'nın analizini yapmışlardır. 145°C'de ışınlama sonrası ısıtma işleminin süresinin bir fonksiyonu olarak Bilgisayarla Işıma Eğrisi Ayırıştırma (CGCD-Computerised Glow Curve Deconvolution), Tepe Şekli (PS-Peak Shape) ve izotermal bozunum yöntemlerini kullanarak $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ kristalindeki Tepe 6'nın kinetik parametrelerini hesapladılar. Bu üç farklı yöntemle Tepe 6'nın genel kinetik mertebe olduğunu ve aktivasyon enerjisi (E_a), frekans faktörü (s) ve kinetik derecenin (b) ışınlama sonrası ısıtma işleminin süresinden etkilendiğini gözlemlemişlerdir.

Nambi, Rao ve Chougankar (2002), belirli bir limitin ötesinde paleoalfa doz almış örnekleri tarihlendirmede, TL tekniğinin başarısız olduğu hipotezini araştırmak için safsızlık olarak eklenen uranyumun (U) ağırlık düzeyi ile 1600 ppm içeren laboratuvarında geliştirilmiş 9 yaşındaki CaF_2 'ye TL tarihlendirmesi uygulamışlardır. 1 ppm doğal uranyum (U) katkılanmamışken beklenen kabul edilmiş yaşı verirken, 180 ve 1600 ppm doğal uranyum (U) katkılanmış diğer iki içerik, yaş değerinin altında, değişen yaşlar (1 yıldan daha az) vermiştir. CaF_2 'de uranyum (U) yoğunluğuna bağlı TL karakteristiği ve TL tarihlendirilmesindeki anlamlarını tartışmışlardır.

Pradhan (2002) "Isıtma Oranının $\text{CaF}_2:\text{Dy}$, $\text{CaF}_2:\text{Mn}$, $\text{CaF}_2:\text{Tm}$, $\text{CaF}_2:\text{Cu}$ 'ın Şiddetleri Üzerindeki Etkileri" adlı çalışmasında 270°C civarında $\text{CaF}_2:\text{Dy}$, $\text{CaF}_2:\text{Mn}$, $\text{CaF}_2:\text{Tm}$, $\text{CaF}_2:\text{Cu}$ kristallerinin TL ışıma tepelerinin şiddetlerini çalışmışlardır. $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ haricinde diğer tüm TLD'lerin şiddetlerinde 1°C/s 'den 50°C/s 'ye artan ısıtma oranı ile küçük bir artış gözlenmiştir (%10-15). Işıma eğrisinden elde edilen ışıma eğrilerinin şekli ve konumu ve parametrelerinin yüksek ısıtma oranlarında TL veriminin azalmasıyla hiçbir ilgisinin olmadığı görülmüştür.

4. MATERYAL ve METOD

4.1. Materyal

Bu çalışmaya konu olan fluorit (CaF_2) örneği, Orta Anadolu Masifi'nde yer almaktadır (Şekil 4.1). Orta Anadolu Masifi'ndeki fluorit oluşumlarının değişik ortamlarda gelişmesi bunların nadir toprak elementleri (NTE) içeriklerini de değiştirmektedir. NTE içeriklerinde gözlenen değişim, termolüminesans (TL) ışımalarına da etki etmektedir. Bu çalışmayla Orta Anadolu fluoritlerinin termolüminesans (TL) özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.1. Orta Anadolu Masifi'nden alınan fluorit örneği.

4.1.1. Fluorit (CaF_2) ve Fluorit Yataklarının Jeolojisi

Kalsiyum Fluorit (CaF_2), TL dozimetre olarak, bilinen en eski TL materyallerinden ve ilk kullanılanlardan biridir. Doğal CaF_2 , bir dozimetre gibi yaygın olarak kullanılmasından itibaren, bilinen çok iyi bir TL materyali olup temel avantajı, yüksek TL duyarlılığı göstermesidir. Bir dozimetre olarak CaF_2 'nin doğal

ve sentetik biçimlerinin her ikisi de elde edilebilir ve kullanılabilir (Polymeris ve ark., 2006).

Fluorit, flüospat, flüorspar veya kalsiyum fluorit adıyla tanınan bu mineral çok eski zamanlardan beri bilinmektedir. Eski Romalıların, Orta Doğu'dan getirdikleri ve yarı kıymetli süs taşı saydıkları fluoritten yaptıkları zarif bardak ve vazolar müzeleri süslemektedir. Fluorit kalsiyum ve fluor bileşiği olup, formülü CaF_2 'dür. Kalsiyumun atom ağırlığı 40, florun 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° ve 110° açılarla kesen iki yönde, bazen birbirini 60° - 120° 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 Hidroflorik asit (HF) 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 gnayslarda, 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 (katı, yoğunluğu 1'e yakın koyu kestane renginde bir madde) 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 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 (Baryumsülfattan oluşan bir mineral) 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 kayalar ve bunların değişiminden meydana gelen minerallerde bulunur. Ayrıca galen, blend, pirit mineralleri de bulunur. Fluorit saflık derecesine göre çok değişik alanlarda kullanılır. Fluorit, metalurji, kimya endüstrisi, seramik ve cam endüstrisi, optik endüstrisi ve çimento endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca süs eşyası yapımında da malzeme olarak kullanılan bir mineraldir. Fluorit yatakları pegmatit-pnömatöjen, hidrotermal ve sedimanter olmak üzere üç çeşittir (MTA, 1979).



Şekil 4.2. Orta Anadolu Masifi fluorit örnekleri.

Orta Anadolu Masifi'nden alınan fluorit örneği, TL analizlerine yönelik yapılan bu çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Orta Anadolu Masifi Türkiye'nin

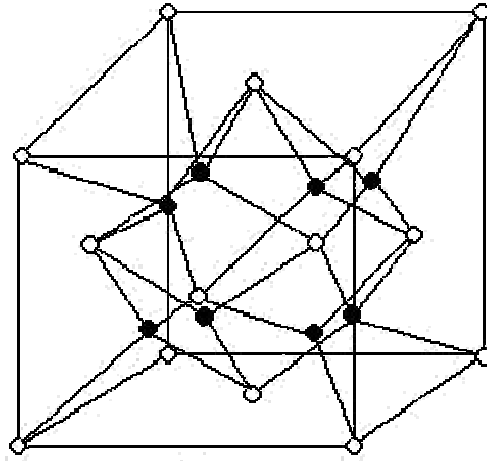
en önemli fluorit yataklarını bünyesinde bulundurur (Şekil 4.2). Masif içerisinde Akçakent ve Kaman bölgelerinde fluorit damarlar şeklinde, tersiyer yaşlı örtü birimlerinde ise karstik dolgular şeklindedir. Karstik karbonatlı yan kayaca sahip Pöhrenk fluoritleri metoellojeni açısından dünyada benzerleri arasında ayrıcalıklı bir yer tutar.

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 Lantan (La), Seryum (Ce), Praseodim (Pr), Neodim (Nd), Prometyum (Pm), Samaryum (Sm), Evropyum (Eu), Gadolinyum (Gd), Terbiyum (Tb), Disprosiyum (Dy), Holmiyum (Ho), Erbiyum (Er), Tulyum (Tm), İtterbiyum (Yb) ve Lutetyum (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).



Şekil 4.3. Fluorit örneğinin alındığı Orta Anadolu Masifi.

Fluorit yatakları, fluorit 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 kayaçların baziklerinde 370 ppm, asidiklerinde 850 ppm, şistlerde 500 ppm, karbonatlarda 330 ppm, flogofit ve kimberlit türü kayaçlarda 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 bulundururlar. Bu arada volkanik gaz çıkışlarının olduğu bölgelerde yer alan kayaçların 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 yükseltiller şeklinde ortaya çıkmaktadırlar. Şekil 4.4'te kalsiyum fluoritin (CaF_2) kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 4.4. Kalsiyum fluoritin kristal yapısı (• Ca, o F).

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).

4.2. Metod

4.2.1. Termolüminesans (TL) Sistemi

4.2.1.1. Tavlama Fırını

TL çalışmalarıyla ilgili tüm ısıtma işlemleri özel olarak tasarlanmış mikroişlemci kontrollü bir FN 501 tip elektrikli fırınla yapıldı. Sıcaklık örnekler çok yakın yerleştirilmiş bir krom-aliminyum ısı çiftiyle ölçülür. Isıtma işlemi sırasında sürekli olarak fırının sıcaklığı dijital olarak okunabilmektedir. Oda sıcaklığı ile 350°C sıcaklık aralığında fırının sıcaklık hassaslığı $\pm 1^\circ\text{C}$ 'dir. Bu fırın 400°C ve 1200°C arasındaki yüksek sıcaklık ısıtma işlemlerinde kullanılır ve sıcaklık hassaslığı $\pm 10^\circ\text{C}$ 'dir. Her ısıtma işleminden sonra örnek soğuk bir camın üzerine koyulur ve örnek oda sıcaklığına kadar soğutulur.



Şekil 4.5. Tavlama fırını.

4.2.1.2. Radyasyon Aleti

Tüm ışınlama işlemleri ^{90}Sr - ^{90}Y (Stronsiyum 90/İtriyum 90) *b* kaynağından yapıldı. Üretici tarafından 10 Mart 1994 tarihinde verilen değerlere göre *b* kaynağının aktivitesi 100 mCi civarındadır. Stronsiyum-90 kardeş ürünlerinden daha yüksek enerjili beta parçacıkları yayar. Beta parçacıkları havada soğurulur. Bundan dolayı yoğunluğu uzaklıkla ters kare yasasından daha hızlı azalır. 9010 optik tarihlendirme sistemine yerleştirilmiş bir 100 mCi Sr-90 *b* kaynağının dozu aliminyum üzerindeki ince tanecikler için $2.64 \text{ Gy/dakika} = 0.0438 \text{ Gy/saniye}$ veya paslanmaz çelik üzerine yerleştirilmiş 100 mm kalınlıklı kuvars için $3.3 \text{ Gy/dakika} = 0.055 \text{ Gy/saniye}$ 'dir. Işınlama aleti bir RS-232 seri kapısı ile bir PC'nin arabirimi olan 9010 optik tarihlendirme sistemine bağlı bir ek parçadır.



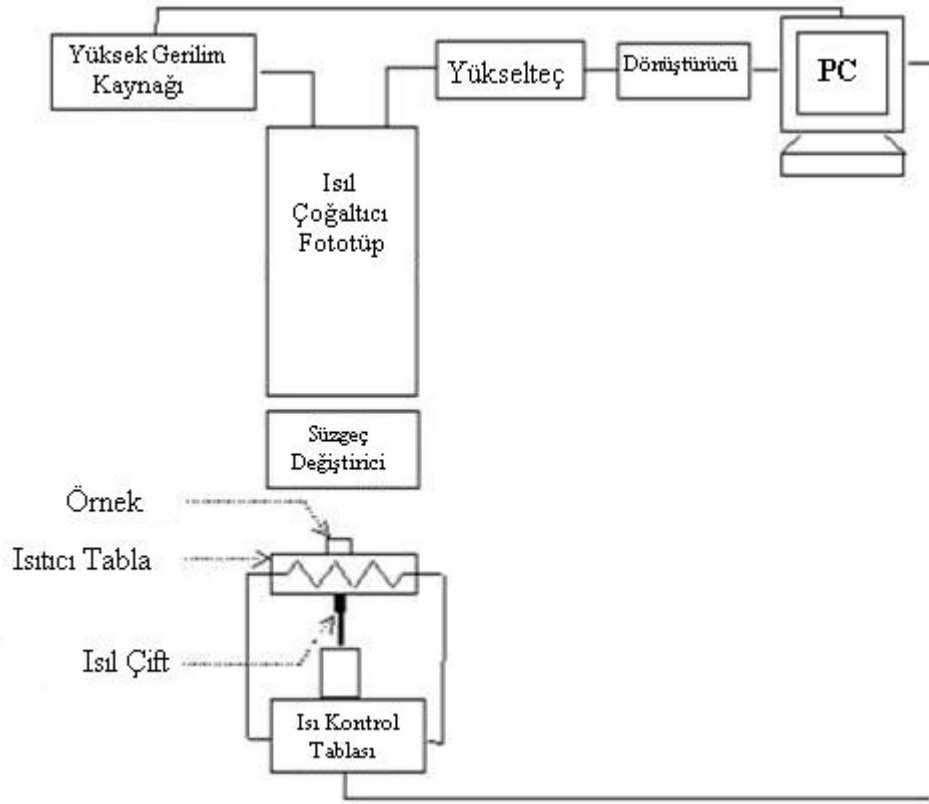
Şekil 4.6. Radyasyon aleti.

4.2.1.3. TL Okuyucusu

Çalışmalar sırasında, Harshaw TLD Sistem 3500 Manual TL okuyucu ölçüm sistemi kullanıldı. Işıma eğrisi ölçümleri Harshaw TLD sistem 3500 Manual TL okuyucusudur (Şekil 4.7). Teknik sistem okuyucu ve okuyucuyu kontrol etmek için okuyucuya RS-232 seri kablosu ile bağlı olan DOS tabanlı bir IBM bilgisayardan oluşmaktadır. Okuyucunun temel diyagramı Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Tüm fonksiyonlar okuyucu ve PC’de kullanılan TLD Shell yazılımlarına bölünmüştür. Tüm verilerin depolanması, alet kontrolü ve operatör girişleri (inputs) PC’de yapılmaktadır. Sinyal okumaları okuyucuda yapılmaktadır.



Şekil 4.7. Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemi.



Şekil 4.8. Bir TL okuyucusunun temel diyagramı.

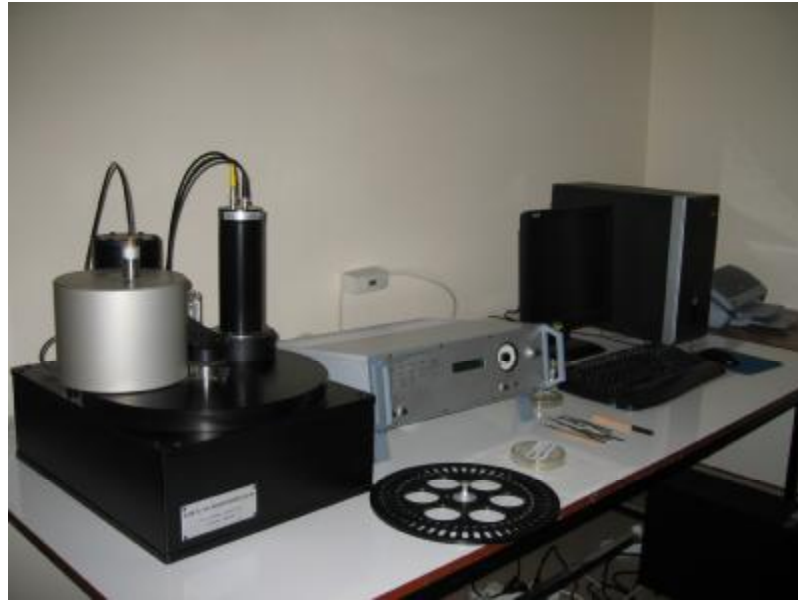
Kullanılan cihaz, içine çalışılan örneklerin yerleştirilip okumanın yapıldığı ve sonra çıkarıldığı bir göze sahiptir. TL okuyucusu kapalı geri besleme döngü sistemiyle birlikte örneğin cihaza temas ettiği noktada ısıtma sağlamaktadır. Bu sistem saniyede 1°C 'den başlamak üzere saniyede 50°C 'ye kadar ısıtma oranıyla çalışabilmektedir. Cihazın sıcaklık profili (TTP) üç kısımda tanımlanır: ön-ısıtma, ısıtma, okuma sonrası ısıtma (background). Bunların her birisi birbirinden bağımsız zamanlarda ve sıcaklıklarda yapılmaktadır. Okuma öncesi ısıtma oranını belirlemek amacıyla sistem ısıtma süresi 0 sn ile 1000 sn'ye kadar değişen aralık içerisinde seçilen ısıtma oranına uygun olan bir zamana ayarlanır. Ön-ısıtma sıcaklığı için oda sıcaklığından 200°C 'ye kadar değişen sıcaklık aralığından birine karar verilir. Okuma sonrası ısıtma (background okuması) 400°C 'ye kadar ayarlanabilmektedir.

