

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128203

KOCAELİ (KULLAR-YAYLACIK) FAYINDAN ALINAN KUVARS
ÖRNEKLERİNİN OPTİK UYARMALI LÜMİNESANS (OSL) VE
TERMOLÜMİNESANS (TL) YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ
VE TARİHLENDİRİLMESİ



DOKTORA TEZİ

ESMA BULUŞ KIRIKKAYA

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Anabilim Dalı: Fizik

DANIŞMANLAR:1. Prof.Dr. Taner OSKAY
2. Prof.Dr. Ay Melek ÖZER

128203

TEMMUZ 2002

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOCAELİ (KULLAR-YAYLACIK) FAYINDAN ALINAN KUVARS
ÖRNEKLERİNİN OPTİK UYARMALI LÜMİNESANS (OSL) VE
TERMOLÜMİNESANS (TL) YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ
VE TARİHLENDİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Esma BULUŞ KIRIKKAYA**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 02 Temmuz 2002

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ağustos 2002

1. Tez Danışmanı

2. Tez Danışmanı

Üye

Prof. Dr. Taner OSKAY

Prof. Dr. Ay Melek ÖZER

Prof. Dr. Şahinde DEMİRCİ

(.....)

(.....)

(.....)

Üye

Üye

Doç. Dr. Erşen Veli

Yrd. Doç. Dr. Nezih Köprübaşı

(.....)

(.....)

TEMMUZ 2002

ÖZET

Kocaeli (Kullar-Yaylacık) Fayından Alınan Kuvars Örneklerinin Optik Uyarmalı Lüminesans Yöntemi (OSL) ve Termolüminesans (TL) Yöntemleriyle İncelenmesi ve Tarihlendirilmesi

Esma Buluş Kırıkkaya

Anahtar kelimeler: tarihlendirme, lüminesans, OSL, TL, fay, deprem, Kocaeli

Yaşadığımız ülkenin sıkça deprem üreten bir yer olması nedeniyle oluşan depremlerin periyotlarının hesaplanması, deprem öncesi gereken önlemlerin alınması açısından önemlidir. Bu çalışmada, Kocaeli depreminin oluşturduğu yüzey fayının Kullar-Yaylacık bölgesinde açılan bir hendekten alınan sediman örneklerinde, Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) ve Termolüminesans (TL) yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak yaş tayinleri yapılmıştır.

Örneklerin tarihlendirilmesinde en önemli bileşenlerden biri, bir yıl içinde almış oldukları doz miktarının belirlenmesidir. Örneklerdeki ^{238}U , ^{232}Th miktarları Alfa cihazı ile ^{40}K miktarı Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi ile belirlenmiş ve böylece bunlardan gelen alfa ve beta katkılarının etkisi hesaplanmıştır. Gama ve kozmik ışıklardan gelen katkı ise $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetreleri kullanılarak bulunmuştur.

Örneklerin OSL ölçümleri için kullanılan cihaz, kuvars için tipik tarihleme sinyali olan 325°C sıcaklık pikinin boşalması ile elde edilen lüminesans sinyaline göre ayarlıdır. Bu nedenle daha düşük sıcaklıktaki tuzakların bu sinyale katkıda bulunmasını engellemek amacıyla bütün OSL ölçümleri 220°C de 5 dakika ön ısıtma işlemi uygulandıktan sonra elde edilmiştir.

Örneklerin OSL sinyalinin gün ışığına karşı duyarlılığının ne kadar yüksek olduğu incelenmiş ve örneklerin alınması ve ölçümler sırasında gün ışığından şiddetle kaçınılmıştır.

Örneklerin laboratuvar ortamında bekletildikleri süre içinde OSL sinyallerinde bir azalmanın olup olmadığı araştırılmış ve anormal sönüm denen bu olayın örneklerin yaşında bir hata oluşturacak kadar gerçekleşmediği gözlenmiştir.

Örneklerin tanecik büyüklükleri arttıkça ısı ya da ışık işleminden etkilenmeleri azalacağından tarihleme işlemleri için orta büyüklükteki taneler ($60\text{-}90\ \mu\text{m}$) kullanılmıştır.

Örneklerin OSL büyüme eğrilerindeki artış, üstel bir artıştır. OSL büyüme eğrileri oluşturulurken, doz ekleme (MAAD) ve yenileme (SAR) gibi iki farklı yöntem uygulanmıştır. Bulunan paleodoz değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Yıllık doz ve paleodoz değerleri kullanılarak 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 bulunmuştur.