Düşük doz oranlarında yapılan okumaların güvenilirliğini arttırmak ve diskin

ömrünü uzatmak için okuyucu diskin etrafında azot gazı akışı sağlar. Bu akış, disk alanındaki oksijeni yok eder. Böylece oksijenle indüklenmiş TL sinyalini yok etmiş olur. Azot ayrıca fotokatlandırıcı tüpün kapalı bölümleri arasında da dolaşmaktadır. Böylece yoğunlaşmanın neden olduğu nemi yok eder ve sahte lüminesansın önüne geçer.

4.2.2. Riso TL/OSL Lüminesans Okuyucusu: Model TL/OSL-DA-20

Birleştirilmiş TL/OSL okuyucusu Riso Ulusal Laboratuvarlarında (Model Riso TL/OSL-DA-20) tasarlanmış ve üretilmiş olup yeni jenerasyon lüminesans okuyucusudur ve uzun süren araştırma ve geliştirme çalışmalarının sonucudur (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Riso TL/OSL-DA-20 Model TL/OSL okuyucu sistemi.

Riso TL/OSL otomatik ölçüm sistemi hem TL hem de OSL ölçümlerini yapabilmektedir. Sistem 48 örneğin (Şekil 4.10), 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 pulsed OSL (POSL) modunda değişik ışık kaynakları kullanarak optiksel uyarılma sağlamakta,
- 3) radyoaktif beta (β) ve alfa (α) kaynakları ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ve ^{241}Am) veya mini x-ışını jeneratörleri vasıtasıyla örneklerin her birinin bağımsız olarak radyasyona tutulmasını sağlamaktadır.

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



Şekil 4.10. Örnek tablası.

4.2.2.1. Radyasyona Tutma

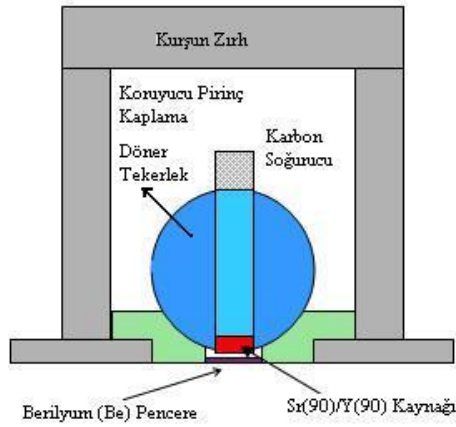
Örneğin radyasyonu β kaynağı tarafından sağlanmaktadır. Radyasyon, tek bir radyasyona izin veren (minimum radyasyon zamanı 1 sn olacak şekilde) bir yazılım tarafından kontrol edilmektedir. Okuma sırasında örnek üzerine yapılan tüm işlemler bir dijital kontrol paneli tarafından kontrol edilebilmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Kontrol paneli.

4.2.2.2. Beta (β) Radyasyonu

Bir sökülebilir beta (β) yayıcısı, bir örnek döner düzeni üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 4.12). Radyasyon tutucusu normal olarak 1.48 GBq (40 mCi) $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β kaynağı bulundurur; bu kaynak maksimum 2.7 MeV'lik β parçacıkları yaymaktadır. Örneğin konumunda, kuvarstaki doz oranı 0.1 Gy/sn'dir. Kaynak dönen bir paslanmaz çelik tekerlek içerisine monte edilmiştir ve bu tekerlek basınçlı havayla kontrol edilmektedir. Kaynakla örnek arasındaki mesafe 5 mm'dir. 0.125 mm'lik bir Berilyum (Be) pencere radyasyona tutucu ile ölçen odacık arasına yerleştirilmiştir ve vakum ara yüzeyi olarak işlev görmektedir.



Şekil 4.12. $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ kaynağının şematik görünümü.

4.2.2.3. Işık Algılama Sistemi

Riso TL/OSL lüminesans okuyucusunda kullanılan standart fotokatlandırıcı tüp (PMT) bir bialkali EMI 9235QA'dır. Bu tüpün maksimum algılama verimi 300-400 nm arasında değişen genişletilmiş UV yanıtı (response) vardır. PMT katodu ile örnek arasındaki 55 mm olup 0.4 steradian'lık saçılmış uyarılmış ışığın oluşmasını engellemek için algılanan (deteksiyon) filtreleri kullanılır. Standart Riso okuyucu 7.5 mm Hoya U-340 deteksiyon filtreleriyle donatılmıştır; bu filtrelerin tepe geçişi 340 nm civarındadır (FWHM=80 nm).

4.2.2.4. Isısal Uyarılma Sistemi

Isısal uyarılma tam olarak PMT tüpünün altına yerleştirilmiş bir ısıtılan elemanın kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Bu ısıtılan elemanın iki fonksiyonu vardır. 1) Örneği ısıtır ve 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°C'den 20°C/s'ye kadar değişen lineer ısıtma oranlarında, 700°C'ye kadar ısıtma gücüne sahiptir. Isıtma bandı azot akışıyla soğutulur. Bu akış aynı zamanda ısıtma sistemini yüksek sıcaklıklardaki oksidasyondan korur.

4.2.3. X-Işınları Toz Difraktometresi (XRD) Ölçüm Sistemi

Çalışmalar sırasında, Bruker AXS D8 Advance model XRD ölçüm sistemi kullanıldı.

4.2.3.1. X-Işını Jeneratörü, X-Işını Tüpü ve Monokromatör

Bruker AXS D8 Advance model XRD ölçüm sisteminde, yüksek gerilim jeneratörü 20kV-60kV ve 6mA-80mA aralığında full otomatik ve bilgisayar kontrollü olarak çalışma kapasitesine sahiptir. Yüksek gerilim ve x-ışınları tüpü su soğutmalı olup, sıcaklık yükselmelerine ve su basıncı düşmelerine karşı otomatik korumalıdır. Bruker AXS D8 Advance model XRD ölçüm sistemi x-ışını kaçaklarına karşı korumalı olan, özel kabin içerisinde yer almaktadır. Sistem kesintisiz ve regüleli otomatik kesintisiz güç kaynağı ile beslenmekte olup, elektrik kesilmesi durumunda cihazın en az 2 saat süreyle çalışmasını sağlamaktadır. Sistem seramik x-ışınları tüpüyle donatılmış olup, değişik dalga boylarında x-ışını üretimi için Bakır (Cu), Molibden (Mo) veya Krom (Cr) seramik tüpler kullanılmaktadır. Sistem de monokromatize x-ışını elde etmek amacıyla grafit monokromatör veya filtreler kullanılmaktadır. Numunelerin özelliğine veya isteğe bağlı olarak değişik yarık genişliğine sahip slitler kullanılabilmektedir. Numuneden difrakte olan x-ışınları NaI(Tl) tipi sintilasyon dedektörü ile toplanmakta ve sisteme bağlı bulunan bilgisayar ünitesi yardımıyla değerlendirilmektedir. Bruker AXS D8 Advance model XRD ölçüm sistemi Şekil 4.13'te görülmektedir.



Şekil 4.13. Bruker AXS D8 Advance model XRD ölçüm sistemi.

4.2.3.2. Ganyometre

X-ışınlarının numune üzerine odaklanması Bragg-Brentano geometrisini esas almaktadır. Difraktometre ölçüm çapı 435, 500 ve 600 mm çaplı değerlere sahip olup, ara değerlere ayarlamak da mümkün olabilmektedir. Difraktometre konumu ölçülen numuneye bağlı olarak yatay ve düşey olabilmektedir.

Difraktometre konfigürasyonları tüp çeşidine bağlı olarak $\theta - \theta$ veya $\theta - 2\theta$ olarak seçilebilmektedir. Ölçümler isteğe bağlı olarak “hızlı ölçüm” konumunda da yapılabilmektedir. Alette maksimum hız 25°C/s 'ye kadar ayarlanabilmektedir. Numenin ölçüm aralığı 2θ cinsinden -110° ile 168° açı aralığında yapılabilmektedir. Standart ölçüm modunda ($2\theta=10^\circ-90^\circ$, ve 0.002°C/s tarama adımında) ölçüm süresi 60 dakikadır. Difraktometrede sıfır noktası düzeltilmesi aletin kendisi tarafından kuvarz standart kullanılarak otomatik olarak yapılmaktadır. Aletteki ölçümlerin tekrarlanabilirliği $\pm 0,0001^\circ$ 'dir. Alette minimum adım açısı 0.0001° 'dir. Bu nedenle numuneden toplanacak veri sayısı oldukça fazla olabilmektedir. Bu ise sistemin x-ışınları toz difraksiyon tekniğine dayalı olarak yapılmakta olan teorik modelleme (Rietveld metodu gibi) analizlerine uygun olmasını sağlamaktadır. Sistem yüksek sıcaklık toz difraksiyon ölçümleri için de donanımlı olup XRD ölçümleri oda sıcaklığı ile 1600°C sıcaklığı aralığında yapılabilmektedir.

Bu ölçümler sonunda kristalografik faz dönüşümleri, faz geçiş sıcaklıkları, termal genleşme gibi özellikler incelenebilmektedir. Sistem sıcaklığa bağlı olarak oluşan zemin düzeltilmesini otomatik olarak düzeltmektedir.

4.2.3.3. Sistem Kontrolü ve Bilgi İşlem Ünitesi

Sistemin tüm mekanik kontrol ve ayarları otomatik olarak sistem bilgisayarı ile yapılmaktadır. XRD toz deseni veri değerlendirmeleri ise veri değerlendirme ve işlemlerini içerek hazır paket programlarla, merkezde bulunan veri değerlendirme ve işleme bilgisayarında yapılmaktadır.

“XRD Evaluation” adlı paket programı kullanılarak genel hatlarıyla sistem hata düzeltmesi, zemin düzeltmesi, $K\alpha_2$ düzeltmesi, difraksiyon tepe açılarının ve şiddetlerinin (relative veya cps cinsinden) otomatik olarak bulunması, farklı XRD toz desenlerinin üst üste çakıştırılması ve XRD toz desenlerinin dikey-yatay-üst üste (3D) olarak görüntülenmesi yapılabilmektedir.

Veri değerlendirme bilgisayarında bulunan “Win Index” programı ile, kristal birim hücre tipinin, birim hücre parametrelerinin (a, b, c, V, α , β ve γ) bulunması, h k l değerlerinin otomatik olarak hesaplanması, numuneye uygun olma olasılığı yüksek olan diğer alternatif birim hücre tiplerinin ve h k l değerlerinin otomatik olarak bulunması, FoM değerinin otomatik hesaplanması ve en uygun birim hücre tipinin seçimi, manuel olarak indisleme parametrelerinin seçimi, indisleme verilerinin başka amaçlar için diğer dosyalara dönüştürülmesi, gibi kristalografik işlemler yapılabilmektedir.

“DQuant” programıyla yarı kantitatif analizler, “Stress” paket programıyla stress analizleri, “Texture Evaluation” ile tekstür etkilerinin incelenmesi, “Diamond 2.1 d”, “TOPAS 2” programları ile kristal yapısı ile araştırmalar ve x-ışınları penetrasyonu hesaplamaları yapılabilmektedir.

4.2.4. Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (WD/XRF) Ölçüm Sistemi

Panalytical Axios Advanced model dalga boyu dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (WD/XRF) cihazı ile Bor’dan Uranyum’a kadar olan tüm elementleri, en alt ppm seviyesiyle %100 seviyesi konsantrasyon aralığında; katı (mineral, metal, polimer), sıvı (su, yağ, petrol ürünleri), ince film ve preslenmiş toz gibi her formdaki numunede, standart numune setine ihtiyaç duymadan kantitatif elementer analiz yapabilmektedir. Panalytical Axios Advanced model dalga boyu dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (WD/XRF) cihazı Şekil 4.14’te görülmektedir.



Şekil 4.14. Panalytical Axios Advanced model dalga boyu dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi cihazı.

4.2.5. Örneğin Hazırlanması ve Deneysel Aşamalar

4.2.5.1. Örneğin Hazırlanması

Bu araştırmada kullanılan doğal fluorit (CaF_2) örneği Orta Anadolu Masifi'nden kayaç olarak alınmıştır. Bu kayaç, laboratuvarında küçük parçacıklar halinde parçalanıp, bu parçalar hassas tartı aletinde tartılarak 0,0616 gr (2 mm kalınlığında 4x6 mm büyüklüğünde) CaF_2 kristali alınmıştır.

4.2.5.2. Deneysel Aşamalar

İlk aşamada, hassas tartı aletinde tartılarak alınan 0,0616 gr (2 mm kalınlığında 4x6 mm büyüklüğünde) CaF_2 kristalinin natural ve fon (background) ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra, farklı tavlama sıcaklıklarında (400, 450, 500, 550, 600, 650°C) 1'er saat tavlano, 48 Gy β ışınlamasına tabi tutularak Termolüminesans (TL) ışıma tepeleri gözlenmiştir. Deneysel çalışmaların yapılacağı ve en yüksek Termolüminesans (TL) ışıma tepesini veren tavlama sıcaklığı 450°C olarak belirlendikten sonra, tavlama yapılmadan ve 450°C'de 15, 30 ve 60 dakika

tavlanıp, 48 Gy β ışınlamasına tabi tutularak elde edilen TL ışıma tepeleri gözlenip en uygun tavlama süresi 15 dakika olarak belirlenmiştir. Son olarak, 0,0616 gr'lık (2.5 mm kalınlığında 4x5 mm) yeni bir CaF_2 kristali alınarak diğer deneysel işlemlerin tümü bu yeni kristal üzerinde çalışılmıştır.

4.2.5.2.(1). Değişken Doz Oranları Deneyi Aşaması

Değişken doz oranları deneyi aşamasında çalışılan örnek 450°C'de 15 dakika tavlandıktan sonra 0.04 Gy ile 10.368 kGy arasında b ışınlamasına tabi tutularak 1°C /s ısıtma oranında TL ışıma tepeleri kaydedilmiştir.

4.2.5.2.(2). Farklı Isıtma Oranları Deneyi Aşaması

Farklı ısıtma oranları deneyi aşamasında çalışılan örnek 450°C'de 15 dakika tavlandıktan sonra 48 Gy b ışınlamasına tabi tutularak farklı ısıtma oranlarında (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10°C/s) TL ışıma tepeleri kaydedilmiştir.

4.2.5.2.(3). X-Işını Toz Kırınım (XRD) Analizi Aşaması

Çalışılan doğal fluorit (CaF_2) kayacından 10 gr'lık 3 ayrı kristal alınıp, ilk kristal herhangi bir işleme tabi tutulmadan, ikinci kristal 500°C'de 1 saat ve ikinci kristal 550°C'de 1 saat tavlannmıştır. Hazırlanan bu örneklerin, Erciyes Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi X-Işınları Toz Difraktometresi (XRD) Laboratuvarı'nda Bruker AXS D8 Advance model XRD cihazı ile XRD analizleri yapılmıştır.

4.2.5.2.(4). X-Işını Floresans (XRF) Analizi Aşaması

Çalışılan doğal fluorit (CaF_2) kayacından 10 gr'lık 3 ayrı kristal alınıp, ilk kristal herhangi bir işleme tabi tutulmadan, ikinci kristal 500°C'de 1 saat ve ikinci

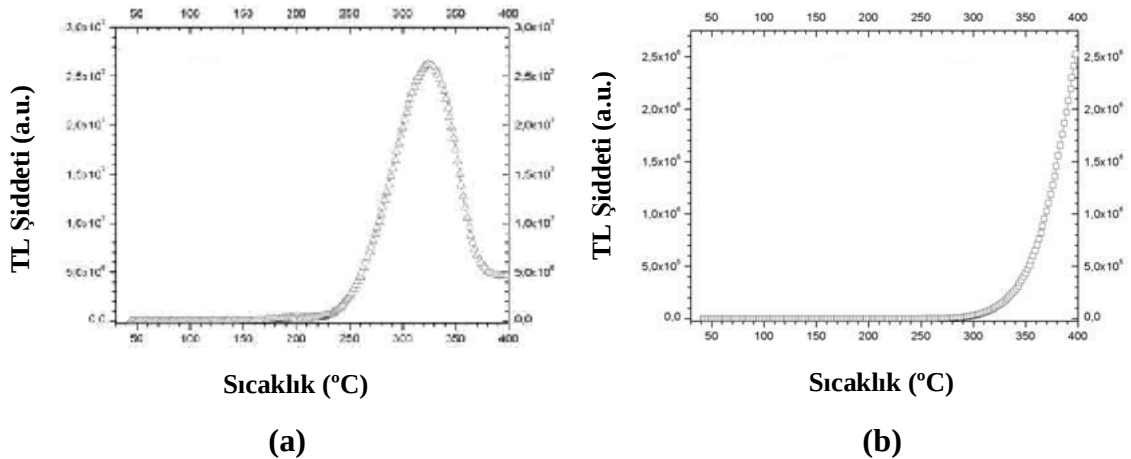
kristal 550°C’de 1 saat tavlannmıştır. Hazırlanan bu örneklerin, Erciyes Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarı’nda Panalytical Axios Advanced model XRF cihazı ile XRF analizleri yapılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Termoluminesansla (TL) İlgili Bulgular

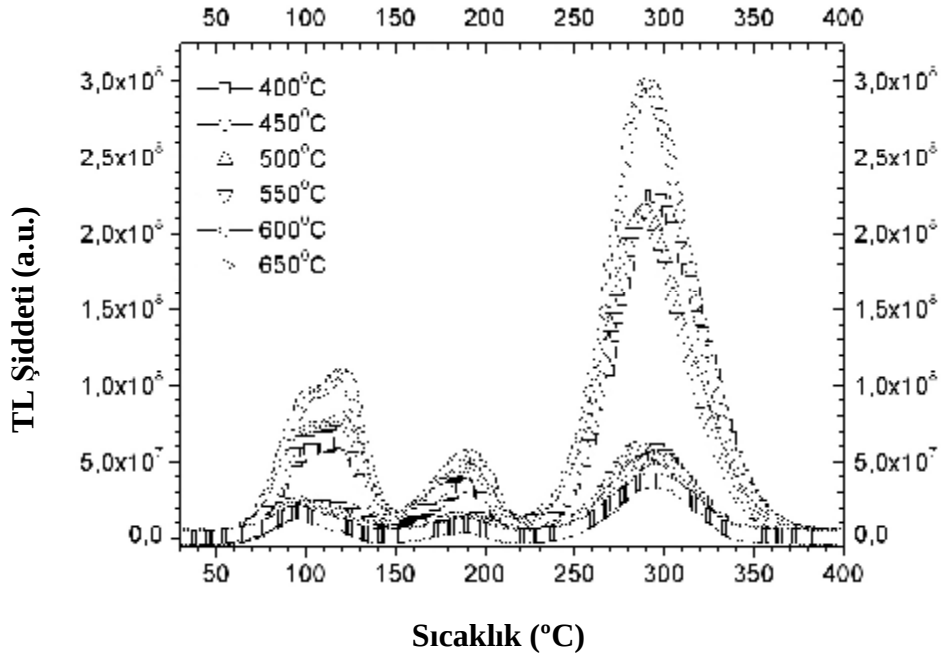
5.1.1. Tavlama Sıcaklığının Belirlenmesi

Fluorit (CaF_2) örneği için uygun tavlama sıcaklığını tespit etmek amacı ile literatür taramasına başvuruldu (Balogun ve ark., 1999; Sohrabi ve ark., 1999). Literatür taraması sonuçları, deneysel olarak bulunan sonuçların karşılaştırılmasında kullanıldı. Örnek herhangi bir işleme tabi tutulmadan önce natural ışıma eğrisini elde etmek için TL okuması yapıldı (Şekil 5.1.a). Natural ışıma eğrisi elde edildikten sonra yeni bir TL okuması yapılarak fon (background) eğrisi elde edildi (Şekil 5.1.b). Daha sonra aynı örnek sırasıyla 400°C , 450°C , 500°C , 550°C , 600°C ve 650°C değerlerinde 1'er saat tavlandıktan sonra 48 Gy radyasyon verilerek, 1°C/s ısıtma oranında TL ölçümleri alındı. Alınan ölçümler sonucunda, her bir tavlama sıcaklığı değeri için örneğin verdiği ışıma tepesi şiddetlerine bakıldı. Yapılan ölçümlere bağlı olarak sıcaklığa karşılık TL ışıma şiddeti grafiği çizildi (Şekil 5.2).



Şekil 5.1. Doğal fluoritten elde edilen natural ve fon (background) ışıma eğrileri;

- a) Natural ışıma eğrisi
- b) Fon (background) ışıma eğrisi



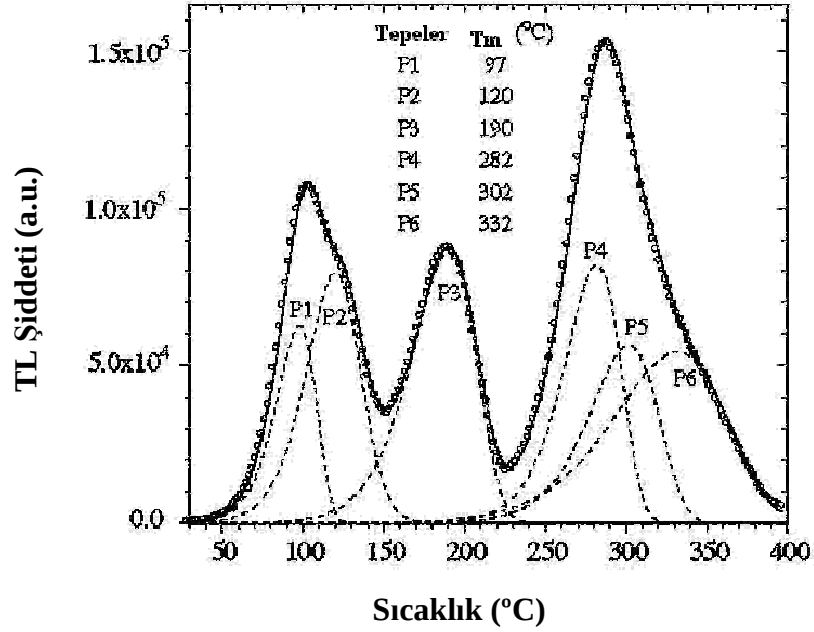
Şekil 5.2. Farklı tavlama sıcaklıklarında elde edilen ışıma eğrileri.

Grafikte de görüldüğü gibi, 120°C, 170°C ve 270°C civarlarındaki tüm tepeler 450°C'lik tavlama sıcaklığında en yüksek TL şiddetine ulaşmışlardır. 450°C'den büyük tavlama sıcaklıklarında artan tavlama sıcaklığı ile tüm tepelerin TL şiddetleri azalmaktadır. Literatüre göre, doğal fluoritin (CaF_2) TL özellikleri, 450°C'den daha az tavlama sıcaklıklarında değişmez; daha yüksek sıcaklıklarda, artan tavlama sıcaklığı ve tavlama süresi ile TL duyarlılığı düşer (Schayes ve ark., 1967).

Ayrıca, 400°C'deki tavlamadan sonra meydana gelen P4+P5+P6 toplam tepe alanı, 500°C'deki tavlamadan sonra kaydedilen P4+P5+P6 toplam tepe alanından büyük; ancak 400°C'deki tavlamadan sonra meydana gelen P1+P2 ve P3 tepe alanları, 500°C'deki tavlamadan sonra kaydedilen P1+P2 ve P3 tepe alanlarından küçüktür. Bu duruma bağlı olarak, çalışılan örneğin P1+P2 ve P3 tepeleri, 500°C'de 400°C'deki tavlamaya göre daha duyarlıdır.

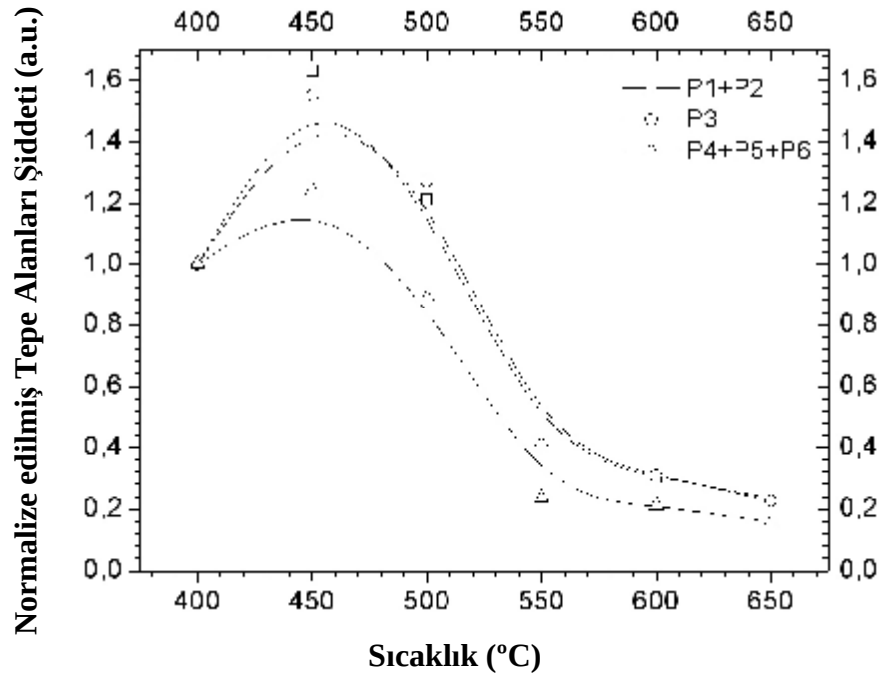
Dozimetrik amaçla kullanılacak olan tepeler P4+P5+P6 toplamı olan 270°C civarındaki tepe olduğu için tavlama sıcaklığı olarak, bu tepenin yanıtına (response) bakılıp 450°C seçilmiştir.

Çalışılan doğal CaF_2 örneği için üst üste binmiş tepelerin ayrıştırılması Bilgisayarla Işıma Eğrisi Ayrıştırma (CGCD, Computerised Glow Curve Deconvolution) CGCD yöntemi kullanılarak yapılmış ve toplam 6 ışıma tepesinin olduğu belirlenmiş ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir (Topaksu ve Yazıcı, 2007).



Şekil 5.3. Doğal fluoritin CGCD analizi ile ayrıştırılmış ışıma tepeleri; $D=144\text{Gy}$, $b = 1^\circ\text{C/s}$ (Topaksu ve Yazıcı, 2007).

Yapılan çalışmada, Origin 7.5 programı kullanılarak, farklı tavlama sıcaklıklarında elde edilen ışıma eğrilerinin tepe alanları hesaplandı. Hesaplanan tepe alanları 400°C tavlama sıcaklığında elde edilen değere oranlanarak normalize edildi ve tavlama sıcaklıklarına karşılık normalize edilmiş tepe alanları şiddeti grafiği çizildi (Şekil 5.4).



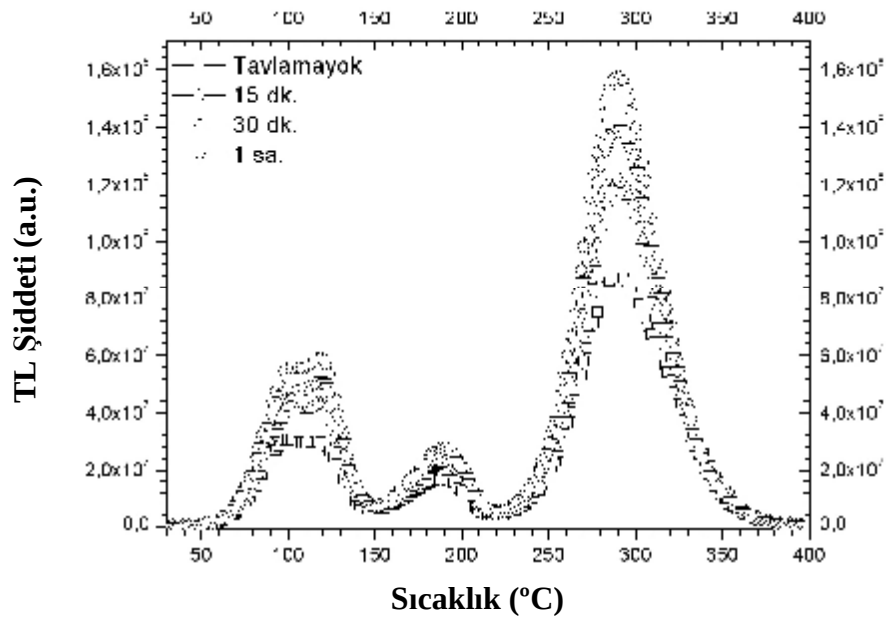
Şekil 5.4. Tavlama sıcaklığının fonksiyonu olarak ışıma tepelerinin TL yanıt eğrileri.

Çalışılan doğal fluorit örneğinin, TL ışıma tepelerinin hepsi 450°C tavlama sıcaklığında en yüksek şiddete sahip olmaktadır. 400°C tavlama sıcaklığından 450°C'lik tavlama sıcaklığına çıkıldığında, P1+P2 ve P3 tepelerinin şiddeti ilk tepe şiddetlerine göre yaklaşık olarak %45 artarken, P4+P5+P6 tepesine ait tepe şiddeti ilk değerinin %20'si kadar artış göstermektedir. 450°C'den büyük tavlama sıcaklıklarında, tüm tepelerin TL şiddetlerindeki azalma oranı, bir önceki değerlerine göre yaklaşık olarak aynıdır. Grafikte de görüldüğü gibi, P1+P2 ve P3 tepelerinin normalize edilmiş tepe alanları şiddetlerinin tavlama sıcaklığına karşı verdikleri değerler benzerdir. Ayrıca, P1+P2 ve P3 tepeleri, tavlama sıcaklığı değişimine P4+P5+P6 tepesine göre yaklaşık 2 kat daha duyarlıdır.

5.1.2. Tavlama Süresinin Belirlenmesi

Çalışılan fluorit (CaF_2) örneği için uygun tavlama süresini tespit etmek amacı ile literatür taramasından ve deneysel olarak bulunan sonuçların

karşılaştırılmasından yararlanıldı. Örnek herhangi bir işleme tabi tutulmadan önce TL ışıması elde etmek için TL okuması yapıldı ve fon (background) ışıma eğrisi elde edildi. Daha sonra örneğin sırasıyla, tavlama yapılmadan, 15 dakika, 30 dakika ve 1 saat tavlandıktan sonra 48 Gy radyasyon verilerek, 1°C/s ısıtma oranında dört ayrı TL ölçümü alındı. Alınan ölçümler sonucunda, her bir tavlama süresi için örneğin verdiği ışıma tepesi şiddetlerine bakıldı. Yapılan ölçümlere bağlı olarak sıcaklığa karşılık TL ışıma şiddeti grafiği çizildi (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Farklı tavlama sürelerinde elde edilen ışıma eğrileri.