Aynı örneklerin TL yöntemi ile tarihlendirilmesinde ise tipik tarihleme sinyali olan 325°C pikinin dozla artışı ile elde edilen büyüme eğrilerinden eşdeğer doz değerleri bulunmuştur. Örneklerin düşük doz değerlerine karşı oluşturulan büyüme eğrilerinde doğrusallıktan sapma belirlediği için eşdeğer doz bulunurken bu sapmadan kaynaklı düzeltme faktörü, 1, bulunarak buna eklenmiş ve böylelikle paleodoz değerleri hesaplanmıştır. Örneklerin TL yöntemiyle bulunan yaşları, 11115 ± 829 yıl, 9213 ± 687 yıl ve 7997 ± 596 yıldır.

Örneklerin TL ve OSL yaşları karşılaştırıldığında bulunan değerlerin her iki yöntemin hata sınırları içinde yer aldığı görülmektedir.

ABSTRACT

The Examination and Dating of the Quartz Samples Taken From the Fault of the Kocaeli (Kullar-Yaylacık) Through Optically Stimulated Luminescence (OSL) and Thermoluminescence (TL) Methods

Esmâ Buluş Kırıkkaya

Key words: Dating, luminescence, OSL, TL, fault, earthquake, Kocaeli

As the Country we live in is a place where earthquakes happen very frequently, it is important to take pre-earthquake measures. In this study, age determination of the sediment samples taken from a trench opened in the Kullar-Yaylacık region formed by the Kocaeli earthquake was carried out using Optically Stimulated Luminescence (OSL) and Thermoluminescence (TL) methods.

One of the most important components in the dating of the samples is to establish the dose amounts they received in one year. The ^{238}U and ^{232}Th amounts in the samples were determined by Alpha device, ^{40}K amount by Atomic Absorption Spectroscopy and therefore the effect of the alpha and beta additives coming from them was estimated. The additive coming from the gamma and cosmic rays, however, was found out through $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dosimeter.

The device used for OSL measurement of the samples is adjusted to the luminescence signal received through the release of the 325°C glow peak which is a typical dating signal for quartz. Therefore, in order to prevent the low heat traps from adding to these signals, all OSL measurements were obtained after applying a pre-heating of 220°C for five minutes.

The increase in the sensitivity of the OSL signal of the sample against the day light was examined and exposure to the daylight was strictly avoided during sampling and measuring.

It was searched whether there happens to be a decrease in the OSL signal during time they were kept in the laboratory medium, and was observed that this event which is also known as anomalous fading was not to the extent to form a default in the age of the samples.

As the samples were less effected by the heat or light process due to the rise in the particle size, particles of medium-size ($60\text{-}90\ \mu\text{m}$) were used for dating applications.

The increase in the OSL growth curve is an exponential increase. Two different methods as dose adding (MAAD) and regeneration (SAR) were implemented when establishing the OSL growth curves. The paleodose values found were close to each other. By using the annual dose and paleodose values, the ages of the samples were found to be 11311 ± 843 year, 9263 ± 691 year, 8219 ± 613 year with the MAAD method, and 11546 ± 861 year, 9441 ± 704 year and 8341 ± 622 year with SAR method.

In dating same sample using TL method, however, the dose rates were the equivalents of the growth curves obtained with the dose increase of the 325°C glow peak which is the typical dating signal. The paleodose values were found by adding the correction factor, I, to the equivalent dose, which was formed by the supralinearity established in the growth curves against the dose values. The age of the samples were found to be, 11115 ± 829 year, 9213 ± 687 year and 7997 ± 596 year through the TL method.

When comparing the TL and OSL ages of the samples it was seen that both values were within the error limits.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tüm aşamalarında, yakın ilgi ve desteğini gördüğüm değerli hocalarım Prof. Dr. Ay Melek Özer ve Prof. Dr. Taner Oskay'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Örnek hazırlama ve OSL ölçümlerinde, yoğun bir şekilde laboratuvarlarından yararlanmamı sağlayan ODTÜ Fizik Bölümüne teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma boyunca OSL sistemi ile ilgili her sorunda başvurduğumuz ve bilgi ve deneyimlerini bizimle paylaşan Dr. Enver Bulur'a termoluminesans ölçümlerini aldığım ANAEM de başta merkez müdürü Doç.Dr. İsmail Ercan olmak üzere çalışma boyunca yardımlarını gördüğüm Dr. Birol Engin ve Hayrünisa Demirtaş'a TL dozimetrelerinin ölçümlerinde Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümünden Yrd.Doç.Dr. Niyazi Meriç'e, TLD dozimetrelerini bize sağlayan Almanya GSF enstitüsünden Doç. Dr. Yeter Göksu'ya içtenlikle teşekkür ederim.

Örneklerin X-ışını kırınımı spektrumlarının alınmasındaki yardımları için ODTÜ Metalurji Bölümünden Prof. Dr. Ali Çulfaz'a, potasyum tayini ve nem tespiti öncesi örnek hazırlama işleminde ODTÜ Kimya Bölümünden yardımlarını aldığımız Saliha Pirdoğan ve Osman Yassıtaş'a, potasyum tayinini gerçekleştiren Prof. Dr. Yavuz Ataman'a, çalışma boyunca kimyasal işlemlerle ilgili bilgi ve önerilerine başvurduğumuz Prof. Dr. Şahinde Demirci'ye, karanlık laboratuvarlarda, neredeyse insan yüzü görmeden geçirdiğim günler boyunca moral kaynağım olarak gördüğüm, ODTÜ eğitim Fakültesi Doktora öğrencisi Neşe Zaim ve çalıştığımız sistemle ilgili karşılaştığımız sorun ve 'keşif'leri paylaştığımız ODTÜ arkeometri yüksek lisans öğrencisi Göze Akoğlu'na, Ankara'daki çalışmalarımı destekleyen Dekanımız Prof. Dr. Servettin Bilir'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İlk günden beri beni böyle bir çalışma için yüreklendiren, uzun ve zorlu bu çalışma boyunca ilgi, paylaşım, sabır ve sevgisini her an hissettiğim sevgili eşim Hüseyin Kırıkkaya' ya tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiii

BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
----------------------	---

BÖLÜM 2. OPTİK UYARMALI LÜMİNESANS ve TERMOLÜMİNESANS

OLAYLARI	4
----------------	---

2.1. Lüminesans Hakkında Genel Bilgi	4
--------------------------------------------	---

2.2. Termolüminesans (TL)	7
----------------------------------	---

2.3. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL).....	8
-------------------------------------------	---

2.3.1. OSL ve TL mekanizması.....	10
-----------------------------------	----

2.4. Kusurlar ve Tuzaklar.....	12
--------------------------------	----

2.4.1. Tünel olayı.....	15
-------------------------	----

2.4.2. Yeniden birleşme olayları.....	16
---------------------------------------	----

2.5. OSL ve TL Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	17
-----------------------------------------------------	----

2.5.1. OSL duyarlılığı ve kararlılığı	19
---------------------------------------------	----

2.5.2. Aynı örneğin ardarda OSL ölçümleri	20
-------------------------------------------------	----

2.5.3. Örneklerin kısmi uyarılması	20
------------------------------------------	----

2.5.4. OSL tuzaklarının kaynağı.....	21
--------------------------------------	----

2.5.5. Doz-cevap eğrisi	21
-------------------------------	----

BÖLÜM 3. JEOLojİK VE ARKEOLOjİK ÖRNEKLERDE TARİHLEME

YÖNTEMLERİ.....	23
-----------------	----

3.1. Giriş.....	23
-----------------	----

3.2. OSL ve TL Yöntemleriyle Tarihleme	23
----------------------------------------------	----

3.2.1. Paleodozun OSL ve TL yöntemleri ile bulunması	25
------------------------------------------------------------	----

3.2.1.1. Doz ekleme yöntemi.....	27
----------------------------------	----

3.2.1.2. Yenileme (regenerasyon) yöntemi.....	29
3.2.2. Yıllık dozun bulunması	30
3.2.2.1. İlgili radyoaktif elementler	30
3.2.2.2. Yıllık doz hızı	32
3.3. Yaşı Etkileyen Faktörler	34
3.3.1. Ön ısıtma işlemi.....	34
3.3.2. Anormal sönüm (anomalous fading) ve tünel olayı	35
3.3.3. Örneklerin hazırlanması	35
3.3.4. Kozmik ışınlardan gelen doz- hızı.....	36
3.3.5. Işık koşulları	36
3.3.6. Minerallerin ayrılması	36
3.3.7. Örneklerin disk üzerine yerleştirilmesi.....	37
3.3.8. Saflandırma.....	38
3.3.9. Uyarma türleri.....	38
3.3.10. Radon gazı kaçağı.....	39
3.3.11. Nem miktarı	40
3.3.12. Normalizasyon.....	40
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	41
4.1. OSL Sistemi	41
4.1.1. OSL cihazı	41
4.1.2. Alfa sayma sistemi.....	45
4.1.3. Beta ışın kaynağı	46
4.2. OSL Sistemi İçin Kalibrasyon İşlemleri	47
4.2.1. OSL cihazının kalibrasyonu	47
4.2.2. Alfa cihazının kalibrasyonu.....	49
4.2.3. Beta kaynağının kalibrasyonu	51
4.2.3.1. Al ₂ O ₃ :C Dozimetrelerinin özellikleri	52
4.3. TL Okuyucu	53
4.4. Yıllık Dozun Bulunması	56
4.4.1. Topraktaki nemin tesbiti.....	56
4.4.2. TLD dozimetreleriyle yıllık gama radyasyonunun saptanması	57
4.4.3. Alfa sayımı	59
4.4.3.1. Radon gazı kaçağı.....	60