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi, çalışılan doğal CaF_2 örneği tavlama yapıldığı zaman daha yüksek TL ışıma tepeleri vermektedir. Ancak, 15 dakikalık tavlamadan sonra en yüksek ışıma tepesine ulaşmıştır. 15 dakikadan sonra tavlama süresi arttıkça, tepe şiddetlerinin artan tavlama süresi ile düştüğü görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda, tavlama süresinin artmasına bağlı olarak TL duyarlılığı düşer (Schayes ve ark., 1967).

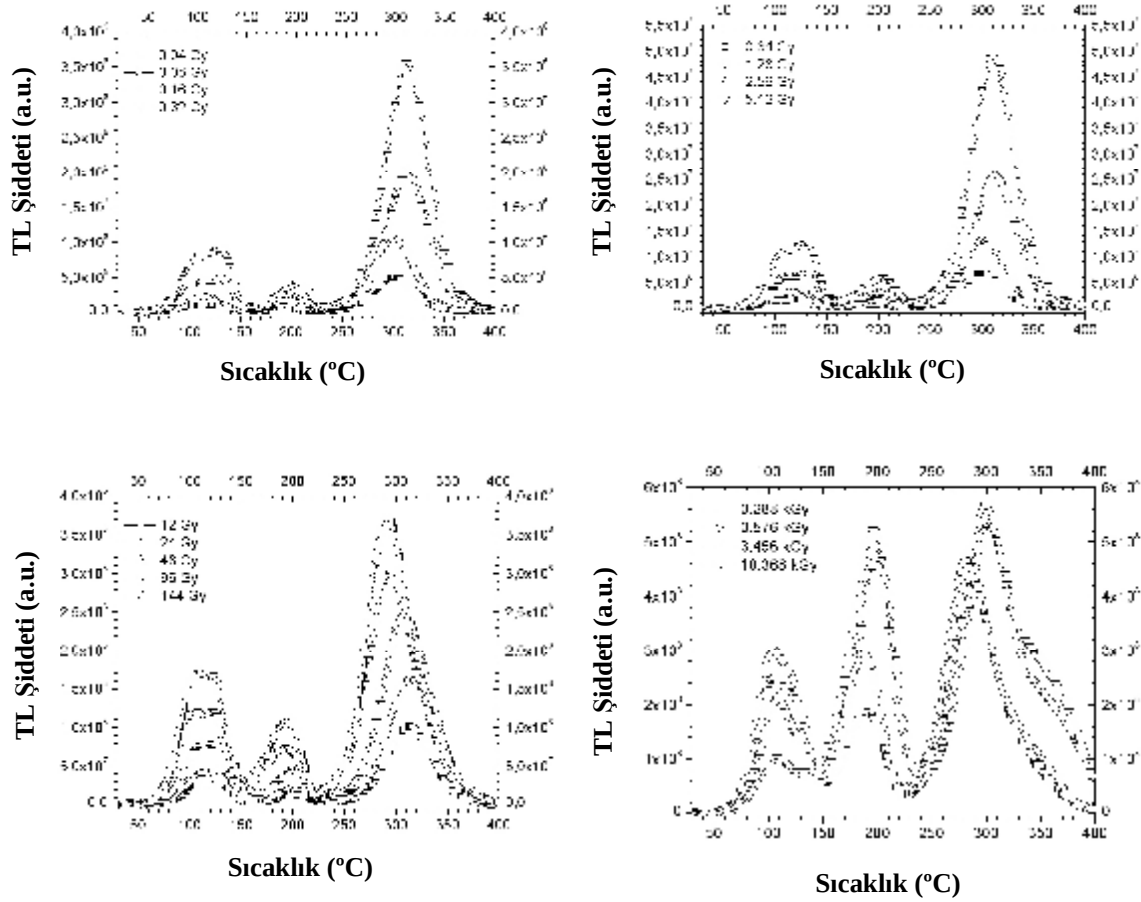
5.1.3. Değişken Doz Oranları Deneyi

Örnek üzerinde hiçbir işlem yapılmadan, natural okundu ve fon (background) eğrisi belirlendi. Çalışılan örnek, 48 Gy *b* ışınlamasına tutulup tekrar ölçüm alındı.

Örnek tavlama sıcaklığı olarak belirlenen 450°C’de, 15 dakika tavlانیp fırından çıkarıldı ve 2 dakika soğumaya bırakıldı. Örnek soğutulduktan sonra, 0.04 Gy *b* ışınlamasına tutulup 1°Cs⁻¹ ısıtma oranında TL ölçümü yapıldı ve ölçümün hemen arkasından fon (background) eğrisi belirlendi. Bu işlemler, 0.08, 0.16, 0.32, 0.64, 1.28, 2.56, 5.12, 12, 24, 48, 96, 144, 288, 576, 3456 ve 10368 Gy’lik *b* ışınlamasından sonra ayrı ayrı tekrar edildi.

Farklı doz oranlarından (0.04 Gy-10.368 kGy) elde edilen ışıma eğrileri, Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

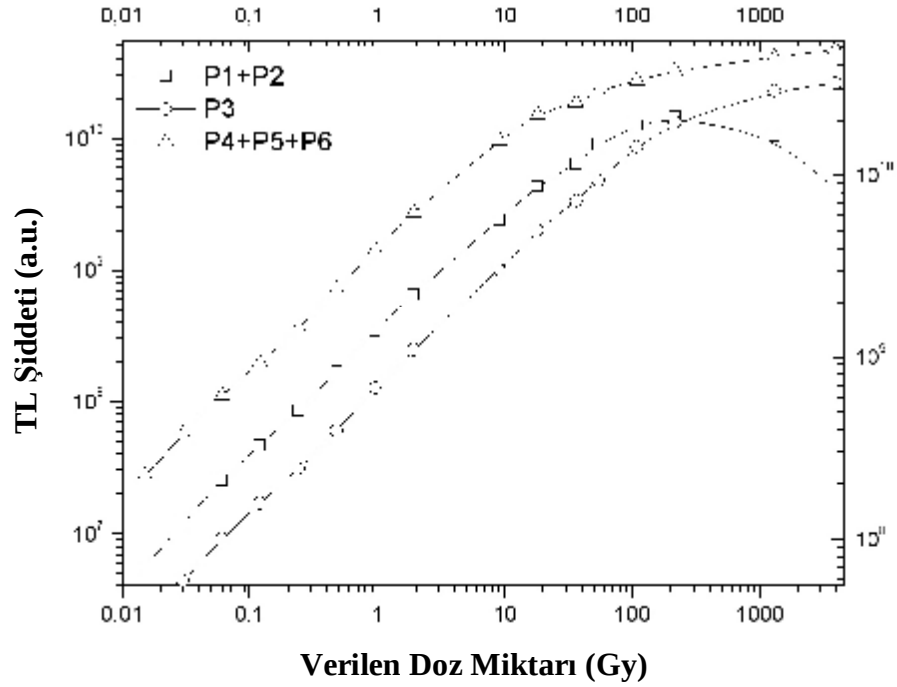
Grafiklerde de görüldüğü gibi, tüm tepelerin TL şiddetleri artan doz oranı ile artmaktadır. Dozdaki artış miktarına karşılık, TL şiddetlerindeki artış miktarı doğru orantılıdır; ancak P1+P2 tepesine ait TL şiddeti, 3.456 kGy’lik *b* -ışınlamasından sonraki değerlerde azalma göstermekte ve 10.368 kGy’lik doz değerinde P2 tepesi yok olmakta ya da diğer bir deyişle P1 tepesi ile üst üste binmektedir. Topaksu ve Yazıcı (2007) tarafından Bilgisayarla Işıma Eğrisi Ayrıştırma (CGCD, Computerised Glow-Curve Deconvolution) yöntemiyle 6 ışıma tepesinin varlığı belirlenmiş olup, CGCD yöntemiyle belirlenen tepelerden biri olan P6’nın yüksek doz değerlerine çıkıldıkça (3.456 kGy ve 10.368 kGy) gözle görülebilir halde belirginleştiği gözlenmektedir.



Şekil 5.6. Farklı doz oranları (0.04 Gy-10.368 kGy) deneyinden elde edilen ışıma eğrileri.

Farklı doz oranları deneyleri ile elde edilen 6 ışıma tepesinin (P1-P6), alanları Origin 7.5 programı kullanılarak hesaplandı. Hesaplama yapılırken P1-P2 ve P4-P5-P6 iç içe geçmiş tepeler olduğundan, P1-P2'nin ve P4-P5-P6'nın alanları toplamı alındı. Hesaplanan tepe alanlarından yararlanılarak, verilen doz miktarına karşılık TL şiddetleri logaritmik eksenler kullanılarak Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

Grafikte de açıkça görüldüğü gibi, P1+P2 ve P3 tepeleri 50 Gy'lik doza kadar doğrusal bir artış, 100 Gy'lik dozun üzerinde supralineer artış göstermekte ve P1+P2, 1 kGy'lik dozdan itibaren P3 ise 10 kGy'lik dozdan itibaren doyuma ulaşmaya başlamaktadır. Benzer olarak, P4+P5+P6 tepeleri 20 Gy'lik doza kadar doğrusal bir artış, 100 Gy'lik doz miktarından sonra supralineer bir artış göstermekte ve 10 kGy'lik doz miktarından sonra doyuma ulaşmaya başlamaktadır.



Şekil 5.7. Altı ışıma tepesinin (P1-P6) tepe alanlarından belirlenen doz yanıt eğrileri.

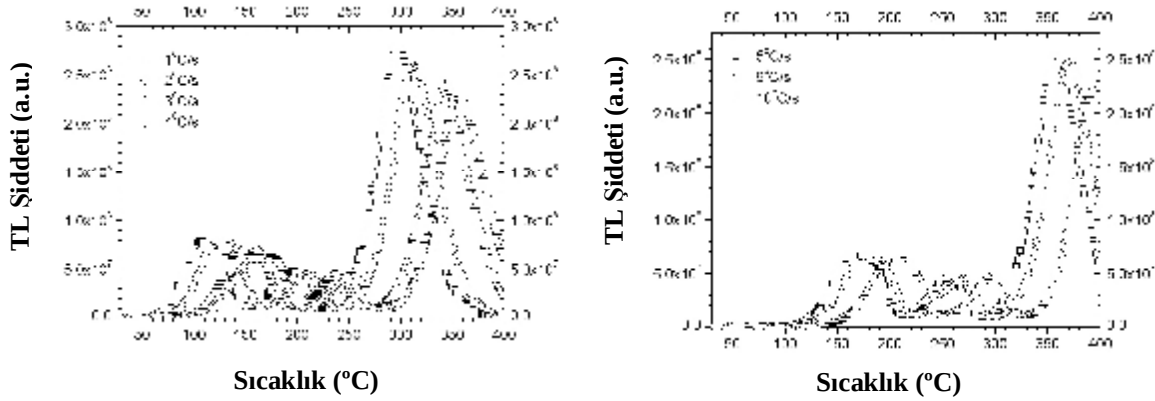
Çoğu doğal fluorit (CaF_2) örneği için, değişik tepelerin doyumları farklı doz miktarlarında olmakta ve bazı örneklerin tepeleri ise 1 kGy'lik doz miktarından sonra supralineer artış göstermektedir (Sunta ve ark., 1994). Doyum ve doğrusal artışın bozulması genellikle 10 kGy ile 100 kGy doz aralığında başlamaktadır (McKeever ve ark., 1995).

5.1.4. Farklı Isıtma Oranları Deneyi

Çalışılan fluorit (CaF_2) örneği hiçbir işlem yapılmadan TL okuması yapıldı ve fon (background) eğrisi elde edildi. Daha sonra 450°C 'de 15 dakika tavlama yapıp fırından çıkarıldı ve 2 dakika soğumaya bırakıldı. Örnek soğutulduktan sonra, 48 Gy b ışınlamasına tutulup, 1°Cs^{-1} ısıtma oranında TL ölçümü alındı. Bu işlem 2°Cs^{-1} , 3°Cs^{-1} , 4°Cs^{-1} , 5°Cs^{-1} , 6°Cs^{-1} ve 10°Cs^{-1} ısıtma oranları ile tekrarlandı

ve ışıma tepeleri kaydedildi. Ölçüm sonuçlarına bağlı olarak sıcaklığa karşılık TL ışıma şiddeti grafikleri çizildi.

1°Cs^{-1} , 2°Cs^{-1} , 3°Cs^{-1} , 4°Cs^{-1} , 5°Cs^{-1} , 6°Cs^{-1} ve 10°Cs^{-1} ısıtma oranlarında sıcaklığa karşılık TL ışıma şiddeti grafikleri Şekil 5.8’de görülmektedir.

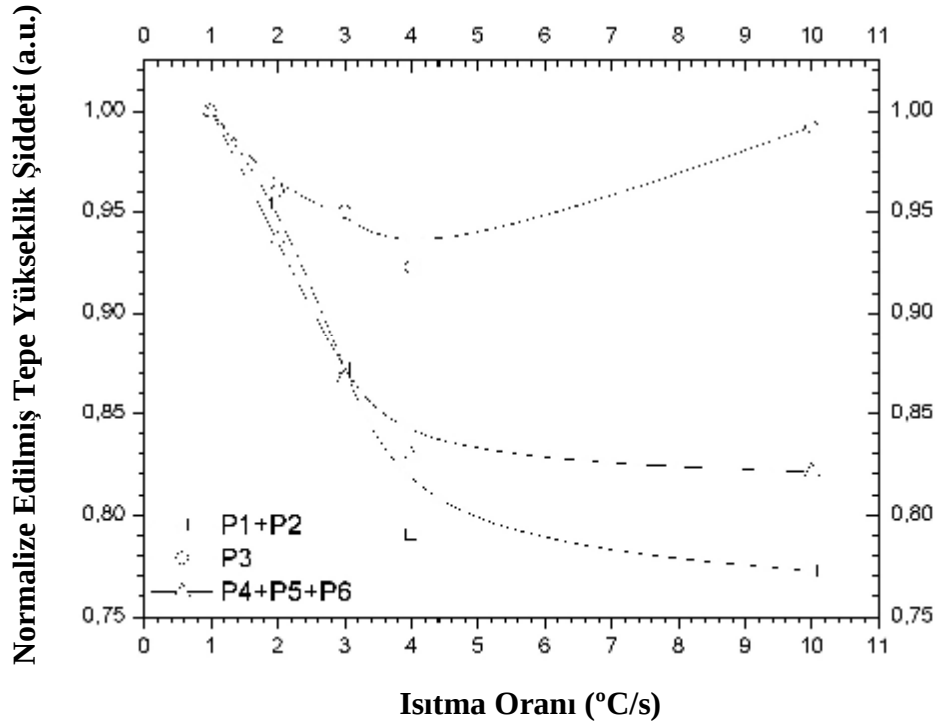


Şekil 5.8. Farklı ısıtma oranlarında ölçülen ışıma eğrileri.

Şekil 5.8’de de görüldüğü gibi, ışıma tepeleri, teoriye uygun olarak yüksek sıcaklıklara doğru kaymaktadır. Ayrıca ısıtma oranı arttıkça tepe yükseklik şiddetleri ve eğri altında kalan alanlar ısıtma oranı arttıkça azalmaktadır.

Farklı ısıtma oranları deneyi ile elde edilen 6 ışıma tepesinin (P1-P6), yükseklikleri, Origin 7.5 programı kullanılarak hesaplandı. Hesaplama yapılırken P1 ve P2’nin tepe değerleri toplanıp ortalaması alınarak P1 ve P2 için tek değer belirlendi. P4-P5-P6 iç içe geçmiş tepeler olduğundan, P4-P5-P6’nın toplamından oluşan tek tepenin yüksekliği alındı. Hesaplanan tepe yükseklikleri 1°Cs^{-1} ısıtma oranında elde edilen değere oranlanarak normalize edilip, ısıtma oranlarına karşılık normalize edilmiş tepe yükseklikleri şiddeti eğrileri Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

Aşağıdaki grafikte de görüldüğü gibi, P3’e ait tepe yükseklik şiddeti, 4°C/s ısıtma oranına kadar düşüş gösterirken, 10°C/s ’lik ısıtma oranına doğru gidildikçe artış göstermekte ve 10°C/s ısıtma oranına gelindiğinde ise ilk değerine geri dönmektedir.

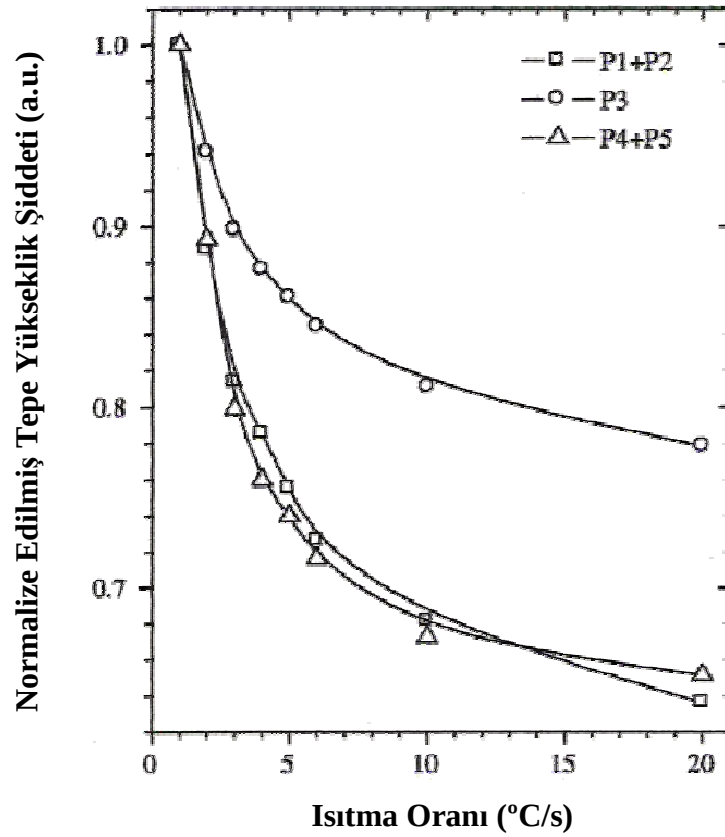


Şekil 5.9. Isıtma oranlarının fonksiyonu olarak ısıtma tepelerinin TL yanıt eğrileri.

P1+P2 ve P4+P5+P6 tepelerine ait tepe yükseklik şiddetleri ısıtma oranı arttıkça düşüş göstermekte ve bu düşüş, P1+P2 için ilk değerinin %23'ü, P4+P5+P6 içinse ilk değerinin %18'i kadar olmaktadır.

Bu bulgular, daha önce çalışılan, aynı masife ait doğal fluorit örneği ile Topaksu ve Yazıcı (2007) tarafından tavlama yapılmadan elde edilen bulgularla çizilen Şekil 5.10'daki grafiklerle karşılaştırıldı.

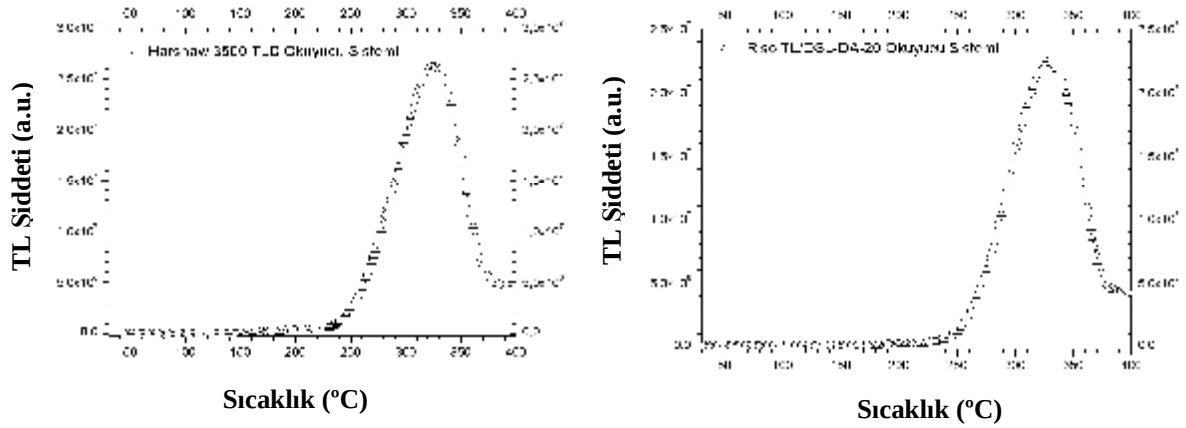
Şekil 5.10'da da görüldüğü gibi, tüm tepelere ait tepe şiddetleri, ısıtma oranı arttıkça azalmaktadır. Bu azalma, P1+P2 ve P4+P5 için ilk değerlerinin %35'i kadar, P3 için ise ilk değerinin % 22'si kadar olmaktadır.



Şekil 5.10. Tavlama yapılmadan elde edilen ısıtma oranlarının fonksiyonu olarak ısıtma tepelerinin TL yanıt eğrileri (Topaksu ve Yazıcı, 2007).

5.2. Laboratuvarlar Arası Karşılaştırma Çalışmaları

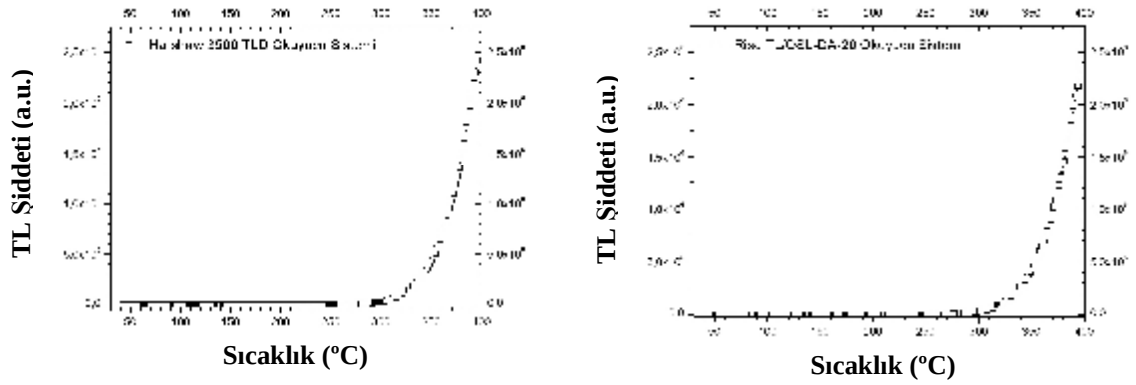
DeneySEL çalışmalarından elde edilen bulguların laboratuvarlar arası karşılaştırmaları, Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü Termoluminesans Laboratuvarında Harshaw 3500 TLD sisteminden elde edilen bulgularla, Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü Arkeometri Laboratuvarında Riso TL/OSL-DA-20 Model TL/OSL okuyucu sisteminden elde edilen bulguların karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Şekil 5.11'de çalışılan fluorit örneğinin hiçbir işleme tabi tutulmadan (natural) her iki TL okuyucusuyla (1°C/s ısıtma oranında) yapılan TL okumaları görülmektedir.



Şekil 5.11. Natural TL okuması sonucu elde edilen ışıma eğrileri.

- Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemiyle elde edilen ışıma eğrisi.
- Riso TL/OSL-DA-20 TL/OSL okuyucu sistemiyle elde edilen ışıma eğrisi.

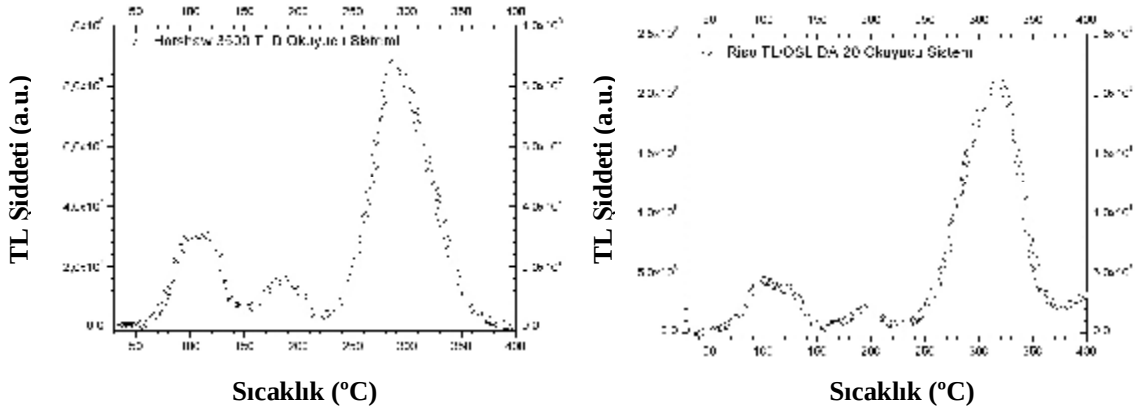
Şekil 5.12’de her iki TL okuyucusuyla 1°C/s ısıtma oranında yapılan fon (background) okumaları görülmektedir.



Şekil 5.12. TL okuması sonucu elde edilen fonlar (background).

- Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemiyle elde edilen fon.
- Riso TL/OSL-DA-20 TL/OSL okuyucu sistemiyle elde edilen fon.

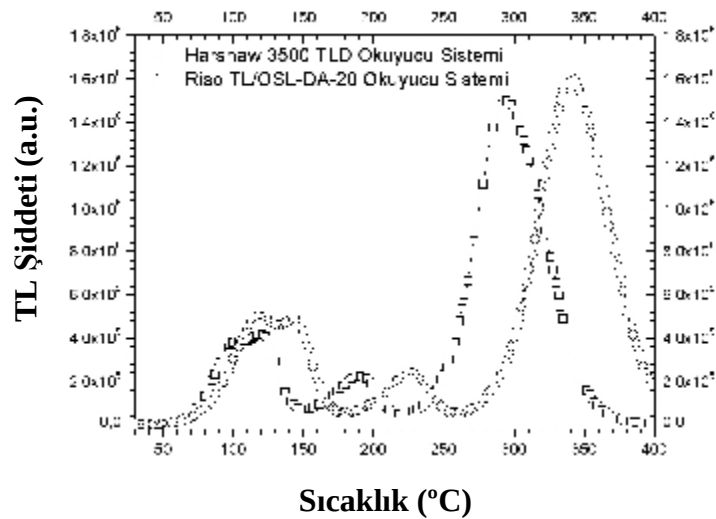
Çalışılan fluorit örneği, tavlama yapılmadan β ışınlamasına tutulduktan sonra her iki TL okuyucusuyla 1°C/s ısıtma oranında okuma yapıldı. Bu okumaların sonucunda elde edilen ışıma eğrileri Şekil 5.13’te görülmektedir.



Şekil 5.13. TL okuması sonucu elde edilen ışıma eğrileri.

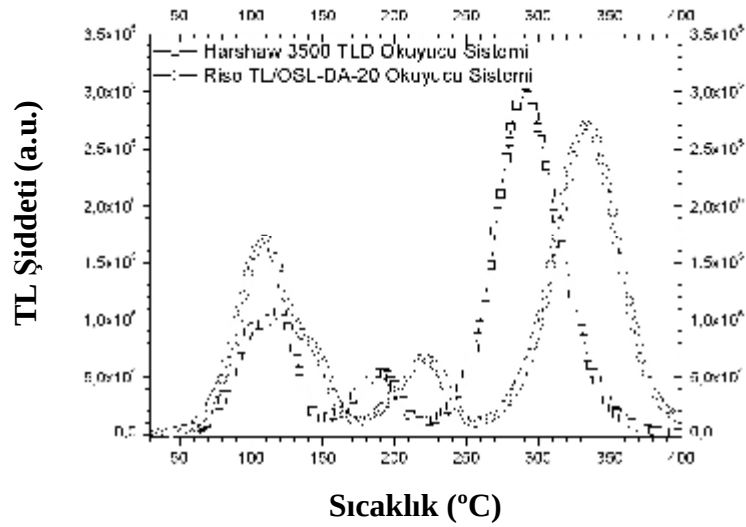
- Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemiyle elde edilen ışıma eğrisi (Verilen doz: 48 Gy).
- Riso TL/OSL-DA-20 okuyucu sistemiyle elde edilen ışıma eğrisi (Verilen doz: 1 Gy).

Fluorit örneği, 400°C’de 1 saat tavlandıktan sonra β ışınlamasına tutuldu ve her iki TL okuyucusuyla 1°C/s ısıtma oranında okuma yapıldı. Elde edilen ışıma eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.14’te görülmektedir.



Şekil 5.14. 400°C’de 1 saat tavlama ve 1 Gy’lik β ışınlamasından sonra TL okuması sonucu elde edilen ışıma eğrileri.

Fluorit örneği, 450°C’de 1 saat tavlandıktan sonra β ışınlamasına tutuldu ve her iki TL okuyucusuyla 1°C/s ısıtma oranında okuma yapıldı. Elde edilen ışıma eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.15’te görülmektedir.



Şekil 5.15. 450°C’de 1 saat tavlama ve 1 Gy’lik β ışınlamasından sonra TL okuması sonucu elde edilen ışıma eğrileri.

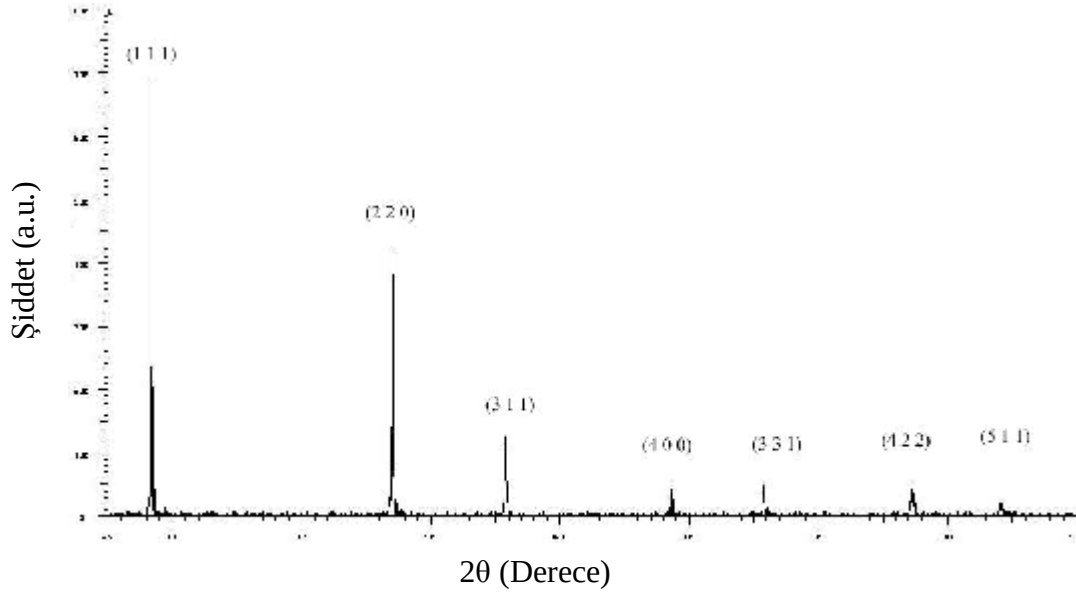
Laboratuvarlar arası karşılaştırma çalışmalarından elde edilen ışıma eğrileri incelendiğinde, çalışılan fluorit örneğinin benzer TL özellikler gösterdiği ve dozimetre materyali olarak tekrarlanabilir bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.