4.4.4. Yıllık beta doz hızı	60
4.4.4.1. Potasyum tayini	60
4.4.5. Yıllık dozun bulunması	62
4.5. Örnek Alımı ve Hazırlanması	62
4.5.1. Paleosismoloji ve hendek açma yöntemi	63
4.5.2. Örneklerin alınması	64
4.5.3. Örneklerin hazırlanması	66
4.5.3.1. Örneklerin disk üzerine yerleştirilmesi	66
4.6. OSL ve TL Ölçüm Sonuçları	66
4.6.1. Örneklerin X-ışını kırınım spektrumları	67
4.6.2. Optik Uyarmalı Lüminesans ölçümleri	67
4.6.2.1. Gün ışığının OSL şiddetine etkisi	69
4.6.2.2. Anormal sönüm	69
4.6.2.3. Uyarılma süresinin etkisi	70
4.6.2.4. Ön ısıtma sıcaklığının OSL duyarlılığına etkisi	71
4.6.2.5. Tanecik büyüklüğünün etkisi	72
4.6.2.6. OSL büyüme eğrileri	74
4.6.3. Termolüminesans ışımaya eğrileri	77
4.6.3.1. TL ışımaya piklerinde anormal sönüm	79
4.6.3.2. TL büyüme eğrilerinde doğrusallıktan sapma (Supralinearity)	79
4.6.3.3. TL büyüme eğrileri	82
4.6.3.4. OSL ve TL yöntemleri ile paleodozun ve yaşın bulunması	85
4.6.3.5. Hata hesapları	87
TARTIŞMA ve SONUÇ	89
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	101

SİMGELER ve KISALTMALAR

a	: Alfa zayıflatma katsayısı
b	: Beta zayıflatma katsayısı
C	: Karbon
Co	: Kobalt
D_c	: Kozmik doz hızı
D_α	: Alfa doz hızı
D_β	: Beta doz hızı
$D_{\beta K}$: Potasyumdan kaynaklı beta doz hızı
$D_{\beta Th}$: Toryumdan kaynaklı beta doz hızı
$D_{\beta U}$: Uranyumdan kaynaklı beta doz hızı
D_γ	: Gama Doz hızı
E	: Enerji
Gy	: Gray
k.b	: Keyfi Birim
k	: Boltzman sabiti
K	: Potasyum
Ky	: Kilo Yıl
P	: Paleodoz
P_l	: Işımalı geçiş
P_s	: Işımasız geçiş
Sr	: Stronsiyum
T	: Sıcaklık
Th	: Toryum
T_l	: Ortalama lüminesans ömrü
U	: Uranyum
α	: Alfa
α_{Th}	: toryumdan gelen alfa sayımı
$\alpha_{U,Th}$: Uranyum ve toryumdan gelen alfa sayımı
α_U	: Uranyumdan gelen alfa sayımı
β	: Beta
γ	: Gama
η	: Lüminesans verimi

μC : Microcoulomb
 μm : Mikrometre
 τ : Ortalama ömür

ANAEM: Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

ED : Eşdeğer Doz

ESR : Electron Spin Resonance

GSF : Gesundheit Institut für Strahlenschutz

HT : Yüksek Gerilim (High Tension)

IR : Infrared

LED : Light Emitting Diode

MAAD : Multiple Aliquot Additive Dose

ODTÜ : Ortadoğu Teknik Üniversitesi

OSL : Optik Uyarmalı Lüminesans (Optically Stimulated Luminescence)

PM : Fotoçoğaltıcı (Photomultiplier)