5.3. X-Işınları Toz Difraktometresi (XRD) ve X-Işını Floresans Spektrometresi (WD/XRF) ile İlgili Bulgular

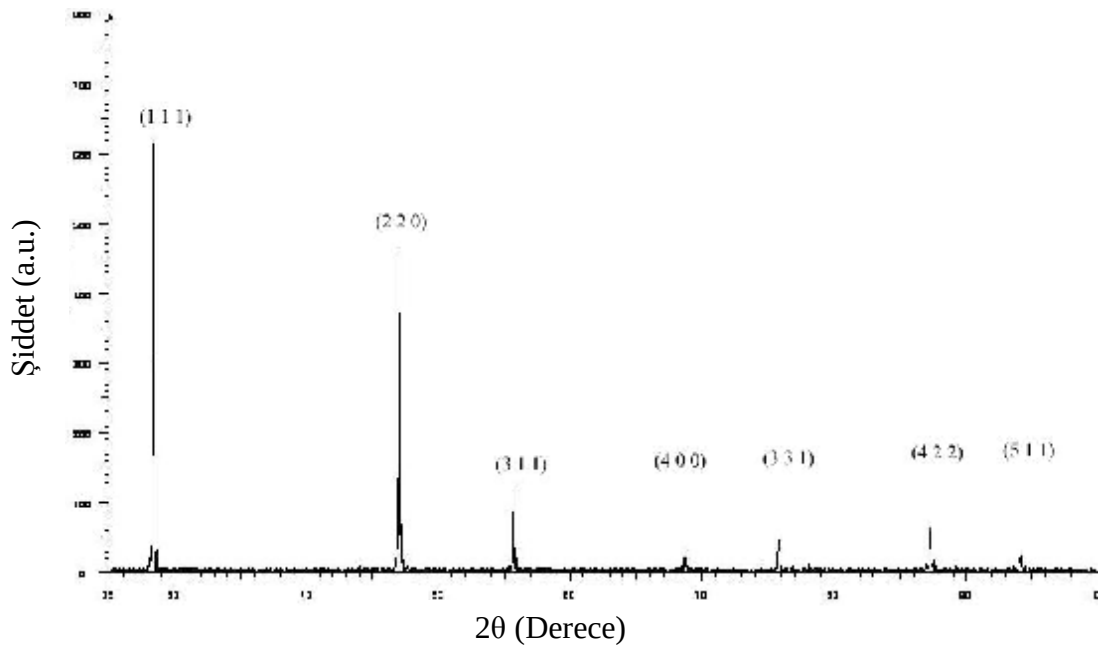
5.3.1. X-Işınları Toz Difraktometresi (XRD) Bulguları

Çalışılan doğal fluorit (CaF_2) kayacından 10 gr’lık 3 ayrı kristal alınıp, ilk kristal herhangi bir işleme tabi tutulmadan, ikinci kristal 500°C’de 1 saat ve ikinci kristal 550°C’de 1 saat tavlannmıştır. Hazırlanan bu örneklerin, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi X-Işınları Toz Difraktometresi (XRD) Laboratuvarı’nda Bruker AXS D8 Advance model XRD cihazı ile XRD analizleri

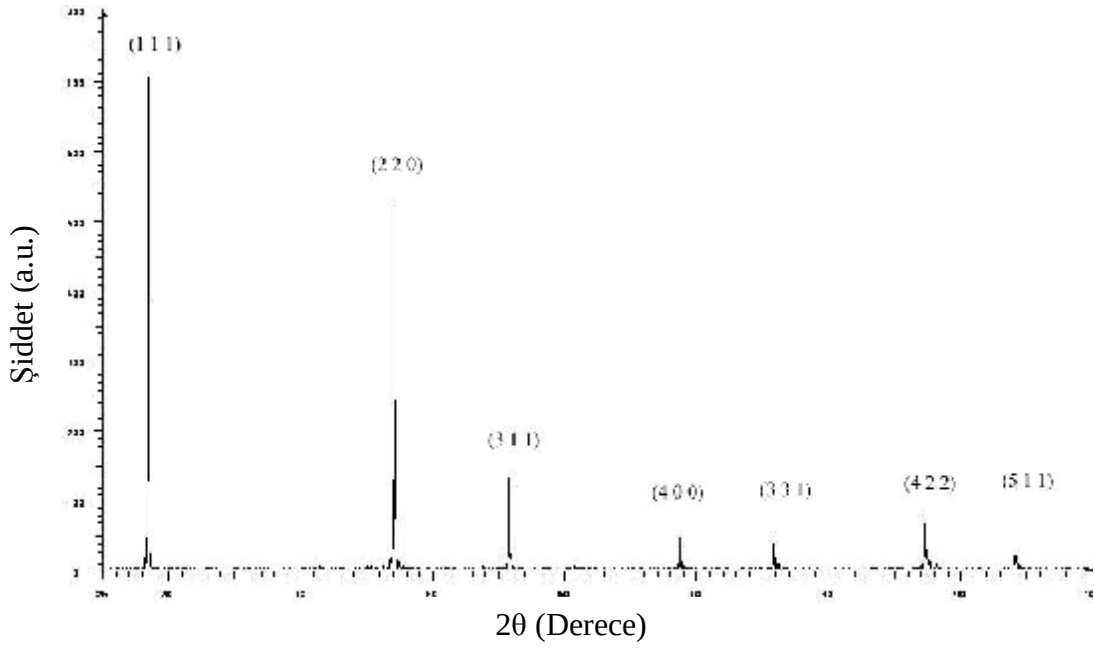
yapılmıştır. Analiz sonuçları ile elde edilen XRD spektrum grafikleri Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de görülmektedir.



Şekil 5.16. Tavlama yapılmamış doğal fluoritin XRD spektrumu.



Şekil 5.17. 500°C’de tavllanmış doğal fluoritin XRD spektrumu.



Şekil 5.18. 550°C’de tavllanmış doğal fluoritin XRD spektrumu.

XRD spektrum sonuçlarına ve yapılan analizlere bağlı olarak hesaplanan kübik birim hücre parametreleri Tablo 5.1’de görülmektedir.

Tablo 5.1. Doğal fluoritin kübik birim hücre parametreleri;

- a) Tavlama yapılmadan
- b) 500°C’de tavllanmış
- c) 550°C’de tavllanmış

a	b	c	Alfa	Beta	Gama	Birim Hücre Hacmi	
5.46229	5.46229	5.46229	90	90	90	162.976	a)
a	b	c	Alfa	Beta	Gama	Birim Hücre Hacmi	
5.46365	5.46365	5.46365	90	90	90	163.098	b)
a	b	c	Alfa	Beta	Gama	Birim Hücre Hacmi	
5.45981	5.45981	5.45981	90	90	90	162.754	c)

Elde edilen tepelerin aç ı değ erleri, ş iddet parametreleri ve Miller indisleri Tablo 5.2’de gör ülmektedir.

Tablo 5.2. Doğ al fluoritin ş iddet parametreleri ve Miller indisleri;

- a) Tavlama yapılmadan
- b) 500°C’de tavllanmış
- c) 550°C’de tavllanmış

2 θ Teta	I/I _a (Sayım)	(h k l)	2 θ Teta	I/I _a (Sayım)	(h k l)	2 θ Teta	I/I _a (Sayım)	(h k l)
28.281	100.0	(1 1 1)	28.262	100.0	(1 1 1)	28.336	100.0	(1 1 1)
47.027	61.8	(2 2 0)	46.983	75.5	(2 2 0)	47.060	73.8	(2 2 0)
55.776	17.9	(3 1 1)	55.759	19.8	(3 1 1)	55.833	18.7	(3 1 1)
68.673	7.6	(4 0 0)	68.650	5.1	(4 0 0)	68.738	6.7	(4 0 0)
75.870	3.9	(3 3 1)	75.838	7.0	(3 3 1)	75.903	6.8	(3 3 1)
87.100	1.0	(4 2 2)	87.369	10.1	(4 2 2)	87.431	11.0	(4 2 2)
94.227	3.3	(5 1 1)	94.215	3.4	(5 1 1)	94.274	3.0	(5 1 1)

a)

b)

c)

5.3.2. X-Iş ını Floresans Spektrometresi (WD/XRF) Bulguları

Çalış ılan doğ al fluorit (CaF₂) kayac ından 10 gr’lık 3 ayrı kristal alınıp, ilk kristal herhangi bir işleme tabi tutulmadan, ikinci kristal 500°C’de 1 saat ve ikinci kristal 550°C’de 1 saat tavlannmış ır. Hazırlanan bu ö rneklerin, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarı’nda Panalytical Axios Advanced model XRF cihazı ile XRF analizleri yapılmış ır. Tablo 5.3’te tavlannmamış doğ al fluoritin XRF analiz sonuçları gör ülmektedir.

Tablo 5.3. Tavlanmamış doğal fluoritin XRF sonuçları.

Element	Miktar (%)	Hata (%)
Ca	86,0819	0,1
F	13,6183	0,1
Fe	0,1081	0,003
Si	0,0713	0,002
Al	0,0713	0,001
Mn	0,0254	0,001
Mg	0,0251	0,001
Na	0,0083	0,001
Cu	0,0080	0,001
S	0,0077	0,001
Rb	0,0045	0,001
Sr	0,0043	0,001
P	0,0028	0,001

Tablo 5.3'te görüldüğü gibi çalışmada kullanılan fluorit kristali, %99.7 oranında Kalsiyum (Ca) ve Fluor (F) elementlerinden oluşmaktadır. Mineralin % 0.3'lük kısmı ise Demir (Fe), Silisyum (Si), Aliminyum (Al), Mangan (Mn), Magnezyum (Mg), Sodyum (Na), Bakır (Cu), Kükürt (S), Rubidyum (Rb), Strontiyum (Sr) ve Fosfor (P) elementlerinden oluşmaktadır. Kristalin yapısında bulunan elementlerin yüzde olarak dağılımı, % 86.0819 Kalsiyum (Ca), % 13.6183 Fluor (F), % 0.1081 Demir (Fe), % 0.0713 Silisyum (Si), % 0.0713 Aliminyum (Al), % 0.0254 Mangan (Mn), % 0.0251 Magnezyum (Mg), % 0.0083 Sodyum (Na), % 0.0080 Bakır (Cu), % 0.0077 Kükürt (S), % 0.0045 Rubidyum (Rb), % 0.0043 Strontiyum (Sr) ve % 0.0028 Fosfor (P) şeklindedir.

Tablo 5.4. 500°C’de tavllanmış doğal fluoritin XRF sonuçları.

Element	Miktar (%)	Hata (%)
Ca	89,8081	0,1
F	9,9659	0,1
Si	0,0578	0,002
Fe	0,0571	0,002
Mn	0,0441	0,002
Al	0,0329	0,001
Na	0,0138	0,001
Mg	0,0093	0,001
Rb	0,0049	0,001
S	0,0036	0,001
P	0,0024	0,001

Çalışılan fluorit örneği 500°C’de 1 saat tavlandıktan sonra yapılan XRF analiz sonuçlarına göre, kristalin yapısında bulunan elementlerin yüzde olarak dağılımı, % 89.8081 Kalsiyum (Ca), % 9.9659 Fluor (F), % 0.0571 Demir (Fe), % 0.0578 Silisyum (Si), % 0.0329 Aliminyum (Al), % 0.0441 Mangan (Mn), % 0.0093 Magnezyum (Mg), % 0.0138 Sodyum (Na), % 0.0036 Kükürt (S), % 0.0049 Rubidyum (Rb) ve % 0.0024 Fosfor (P) şeklindedir.

Tablo 5.5’te görüldüğü gibi, 550°C’de 1 saat tavlandıktan sonra yapılan XRF analiz sonuçlarına göre, kristalin yapısında bulunan elementlerin yüzde olarak dağılımı, % 86.9359 Kalsiyum (Ca), % 12.8241 Fluor (F), % 0.0476 Demir (Fe), % 0.1224 Silisyum (Si), % 0.0080 Aliminyum (Al), % 0.0352 Mangan (Mn), % 0.0086 Magnezyum (Mg), % 0.0083 Sodyum (Na), % 0.0028 Kükürt (S), % 0.0053 Rubidyum (Rb) ve % 0.0018 Fosfor (P) şeklindedir.

Tablo 5.5. 550°C’de tavllanmış doğal fluoritin XRF sonuçları.

Element	Miktar (%)	Hata (%)
Ca	86,9359	0,1
F	12,8241	0,1
Si	0,1224	0,003
Fe	0,0476	0,002
Mn	0,0352	0,002
Mg	0,0086	0,001
Na	0,0083	0,001
Al	0,0080	0,001
Rb	0,0053	0,001
S	0,0028	0,001
P	0,0018	0,001

Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5’teki analiz sonuçlarına göre, kristalin yapısında bulunan elementlerin her üç durumda da farklı yüzde değerlerine sahip olduğu, hatta Bakırın (Cu) tavlınmamış fluorit kristalinde belirli bir miktarda bulunduğu ancak 500°C ve 550°C’de tavlınmış parçalarında bulunmadığı görülmektedir. Bu farklılığın sebebi, fluorit kayacından üç ayrı parça alınarak analizlerin ayrı parçalar üzerinde yapılmasından kaynaklanıyor olabilir. Çalışmada kullanılan doğal fluoritin, farklı kesitlerinin farklı element içeriklerinden oluştuğu düşünülebilir. Sonuç olarak doğal olarak oluşmuş minerallerin yapılarında bulunan diğer elementler mineral içerisinde homojen bir dağılım göstermemektedirler. Bu nedenle fluorit kayacının herhangi iki farklı kesitinden alınan örnekler aynı safsızlıkta olmayabilirler.

Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5’teki analiz sonuçlarına göre, % 0,1 hata ile analizi yapılan kristalin % 99,7’sinin kalsiyum fluorit olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan Kırşehir ilinden alınan doğal fluorit (CaF_2) kristalinin termolüminesans (TL) ışıma tepelerine tavlamanın etkisi çalışıldı. Yapılan çalışma ile aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

Fluorit, 400°C'den 650°C'ye kadar 50°C'lik artışlarla 1'er saat tavlandıktan sonra sabit 48 Gy doz verilerek, 1°C/s ısıtma oranında TL ölçümleri alındı. Doğal fluorit örneğinin, tavlama sıcaklıklarına karşı son derece duyarlı olduğu ve 450°C'lik tavlama sıcaklığında TL ışıma tepelerinin hepsinin en yüksek doz tepkisi verdiği tespit edildi. Ayrıca her bir tavlama sıcaklığında, çalışılan doğal fluorit örneğinin verdiği TL ışıma tepesi şiddetleri grafiği ve tavlama sıcaklıklarının fonksiyonu olarak normalize edilmiş tepe alanlarının grafikleri çizdirildi.

450°C'lik tavlama sıcaklığı verdiği en yüksek doz yanıtı (response) nedeniyle çalışılacak tavlama sıcaklığı olarak seçildi. 450°C'lik tavlama sıcaklığında farklı tavlama sürelerinde elde edilen TL ışıma tepeleri eğriler çizdirilerek, bu eğrilerden 15 dakikalık tavlama süresi sonucunda okunan TL ışıma tepelerinin en yüksek doz tepkisi verdiği belirlendi.

Sonuçta, yapılacak çalışmada fluoritin, 450°C'de 15 dakika tavlandıktan sonra dozimetrik lüminesans özelliklerinin araştırılmasına karar verildi.