SAR : Single Aliquote Regeneration

TL : Termolüminesans

TLD : Termolüminesans Dozimetresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	a) floresans ışımaya b) fosferasans ışımaya(Chen and McKeever, 1997).....	5
Şekil 2.2.	TL ışımaya eğrisi; sıcaklık değişimi ile termolüminesans ışımaya şiddeti arasındaki ilişki.	8
Şekil 2.3.	1200 yıl önce son olarak ışığa maruz kalmış kuvars tanelerinden elde edilen tarihleme sinyali.....	9
Şekil 2.4.	OSL ve TL işleminin enerji-seviyesi diyagramı (Aitken 1985, 1998).....	11
Şekil 2.5.	Kristallerde elektronik geçişler.....	14
Şekil 2.6.	Bir yarıiletken veya yalıtkan kristalde iletkenlik ya da valans bandı içermeyen elektron geçişi (Tünel) olayı.....	15
Şekil 2.7.	i) TL ve ii) OSL deki geçişlerin enerji diyagramı; (1) sığ tuzak, (2) TL ve OSL tuzakları, (3) derin tuzak ve (4) ışımaya yeniden birleşme merkezi (Botter-Jensen 2000).....	18
Şekil 2.8.	Gama dozuna karşılık Potasyum feldspatta elde edilen OSL ile TL in karşılaştırılması (Botter-Jensen et al. 1991).....	22
Şekil 3.1.	Paleodoz hesabı için doz ekleme metodu (Aitken 1985, Ikeya 1993).....	27
Şekil 3.2.	Dozla büyüme eğrilerinin gösterimi (Aitken 1985).....	28
Şekil 3.3.	Lüminesans ışımaya şiddetinin yapay ışınlama dozuna bağlı olarak doyuma ulaşması.....	29
Şekil 3.4.	Yenileme yöntemi ile paleodoz bulma (Aitken 1985).....	29
Şekil 3.5.	Herbir küre sedimandaki tanelerin çevreden gelen radyasyonlardan etkilenme aralığını gösterir (Aitken 1998).....	30
Şekil 4.1.	OSL cihazının şeması.....	42
Şekil 4.2.	a) PM tüpünün etkinliği (Aitken 1998).....	44
Şekil 4.2.	b) Halojen lambalı uyarma için uygun bulunan filtrenin geçirgenliği (Botter-Jensen and Duller 1992).....	45
Şekil 4.3.	Alfa kaynağında örnek sayımının gerçekleştiği yer.....	46
Şekil 4.4.	Beta kaynağının şeması(Aitken 1998).....	47
Şekil 4.5.	OSL cihazının HT voltajının kalibrasyon eğrisi.....	48
Şekil 4.6.	OSL cihazının eşik voltajı kalibrasyon eğrisi.....	49
Şekil 4.7.	Alfa cihazının HT voltajının kalibrasyon eğrisi.....	50
Şekil 4.8.	Alfa cihazının eşik voltajı kalibrasyon eğrisi.....	50
Şekil 4.9.	Al ₂ O ₃ :C dozimetresinin TL piki.....	53
Şekil 4.10.	Termolüminesans okuyucudaki temel birimler.....	55
Şekil 4.11.	Al ₂ O ₃ :C Dozimetrelerinin kalibrasyon eğrileri.....	58
Şekil 4.12.	Örneklerin alındığı hendeğin stratigrafisi.....	65
Şekil 4.13.	Örneklerin XRD spektrumları.....	68
Şekil 4.14.	Gün ışığının OSL şiddetine etkisi a) ilk 10 dakikada b) 24 saatte.....	69
Şekil 4.15.	Örneklerin yapay ışınlama sonucu elde edilen OSL şiddetlerinin zamanla değişimi.....	70
Şekil 4.16.	Örnek 1 için elde edilmiş OSL sinyalindeki azalma eğrisi.....	71
Şekil 4.17.	OSL şiddetinin ön ısıtma sıcaklığına karşı duyarlılığı.....	72
Şekil 4.18.	OSL şiddetinin ön ısıtma süresine duyarlılığı.....	72

Şekil 4.19.	Tanecik boyutunun OSL şiddetine etkisi.....	73
Şekil 4.20.	Paleodozun tanecik boyutuyla değişmesi.....	74
Şekil 4.21.	Örnek 1'in OSL büyüme eğrisi.....	75
Şekil 4.22.	Örnek 2'nin OSL büyüme eğrisi.....	75
Şekil 4.23.	Örnek 3'ün OSL büyüme eğrisi.....	76
Şekil 4.24.	Örnek 1 in OSL-SAR yöntemi ile büyüme eğrisi.....	76
Şekil 4.25.	Örnek 2'nin OSL-SAR yöntemi ile büyüme eğrisi.....	77
Şekil 4.26.	Örnek 3'ün OSL-SAR yöntemi ile büyüme eğrisi.....	77
Şekil 4.27.	Örneklerin a) siyah cisim ışınması, b) doğal, c) yapay TL ışınma eğrileri.....	78
Şekil 4.28.	Örneklerde 80 Gy lik yapay ışınlama sonucu TL ışınma piki şiddetinin zamanla değişimi.....	79
Şekil 4.29.	Örnek 1 için düzeltme faktörünün bulunması, a) TL büyüme eğrisindeki sapma, b) düzeltilmiş TL büyüme eğrisi	80
Şekil 4.30.	Örnek 2 için düzeltme faktörünün bulunması, a) TL büyüme eğrisindeki sapma, b) düzeltilmiş TL büyüme eğrisi	81
Şekil 4.31.	Örnek 3 için düzeltme faktörünün bulunması, a) TL büyüme eğrisindeki sapma, b) düzeltilmiş TL büyüme eğrisi	81
Şekil 4.32.	TL ışınma eğrileri ; a) siyah cisim ışınması b) doğal c) doğal+20 Gy d) doğal+40Gy e) doğal+60 Gy f) doğal+80 Gy g) doğal+100 Gy h)doğal+120Gy.....	83
Şekil 4.33	Örnek 1'in TL büyüme eğrisi.....	84
Şekil 4.34.	Örnek 2'nin TL büyüme eğrisi.....	84
Şekil 4.35.	Örnek 3'ün TL büyüme eğrisi.....	85

RESİMLER DİZİNİ

Resim 4.1.	OSL cihazının görünümü.....	42
Resim 4.2.	Örneklerin yerleştirildiği tabla.....	43
Resim 4.3.	Filtreli lamba modülü.	43
Resim 4.4.	Termolüminesans okuyucunun görünümü.....	55
Resim 4.5.	Kullar-Yaylacık mevkiinde açılan hendekte örneklerin alındığı izlerden bir görüntü.....	65



TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1.	Radyoaktif tarihlendirme yöntemleri (Göksu 1982, Aitken 1990).....	24
Tablo 3.2.	Toryum, uranyum ve potasyumun radyoaktif bozunma şeması (Aitken, 1990).....	31
Tablo 4.1.	Beta kaynağının kalibrasyon işlemi için dozimetrelerden alınan doz değerleri.....	52
Tablo 4.2.	Çalışılan üç örnekteki nem yüzdelerinin bulunması, 1: boş krozelerin kütlesi, 2: kroze ve nemli örnek kütlesi, 3: kroze ve kuru örnek kütlesi, 4: örnek içindeki nem kütlesi, 5: örnek içindeki nem kütlesi, 6: örnek içindeki nem yüzdesi.....	57
Tablo 4.3.	TLD dozimetrelerinin kalibrasyon eğrileri için elde edilen doz-cevap değerleri.....	57
Tablo 4.4.	TLD dozimetrelerinin gömüldüğü yerden çıkarıldıktan sonra alınan TL sayımları ve yıllık çevre dozuna çevrilmesi.....	59
Tablo 4.5.	Alfa sayma cihazından alınan toryum ve uranyum sayımları.....	60
Tablo 4.6.	Her üç örnekteki % K ve % K ₂ O miktarları ile uranyum, toryum ve potasyumdan gelen beta doz hızı.....	62
Tablo 4.7.	Çalışılan örneklerde, alfa, beta ve gama yıllık dozları ile yıllık doz hızı değerleri.....	62
Tablo 4.8.	Örneklerin paleodoz , yıllık doz hızı ve yaş değerleri.....	86
Tablo 4.9.	Yıllık doz bileşenleri ile ilgili tipik değerler (Aitken, 1985).....	88
Tablo 4.10.	Bulunan OSL ve TL yaşlarında hata analizi.....	88

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Organik ve inorganik malzemelerin tarihlendirilmesinde kullanılacak çeşitli tarihlendirme yöntemleri vardır. Bunlardan en çok kullanılanı Radyokarbon Tarihlendirme Yöntemi olarak bilinir. Radyokarbon tarihleme, organik malzemelerin yaşını bulmakta kullanılan bir yöntemdir. Ancak çökellerin birikme zamanının direk olarak belirlenmesi yani tarihlendirilmesi için organik olmayan malzemelerle de çalışılabilen daha yeni ve farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunların başında Lüminesans Yöntemler gelir. Bir maddenin enerji soğurmasıyla uyarılan ve kararsız hale geçen atom veya molekülleri, kazandıkları bu enerjiyi atarak temel hale dönmek ister. Bu sırada sistemden ışık yayılması gözlenir. Bu ışık yayılması olayına genel olarak Lüminesans denir. Mineral yapısında çeşitli nedenlerle tuzaklanmış elektronların ışıkla uyarılarak çıkarılması Optik (ışık) Uyarmalı Lüminesans (OSL), ısıyla uyarılarak çıkarılması ise Termolüminesans (TL) yönteminin temelini oluşturur. Bunlardan özellikle OSL yöntemi ile tarihlendirmenin avantajları olduğu çeşitli çalışmalarla belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda , bu yöntemi önemli kılan özelliğin, ışığa maruz kalmanın çökel yığılmalarda saati sıfırlaması olduğu anlaşılmıştır (Huntley et al. 1985, Godfrey-Smith et al. 1988, Rhodes 1988, Aitken 1992, Aitken 1998).

Lüminesans işlemi, geçen yüzyılın ortalarından beri insanların maruz kaldığı toplam radyasyonun saptanması için radyasyon dozimetrisinde ve arkeolojik alanların ve jeolojik sedimanların tarihlendirilmesinde kullanılmaktadır. Toplanan dozun hesaplanması ya da malzemenin tarihlendirilmesi geçmişte bir zamanlar lüminesansın sıfırlanmış olmasına bağlıdır. Sıfırlanma işlemi radyasyon dozimetreleri ile çanak, çömlek, biriket ve porselen gibi arkeolojik malzemelerde ısıtma ile, jeolojik örneklerde ise gün ışığına maruz kalmayla gerçekleşir (Botter-Jensen 2000).