450°C'de 15 dakika tavlanan doğal fluorit (CaF_2) kristaline 0.004 Gy ile 10.368 kGy arasındaki değişik doz değerlerinin TL ışıma tepeleri araştırıldı ve tüm ışıma tepelerinin toplam alanlarının ve ışıma tepesi şiddetlerinin artan doz oranı ile 50 Gy'lik doz oranına kadar doğrusal olarak arttığı, 50 Gy'lik doz miktarının üzerindeki doz değerlerindeki artışın doğrusal olmadığı belirlendi.

Aynı doğal fluorit kristalinin üst üste binmiş tepelerinin ayrıştırılması CGCD metodu kullanılarak Topaksu ve Yazıcı tarafından yapılmış ve 6 ayrı ışıma tepesinin olduğu belirlenmiştir (Topaksu ve Yazıcı, 2007). Bu çalışmadan ve değişken doz oranları deneylerinden elde edilen verilerden yararlanılarak, 6 ışıma tepesinin verilen doz miktarının fonksiyonu olarak, TL şiddetleri grafiği logaritmik yatay ve düşey eksen kullanılarak çizdirildi.

Tüm TL tepelerinin 50 Gy'lık doza kadar doğrusal bir artış, 100 Gy'lık dozun üzerinde supralineer artış gösterdikleri ve P1+P2 TL tepesinin 1 kGy'lık dozdan itibaren, P3 ve P4+P5+P6 TL tepelerinin ise 10 kGy'lık dozdan itibaren doyuma ulaşmaya başladıkları belirlendi. Buna göre çalışılan fluorit örnekleri, verilen en düşük doz miktarı 0.04 Gy'lık bir radyasyon miktarını hassasiyetle kaydedebilmekte; kaydettiği en fazla 50 Gy'lık doz, güvenilir bir şekilde ölçülebilmektedir. Bu değerler verilirken 270°C civarındaki tepe eğrisi düşünülmüştür. Daha düşük sıcaklıklardaki tepeler solma (fading) nedeniyle dozimetrik amaçlı kullanım için uygun değildir.

450°C'de 15 dakikalık tavlama işleminden sonra doğal CaF_2 kristaline 48 Gy doz verilip, 1°C/s ile 10°C/s arasında değişen farklı ısıtma oranlarında sıcaklığın fonksiyonu olarak TL ışıma tepelerinin grafikleri çizdirildi. TL ışıma tepesi şiddetlerinin artan ısıtma oranı ile azaldığı ve TL ışıma tepelerinin de artan ısıtma oranı ile yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı gözlemlendi.

Farklı ısıtma oranlarından elde edilen TL ışıma tepelerinin, tepe yükseklikleri hesaplandı ve ısıtma oranlarının fonksiyonu olarak normalize edilmiş tepe yükseklikleri şiddeti grafiği çizdirildi. P1+P2 ve P4+P5+P6 tepelerine ait tepe yükseklik şiddetlerinin 1°C/s'den 10°C/s'ye kadar (1°C/s, 2°C/s, 3°C/s, 4°C/s ve 10°C/s) artan ısıtma oranı ile düşüş gösterdiği ve bu düşüşün, P1+P2 tepesi için ilk değerinin %23'ü kadar, P4+P5+P6 tepesi içinse ilk değerinin %18'i kadar olduğu belirlendi. P3'e ait tepe yükseklik şiddetinin, 4°C/s ısıtma oranına kadar düşüş gösterdiği, 10°C/s'lik ısıtma oranına doğru artış gösterdiği ve 10°C/s ısıtma oranına gelindiğinde ise ilk değerine geri döndüğü tespit edildi.

Fluoritin, TL ışıma tepelerinde 450°C'deki tavlama sıcaklığından 500°C ve 550°C'deki tavlama sıcaklıklarına geçildiğinde TL ışıma tepelerinde ani farklılıklar gözlemlendi. Bu tavlama sıcaklıklarında dozimetrik fluorit malzemesinin kristal yapısındaki değişikliklerin anlaşılması amacıyla XRD ve XRF analizleri yapıldı.

Doğal fluoritin, tavlınmamış, 500°C ve 550°C'de 1 saat tavlınmış üç ayrı kristalinin X-ışınları toz difraktometresi (XRD) ile analizleri yapıldı ve analizler sonucunda XRD spektrum grafikleri elde edildi.

XRD analiz sonuçlarından yararlanılarak bu üç kristalin kübik bir yapıya sahip olduğu tespit edilerek, kübik birim hücre parametreleri ve birim hücre

hacimleri hesaplandı. Ayrıca, bu üç kristalin XRD spektrumlarından elde edilen tepelerin açısı değerleri, şiddet parametreleri ve Miller indisleri hesaplanarak tablolar halinde sunuldu.

Çalışılan fluorit örneğinin, 500°C ve 550°C'lik tavlama sıcaklıklarında gösterdiği ani TL ışıma şiddeti değişikliklerinin, 500°C ve 550°C'deki tavlama işlemleri sırasında meydana gelen elektron tuzaklarındaki yeniden şekillenme ve yeni elektron tuzaklarının oluşması gibi sebeplerden meydana geldiği düşünülmektedir.

Doğal fluoritin, tavlınmamış, 500°C ve 550°C'de 1 saat tavlınmış üç ayrı kristalinin, X-ışını floresans spektrometresi (WD/XRF) ile analizleri yapıldı ve analizler sonucunda kristallerin yapısında bulunan elementlerin bulunma oranları yüzde olarak tablolar halinde sunuldu.

Tavlama yapılmadan alınan XRF analiz sonuçlarına bağlı olarak, CaF_2 kristallerinin % 0,1 hata ile % 99,7'sinin kalsiyum (Ca) ve fluor (F) elementlerinden, mineralin % 0.3'lük kısmı ise Demir (Fe), Silisyum (Si), Aliminyum (Al), Mangan (Mn), Magnezyum (Mg), Sodyum (Na), Bakır (Cu), Kükürt (S), Rubidyum (Rb), Strontiyum (Sr) ve Fosfor (P) elementlerinden oluştuğu belirlenmiştir. Kristalin yapısında bulunan elementlerin yüzde olarak dağılımı, % 86.0819 Kalsiyum (Ca), % 13.6183 Fluor (F), % 0.1081 Demir (Fe), % 0.0713 Silisyum (Si), % 0.0713 Aliminyum (Al), % 0.0254 Mangan (Mn), % 0.0251 Magnezyum (Mg), % 0.0083 Sodyum (Na), % 0.0080 Bakır (Cu), % 0.0077 Kükürt (S), % 0.0045 Rubidyum (Rb), % 0.0043 Strontiyum (Sr) ve % 0.0028 Fosfor (P) şeklindedir.

Çalışılan fluorit örneği 500°C'de 1 saat tavlandıktan sonra yapılan XRF analiz sonuçlarına göre, kristalin yapısında bulunan elementlerin yüzde olarak dağılımının, % 89.8081 Kalsiyum (Ca), % 9.9659 Fluor (F), % 0.0571 Demir (Fe), % 0.0578 Silisyum (Si), % 0.0329 Aliminyum (Al), % 0.0441 Mangan (Mn), % 0.0093 Magnezyum (Mg), % 0.0138 Sodyum (Na), % 0.0036 Kükürt (S), % 0.0049 Rubidyum (Rb) ve % 0.0024 Fosfor (P) şeklinde olduğu belirlenmiştir.

550°C'de 1 saat tavlandıktan sonra yapılan XRF analiz sonuçlarına göre, kristalin yapısında bulunan elementlerin yüzde olarak dağılımının, % 86.9359 Kalsiyum (Ca), % 12.8241 Fluor (F), % 0.0476 Demir (Fe), % 0.1224 Silisyum (Si), % 0.0080 Aliminyum (Al), % 0.0352 Mangan (Mn), % 0.0086 Magnezyum (Mg), %

0.0083 Sodyum (Na), % 0.0028 Kükürt (S), % 0.0053 Rubidyum (Rb) ve % 0.0018 Fosfor (P) şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, kristalin yapısında bulunan elementlerin her üç durumda da farklı yüzde değerlerine sahip olduğu, hatta Bakırın (Cu) tavlanmamış fluorit kristalinde belirli bir miktarda bulunduğu ancak 500°C ve 550°C’de tavlanmış parçalarında bulunmadığı görülmektedir. Bu farklılığın sebebi, fluorit kayacından üç ayrı parça alınarak analizlerin ayrı parçalar üzerinde yapılmasından kaynaklanıyor olabilir. Çalışmada kullanılan doğal fluoritin, farklı kesitlerinin farklı element içeriklerinden oluştuğu düşünülebilir. Sonuç olarak doğal olarak oluşmuş minerallerin yapılarında bulunan diğer elementler mineral içerisinde homojen bir dağılım göstermemektedirler. Bu nedenle fluorit kayacının herhangi iki farklı kesitinden alınan örnekler aynı safsızlıkta olmayabilirler.

Bu çalışmaya konu olan ve İç Anadolu Bölgesi’nde bulunan Kırşehir ilinden alınan doğal fluoritin (CaF_2), 450°C’de 15 dakika tavlandıktan sonra 50 Gy’lik doz miktarına kadar, 1°C/s ısıtma oranında termolüminesans (TL) ölçümleri yapılarak çok iyi bir termolüminesans dozimetre (TLD) olarak kullanılabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- ADIROVITCH, E.I., 1956. Journal de Physics Review 117, 451.
- AITKEN, M., BUSSEL, G., 1980. Thermoluminescence Dosimetry at 250⁰ C Using Natural Fluorite, Nuclear Instruments and Methods, Volume 175, Issue 1, September 1980, pp. 211-212.
- AITKEN, M.J., 1985. Thermoluminescence Dating, Academic Press, 351 p., Harcourt Brace Javanovich ; Publishers, Publication Date : 09/1986.
- AITKEN, M.J., 1985. Recent Advances in Thermoluminescence Dating, Radiation Protection Dosimetry 6, pp. 181-183.
- ALÇIÇEK M. C., KAZANCI, N., ŞEN, Ş., KAPPELMAN, J., ÖZKUL, M., 2006. The Oldest Turkish Hominin, 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Sözlü Bildiri, 20-24 Mart 2006.
- ATAY, Z., 2000. Karatepe Seramiklerinin Termolüminesans (TL) ve Optiksel Uyarılmayla Lüminesans (OSL) Yöntemleriyle Tarihlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Arkeometri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 52 sayfa, 2000.
- AZORIN, J., GUTIERREZ, A., NIEWIADOMSKI, 1986, Performance Tests of a CaSO₄:Dy Based Thermoluminescence Personal Dosemeter, Radiation Protection Dosimetry, 17 (1-4), pp. 53-56.
- BALOGUN, F.A., OJO, J.O., OGUNDARE, F.O., FASASI, M.K., HUSSEIN, L.A., 1999. TL Response of a Natural Fluorite, Radiation Measurements 30, pp. 759-763, 1999.
- BECKER, K., 1973. Solid State Dosimetry, CRC Press, 1973.
- BECQUEREL, H., 1885. Relations entre l'absorption de la lumiere et l'emission de la phosphorescence dans les composes d'uranium. Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences de Paris 101: 1252-1256.
- BEISER, A., 1995. Modern Fiziğin Kavramları, McGraw-Hill, Inc., pp. 334-336.
- BINDER, W., CAMERON, J. R., 1969. Dosimetric Properties of CaF₂ : Dy, Health Physics. 17(4):613-618, October 1969.

- BLANCHARD, F.N., 1967. Thermoluminescence of Synthetic Fluorite, *The American Mineralogist*, Vol. 52, pp. 371-379, March-April, 1967.
- BOS, A.J.J., 1993. 1993b Radial. Protec. Dosim, 47-41.
- BOS, A.J.J., 2007. Theory of Thermoluminescence, *Radiation Measurements* 41 (2007), S45-S56.
- BOS, A.J.J., DIELDORF, J.B., 1991. The Analysis of Thermoluminescence Glow Peaks in $\text{CaF}_2:\text{Tm}$, *Radiation Protection Dosimetry* 37, pp. 231-239.
- BRAUNLICH, P., 1979. *Thermally Stimulated Relaxation in Solids*, Springer-Verlag, Berlin.
- BRAUNLICH, P. (ed.), 1979. *Thermally Stimulated Relaxation in Solids. Topics in Applied Physics*, Vol. 37. Springer-Verlag, New York.
- CALDERON, T., KHANLARY, M.R., RENDELL, H.M. and TOWNSEND, P.D., 1992. Luminescence from Natural Fluorite Crystals, *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, Volume 20, Issue 3, July 1992, pp. 475-485.
- CAMERON, J. R., SUNTHARALINGAM, N., KENNEY, G. N., 1968. *Thermoluminescent Dosimetry*. University of Wisconsin Press, Madison, WI.
- CHEN, R., 1969. Glow Curves with General Order Kinetics, *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 116, Issue 9, pp. 1254-1257, September 1969.
- DANIELS, J. M., 1953. The Effect of Interactions in a Paramagnetic on the Entropy and Susceptibility, *proc. phys. Soc.* LXVI, 8-A.
- DANIELS, J. M., SCHOLES, G., and WEISS, J., 1953. *Nature* 171, 1153 (1953).
- DERIBERE, M., 1936. Les Applications Pratiques de la Luminescence-Fluorescence-Phosphorescence, *Rev. Sci.*, 76: 382, (1936).
- DEWERD, L. A., 1999. Characteristics of radiation detectors for diagnostic radiology, *Applied radiation and isotopes*, Vol. 50, Issue: 1, Page: 125.
- DEWERD, L. A., STOEBE, T. G., 1972. Thermoluminescent properties of solids and their applications, *Am. Sci.* 60, 303-310.

- DEWERD, L. A., WHITE, R. P., STANG, R. G., STOEBE, T. G., 1976. The relation between deformation and thermoluminescent defect centers in LiF (TLD 100). J. Appl. Phys. 47, 4231–4233.
- DHOPTE, S.M., MUTHAL, P.L., KONDAWAR, V.K., MOHARIL, S.V., 1992. Luminescence in $\text{CaF}_2:\text{Eu}$, Journal of Luminescence, Volume 54, Issue 2, September-October 1992, pp. 95-101.
- DURAN, M.N., 2002. Orta Anadolu Fluoritlerinin Termolüminesans (TL) Özellikleri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 64 sayfa, 2002.
- DU FAY, C. F., 1726. The Notes of the Observations About Luminescence, Hist. De Acad. Roy. De Sci. De Paris, 5: 78, (1726).
- DU FAY, C. F., 1738. The Notes of the Observations About Luminescence, Hist. De Acad. Roy. De Sci. De Paris, 3: 96, (1738).
- EGE, A., WANG, Y., TOWNSEND, P.D., 2007. Systematic Errors in Thermoluminescence, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 576 (2007), pp. 411-416.
- ELTHOLTZ, J.F., 1667. Thermoluminescence of Fluorite, Omelins of Handbook Inorganic Chemistry, Part A-L, 62.
- EL KOLALY, M. A., SUNTA, C. M., GANGULY, A. K., 1981. Effect of temperature on X-ray excited luminescence of natural CaF_2 and its implication in thermoluminescence, Journal of Luminescence, Volume 23, Issues 3-4, September-October 1981, Pages 423-431.
- ENGİN, B., 1996. Doğal kalsit Minerallerinin Termolüminesans ve ESR Yöntemleriyle İncelenmesi ve Tarihlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği anabilim Dalı, Doktora Tezi, 1996.
- FOWLER, W. B. (ed.), 1968. Physics of Color Centers, Academic Press, New York and London.
- GARLICK, G.F.J., GIBSON, A.F., 1984. Proceedings of the Physical Society 20, p. 124.