1940 'lı yıllarda ışığa çok duyarlı dedektör olarak fotokatlandırıcı tüpün ortaya çıkmasıyla termolüminesans yöntemi jeolojik örneklerde mineral tanımlamaları için

kullanılmaktaydı. 1950' li yılların başından itibaren ise Wiskonsin Üniversitesi'nde Farington Daniels'in çalışmaları sonucu yöntem, maruz kalınan nükleer radyasyonu ölçmekte kullanılmaya başlanmıştır (Daniels et al. 1953). Arkeolojik çanak ve çömlekler üzerinde yapılan termoluminesans çalışmaları ilk kez Bern ve Kaliforniya üniversitelerinde görülmüştür (Kennedy and Knopff 1960). Isı uyarmalı lüminesans yöntemi 1960'lı yıllarda, arkeolojik örneklerin tarihlendirilmesinde kullanılmaya başlanmıştır (Aitken et al. 1964, Ichikawa 1965, Mazess and Zimmerman 1966, Ralph and Han 1966, Aitken 1968, Mejdahl 1969). Bugün dünyanın her yanında sayısı 50' ye varan laboratuvarlarda TL yöntemiyle arkeolojik ve jeolojik tarihlendirme çalışmaları yapılmaktadır.

Işık uyarmalı lüminesans yöntemi ile yapılan ilk tarihlendirme denemeleri Huntley et al. (1985) tarafından yapılmıştır. Yapılan bu ilk çalışmalarda görünür ışık olan yeşil lazer ışığı kullanılmış, daha sonra diğer yeşil ışık kaynakları ve infrared (kızılötesi) kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraki çalışmalar kuvarsın OSL özelliklerini belirlemeye ve dozimetri ve tarihleme için bir araç olarak bu yöntemi geliştirmeye yönelmiştir (Aitken and Smith 1988, Aitken 1990). İlk olarak feldispatın tarihlendirilme çalışması, Tallinn'de bulunan Estonya Jeoloji Enstitüsünde Hütt et al. (1988) tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu çalışmalar Berger (1986), Poolton ve Bailiff (1989), Wintle (1990), ve Duller (1996) tarafından sürdürülmüş ve geliştirilmiştir.

Fay hareketlerinin periyotlarının saptanması depremlerin tahminiyle ilgili en önemli konudur. Ikeya et al. (1982) bu konudaki ilk çalışmayı ESR (Elektron Spin Rezonans) yöntemiyle gerçekleştirmiştir. Daha sonra Huntley and Clague (1996) iki tsunami olayı için OSL'nin başarılı uygulamalarını rapor etmiştir. Geçmişte meydana gelen depremlerin kronolojisinin oluşumuna yardım eden faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- (i). tsunami dalgalarıyla oluşan kum çökelleri,
- (ii). volkanik aktiviteleri tarihlemede kullanılan lava benzer sarımsı verimli toprak çökelleri,
- (iii). alüvyon çökeller.

Bütün bu etkenler çevresel etkilerin kaydedildiği döküman olarak algılanabilir. Arkeolojik açıdan düşünülürse, yerleşim alanı (sit alanı) üzerindeki çökel katmanları bir tarih kitabının yapraklarına benzer ve bu katmanların tarihlendirilmesi paleolitik arkeoloji yönünden çok önemlidir (Aitken 1998) .

Bu Araştırmada kullanılan malzeme yerkabuğunda bol bulunan kuvars mineralidir (ağırlıkça % 12.6) ve 1970 lerin başından beri yoğun bir biçimde TL tarihlemesinde (Aitken 1985) kullanılmıştır. Huntley et al. (1985), termal uyardan çok optiksel uyarma kullanılarak kuvarstan lüminesans sinyali elde etmenin kolaylığını göstermiştir.

Bu çalışmada Kocaeli depreminde oluşan faylarda açılan bir hendekden alınmış sediman örneklerinden elde edilen kuvarsın OSL yöntemi ile incelenmesi ve TL yöntemi ile karşılaştırmalı olarak yaş tayinin yapılarak fay hareketliliğinin tarihlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Tezin 2. bölümünde OSL ve TL olaylarının mekanizmaları, katıların içindeki radyoaktif katkılardan ve çevresindeki radyasyondan kaynaklanan etkilerin meydana getirdiği değişikliklerden bahsedilecektir.