- GARTIA, R. K., INGOTOMBI, S., SING, T. S. S., MAZUMDAR, P. S., 1991. On the determination of the activation energy of a thermoluminescence peak by the two-heating-rates method, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 24, pp. 65-69, 1991.
- GOLDSHMIDT, V.M., 1906. The Pyroluminescence of Quartz, *Frosh. Viedenskelsk, Krist.* 5.
- HAERING, R.R., ADAMS, E.N., 1960. *Physical Review Online Archive*, 117, 451.
- HALPERIN, A., BRANER, A.A., 1960. *Physical Review Online Archive*, 117, 408.
- HASAN. F. A., Thermoluminescence as a function of dose in natural Calcium Fluoride: A proposed mathematical model, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Volume 12, Issue 1, August 1985, Pages 175-180.
- HEINZELMANN, M., KRATZ, H., 1986. The Response of Thermoluminescence Dosimeters to Beta Radiation in Different Radiation Fields, *Radiation Protection Dosimetry*, 17(1-4), pp. 77-81.
- HERSCHEL, A. S., 1964. State of meteoric science, *Monthly notices of the Royal Astronomical Society*, 24: 133, (1864).
- HOROWITZ, Y. S., 1984. *Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry*, Vol. I-III. CRC Press, Boca Raton, FL.
- HSU, P. C., WANG, T. K., 1986. On the Annealing Procedure for $\text{CaF}_2:\text{Dy}$, *Radiation Protection Dosimetry* 16:253-256 (1986).
- HUFTON, A. P. (ed.), 1984. Practical aspects of thermoluminescence dosimetry. *Proc. of Hospital Physicists Association Conf.* 43. HPA, London, England.
- JASSEMNEJAD, B., MCKEEVER, S.W.S., ABBUNDINI, A.J., MATHUR, V.K., BROWN, M.D., 1986. Optical Absorbtion and Thermoluminescence in Calcium Fluoride Doped with Manganese and Cerium, *Radiation Protection Dosimetry*, 17(1-4), pp. 469-473.
- KAFADAR, V. E., 2004. Investigation Of Dosimetric And Thermoluminescence Properties of $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ (TLD-900) And Quartz Crystals, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, (2004).

- KATHURIA, S. P., SUNTA, C. M., 1979. Kinetics and trapping parameters of thermoluminescence in LiF TLD-100-dependence on dose, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 12, 1979.
- KHARITA, M.H., STOKES, R. and DURRANI, S.A., 1995. TL and PTTL in Natural Fluorite Previously Irradiated with Gamma Rays and Heavy Ions, Radiation Measurements, Volume 24, Issue 4, October 1995, pp. 469-472.
- KIRIKKAYA, E.B., 2002. Kocaeli (Kullar-Yaylacık) Fayından alınan Kuvars Örneklerinin Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL) ve Termolüminesans (TL) Yöntemleri ile İncelenmesi ve Tarihlendirilmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 100 sayfa, Temmuz 2002.
- KITIS, G., TUYUN, J. W. N., 1998. A simple method to correct for the temperature lag in TL glow-curve measurements J. Phys. D: Appl. Phys. 31 (1998) 2065–2073.
- KLASENS, H. A., 1946. Centres in zinc sulphide phosphors, Journal: Nature, Vol. 158, p. 306, London.
- LATYSHEV, A. N., OVCHINNIKOV, O. V., SMIRNOV, M. S., 2004. Mechanism of Crystal Phosphor Luminescence, Journal of Applied Spectroscopy, Pages: 243-247, 2004.
- LEUTE, U., 1987. Archaeometry: an introduction to physical methods in archaeology and the history of art, VCH Verlagsgesellschaft mbH . Distribution, USA and Canada, VCH Publishers, 1987.
- LEVY, P.W., 1985. Nuclear Tracks, Radiation Measurement, 10, 547.
- LIND, S.C. ve BARDWELL, D. C., 1923. Chemical Action Produced by Radon, Journal of the American Chemical Society, 11:2585, (1923).
- LYMAN, T., 1932. Notes on the Luminescence of Glass and Fluorite, Phys. Rev., 40:578-582, (1932).
- MAHESH, K., WENG, P. S., FURETTA, C., 1989. Thermoluminescence in Solids and its Applications. Nuclear Technology Publishing, Ashford, Kent, England.

- MANRIQUE, J., ANGULO, S., PARDO, M.P., GASTESI, R., DE LA CRUZ, A., PEREZ, A., 2005. Thermoluminescence Spectra of Natural CaF_2 Irradiated by 10 MeV Electrons, *Radiation Measurements* 41 (2006), pp. 145-153.
- MCKEEVER, S.W.S., 1985. *Thermoluminescence of Solids*, Cambridge University Press, 1985.
- MCKEEVER, S. W. S., MOSCOVITCH, M., TOWNSEND, P. D., 1993. *Thermoluminescence Dosimetry Materials: Properties and Uses*. Nuclear Technology Publishing, Ashford, Kent, England.
- MCKEEVER, S.W.S., MOSCOVITCH, M. and TOWNSEND, P.D., 1995. *Dosimetry Materials : Properties and Uses* (Ashford : Nuclear Technology Publishing), England.
- MCKEEVER, S.W.S., CHEN, R., 1997. Luminescence models, *Radiation Measurements*, vol. 27, no. 5/6, pp. 625-661.
- MCKINLAY, A. F., 1981. *Thermoluminescence Dosimetry*, HPA Medical Physics Handbooks, Vol. 5. Adam Hilger, Bristol.
- MERZ, J. L., PERSHAN. P. S., 1967. Charge Conversion of Irradiated Rare-Earth Ions in CaF_2 . II. Thermoluminescent Spectra, *Phys. Rev.* 162, pp. 235 - 247 (1967).
- MOTT, N. F., 1948. Slip at Grain Boundaries and Grain Growth in Metals, H. H. Wills Physical Laboratory, Bristol, January 1948.
- MTA., 1979. Türkiye Fluorit Envanteri, M.T.A.Yayını, No:176, Ankara. 32 s.
- NAMBI, K. S. V., RAO, S. M. D., CHOUGAONKAR, M. P., 1982. Luminescence and field emission associated with heating and cooling of pyroelectric materials: Pyroelectroluminescence, *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* (1982), Volume 10, Issues 1-2, 1985, Pages 243-247.
- OGUNDARE, F.O., BALOGUN, F.A., HUSSEIN, L.A., 2003. Kinetic Charecterization of the Thermoluminescence of Natural Fluorite, *Radiation Measurements*, Volume 38, Issue 3, June 2004, pp. 281-286.
- OGUNDARE, F.O., BALOGUN, F.A., HUSSEIN, L.A., 2005. Heating Rate Effects on the Thermoluminescence of Fluorite, *Radiation Measurements* 40 (2005), pp. 60-64.

- OLDENBERG, H., 1705. Thermoluminescence of Fluorites, Phil. Trans. Abdr., 3, 345.
- OLDENBERG, H., 1676. Notes on the Nature, Phil. Trans. Roy. Soc. London, 11 : 867, (1676).
- OLKO, P., 1998. Calcium Fluoride, CaF_2 :Tm (TLD-300) as a Thermoluminescence One Hit Detector, Radiation Measurements, Volume 29, Issue 3-4, June 1998, pp. 383-389.
- ÖZÜŞ, A. S., YAMAN, S., 1986. Akkaya (Feke-Adana) Fluorit-Barit Mineralleşmesi ve Köken Sorunları, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, C. 29, 35-42, Ağustos 1986.
- PANCZER, G., GAFT, M., REISFELD, R., SHOVAL, S., BOULON, G. and CHAMPAGNON, B., 1998. Luminescence of Uranium in Natural Apatites, Journal of Alloys and Compounds, Vol. 275-277, July 1998, pp. 269-272.
- POLYMERIS, G.S., KITIS, G., TSIRLIGANIS, N.C., 2006. Correlation Between TL and OSL Properties of CaF_2 :N, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 251 (2006), pp. 133-142.
- PRADHAN, A.S., 2002. Effect of Heating Rate on the Responses of CaF_2 :Cu, CaF_2 :Tm, CaF_2 :Dy and CaF_2 :Mn, Radiation Protection Dosimetry, 100(1-4), pp. 289-292.
- ROMERO, H., 1995. Calcium Fluoride, Department of Physics University of Cincinnati, Ohio, December 8, 1995.
- RANDALL, J.T., WILKINS, M.H.F., 1945. Proceedings of the Royal Society A-184.
- RANOGAJEC, M., 2002. Thermoluminescence Dosimetry-Application in Environmental Monitoring, Radiation Safety Management, Vol. 2, No. 1, pp. 2-12. September 20, 2002.
- RASHEEDY, M.S., 1993. On the general-order kinetics of the thermoluminescence glow peak. J. Phys.: Condens. Matter 5, 633–636.
- RASHEEDY, M.S., NISHIMURA, F., ICHIMORI, T., 1991. On the Thermoluminescence Emission Spectra of CaF_2 :Tm, Nuclear Instruments

- and Methods in Physics Research Section B : Beam Interactions with Materials and Atoms, Vol. 61, Issue 1, July 1991, pp. 67-71.
- RUTHERFORD, E., 1913. Radioactive Substances and Their Radiations, Cambridge University press, Cambridge, England, (1913).
- SCHAYES, R., BROOKE, C., KOZLOWITZ, I., L'HEREUX, M., 1967. In: Proc. 1st Int. Conf. On Luminescence Dosimetry, Stanford. CONF 650637, AEC Symposium series 38, 1967, (NTIS, Springfield, VA).
- SCHULMAN, J. H., COMPTON, W. D., 1962. Color Centers in Solids, Pergamon Press, New York.
- SEELEY, M. A., 1975. Thermoluminescence Dating in Its Application Archaeology: a Review, J. Archaeol. Sci., 2 : 17-45, 1975.
- SEITZ, F., 1939. An Interpretation of Crystal Luminescence, Transactions of the Faraday Society, 1939, 35,74.
- SEITZ, F., 1940. Modern Theory of Solids, McGraw-Hill Book Company, Inc., London, 1940.
- SOHRABI, M., ABBASISAR, F. and JAFARIZADEH, M., 1999. Dosimetric Characteristics of Natural Calcium Fluoride of Iran, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 84, Nos. 1-4, pp. 277-280.
- SOLAK, S., 2003. $\text{CaF}_2:\text{Dy}$, Al_2O_3 , $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, LiF:Mg , Ti Kristallerinin Tuzak Parametrelerinin Termoluminesans Işıma Eğrileri Analiziyle Belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 102 sayfa, 2003.
- STEINMETZ, H., GISSER, A., 1936. The Spectrum of Thermoluminescence in Fluorite, Naturwissenschaften, 24, 172.
- STOEBE, T. G., DEWERD, L. A., 1985. Role of hydroxide impurities in the thermoluminescent behavior of lithium fluoride. J. Appl. Phys. 57, 2217–2220.
- STOKES, S., 1998. Luminescence Dating Applications in Geomorphological Research, Geomorphology 29 (1999), pp. 153-171.

- SUNTA, C.M., 1985. Thermoluminescence of Natural CaF_2 and Its Applications, Danish Atomic Energy Commission Research Establishment Riso, Riso Report No : 49, pp. 392-409.
- TOKTAMIŞ, H., YAZICI, A.N., TOPAKSU, M., 2007. Investigation of the Stability of the Radiation Sensitivity of TL Peaks of Quartz Extracted from Tiles, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 262 (2007), pp. 69-74.
- TOPAKSU, M., YEĞİNGİL, Z., ARIK, R., SAKARYA, N., 2005. Kubad Abad'a (Konya) ait Selçuklu Seramik ve Çinilerinin Termolüminesans (TL) Tarihlendirilmesi, Yapısının Belirlenmesi ve Teknolojisinin Açıklanması, Türk Fizik Derneği 23. Uluslararası Fizik Kongresi (Sözlü Bildiri), Muğla Üniversitesi, Muğla, Türkiye, 13-16 Eylül 2005.
- TOPAKSU, M., YAZICI, A.N., 2007. The Thermoluminescence Properties of Natural CaF_2 after β -Irradiation, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 264 (2007), pp. 293-301.
- TROWBRIDGE, J., BURBANK, J. E., 1898. Thermoluminescence of natural substances, Am. J. Sci. Ser., 4(5): 55, (1898).
- TÜRETKEN, B., 1984. Comparison of symbolic computation techniques for problems inelectromagnetics, Conference Proceedings 2000 International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory,
- WANG, H., LIN, S.W., HSU, P.C., 1995. A Study of the Main Glow Peak for $\text{CaF}_2:\text{Mn}$, Applied Radiation and Isotopes, Vol. 46, Issue 9, September 1995, pp. 869-873.
- WANG, T.K., 1986. On The Annealing Procedure for $\text{CaF}_2:\text{Dy}$, Radiation Protection Dosimetry, 16(3), pp. 253-256.
- WEINBERG, W. H., MERRILL, R. P., 1970. Atomic and Molecular Diffraction of Helium and Deuterium from a Tungsten Carbide Surface Characterized by Low-Energy Electron Diffraction, Phys. Rev. Lett. 25, pp. 1198-1201 (1970).

- WICK, F. G., 1924. A Spectroscopic Study of the Cathodo-Luminescence of Fluorite, *Phys. Rev.* 24(3): 272-282, (1924).
- WIEDEMANN, E., SCHMIDT, G. C., 1895. Ueber Luminescenz, *Ann. Phys. Chem. Neue Folge*, 54:604, (1895).
- WINTLE, A. G., 1993. Luminescence dating of aeolian sands: an overview, *Geological Society, London, Special Publications*; 1993; v. 72; p. 49–58.
- YAMAN, S., 1985. Bayındır fluorit filonlarının nadir toprak elementleri jeokimyası, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 25, 39–45 (1985).
- YAZICI, A. N., BEDİR, M., SÖKÜCÜ, A.S., 2007. The Analysis of Dosimetric Thermoluminescent Glow Peak of $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ after β -Irradiation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 259 (2007), pp. 955-965.
- YAZICI, A. N., HACIİBRAHİMOĞLU, M. Y., BEDİR, M., 2000. The Effect of Various Experimental Parameters on Glow Peaks and Trapping Parameters of $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ (TLD-200) Crystals, *Turk. J. of Phys.*, 24, 623-649, (2000).
- YAZICI, A. N., ÖZTÜRK. Z., 2001. Analysis of The Isolated Glow Peak 6 in $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ (TLD-200) Following Post-Irradiation Annealing at 145°C , *Nuc.Inst.&Meth.Sec.B*, 174, 499-506, (2001).
- YAZICI, A. N., SOLAK, S., CHEN, R., YEĞİNGİL, Z., 2002. The Analysis of Thermoluminescent Glow Peaks of $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ After β -Irradiation, *J. Physics D : Applied Physics*, 35, 2526-2535(2002).
- YAZICI, A. N., TOKTAMIŞ, H., 2007. Thermoluminescent Dosimetric Characteristics of Annealed Quartz, *Radiation Effects & Defects in Solids*, Vol. 162, No. 6, June 2007, pp. 439-448.
- ZIMMERMAN, D. W., RHYNER, C. R., CAMERON, J. R., 1966. Thermal annealing effects on the thermoluminescence of LiF. *Health Phys.* 12, 525–531.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Mersin'in Tarsus ilçesinde dünyaya geldim. İlköğrenimimi 1995 yılında Gülek İlköğretim Okulunda, ortaöğrenimimi 1998 yılında Devlet Parasız Yatılı olarak okuduğum Trabzon Lisesi'nde tamamladım. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fatih Eğitim Fakültesi Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi (OFMAE) Bölümü Fizik Öğretmenliği Programından (lisansla birleştirilmiş yüksek lisans) yüksek lisans derecesi ile mezun oldum. Şuan Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans öğrenimimi sürdürmekteyim.