Tezin 3. bölümünde arkeolojik ve jeolojik tarihlendirme yöntemlerinden OSL ve TL yöntemleri anlatılarak, arkeolojide ve jeolojide kullanılan ve radyoaktif çekirdek bozunumu ile ilişkili tarihleme yöntemleri içinde yer aldıklarından bu sınıfa giren diğer tarihleme yöntemleri tablo halinde verilecektir.

Tezin 4. bölümünde yaş tayininde kullanılan ölçü sistemleri ile OSL sisteminde kullanılan cihazların kalibrasyonu, yıllık doz miktarının ölçülmesinde kullanılan yöntemler ve yıllık dozun bulunması, örnek hazırlama işlemleri ve OSL ölçümlerini etkileyen faktörler, TL ve OSL yöntemleri ile örneklerin paleodoz ve yaş değerlerinin hesaplanması anlatılacaktır.

Tezin son bölümünde ise sonuçların değerlendirilmesi yapılarak ileri çalışmalar için olası önerilerden söz edilecektir.

BÖLÜM 2. OPTİK UYARMALI LÜMİNESANS ve TERMOLÜMİNESANS OLAYLARI

Bu Bölümde lüminesans hakkında genel bilgiler verilerek OSL ve TL olaylarının mekanizması anlatılacaktır.

2.1. Lüminesans Hakkında Genel Bilgi

Herhangi bir ışık emisyonu, öncelikle, atom ya da molekülün düşük enerji seviyesinden yüksek enerji seviyesine uyarılmasına bağlıdır. Bu uyarılma enerjisi akkor teldeki gibi ısısal, ya da floresan tüpteki gibi ısısal olmayan bir kaynaktan gelebilir. Bir maddenin enerji soğurmasıyla uyarılan ve kararsız hale geçen atom veya molekülleri, kazandıkları bu enerjiyi vererek temel hale dönmek ister. Bu sırada sistemden ışık yayılması gözlenir. Bu ışık yayılması olayına genel olarak Lüminesans denir.

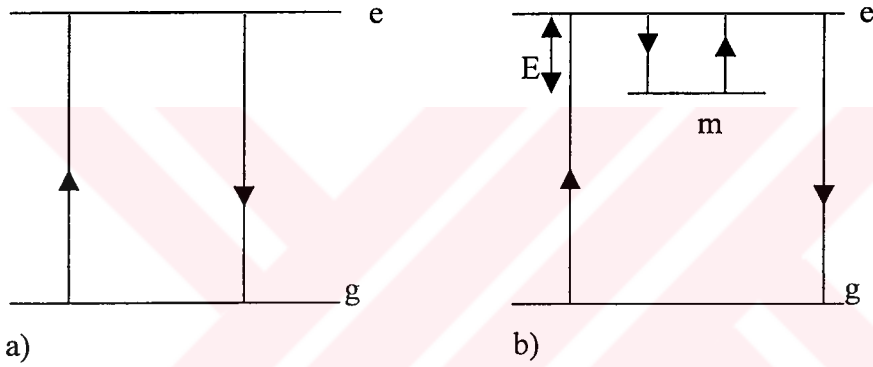
Lüminesans olayları uyarıcı etkene göre adlandırılır. Uyarma;

- . radyoaktif ışınlarla oluyorsa Radyolüminesans,
 - . katod ışınları ile oluyorsa Katodolüminesans,
 - . elektrik enerjisiyle gerçekleşiyorsa Elektrolüminesans,
 - . kristallerin kırılma ve parçalanması ile oluyorsa Tribolüminesans,
 - . bir fosfor veya organik molekülün kimyasal tepkimesi sonucu açığa çıkan enerjinin ışınmasıyla oluyorsa Kemilüminesans,
 - . biyolojik maddelerin yaydığı ışınmayla oluyorsa Biyolüminesans,
 - . bir cismin yanması sırasında alev içindeki ışınmayla oluyorsa Kandolüminesans,
 - . katıları ısıtarak uyarma yolu ile ortaya çıkan ışık yayılmasıyla oluyorsa Termolüminesans, ve
 - . Işıkla oluyorsa Optik Uyarmalı Lüminesans
- adını alır.

Ayrıca lüminesans, uyarma zamanına göre de iki alt gruba ayrılabilir.

- . Eğer lüminesans ışınması, uyarmayla başlayıp uyarma zamanı olan 10^{-8} saniye boyunca devam ederse floresans (Şekil 2.1.a),
- . uyarma kesildikten sonra (10^{-8} s'den sonra) lüminesans ışınma bir müddet daha devam ederse fosforesans (Şekil 2.1.b) adını alır (Chen and McKeever 1997).

Şekil 2.1. a) elektronun temel seviyeden (ground state, g) uyarılmış seviyeye (excited state, e) geçişi sırasında soğurduğu enerjinin floresans, Şekil 2.1 b) ise uyarılmış seviyeden yarıkararlı seviyeye (metastable state, m) geçişte elektronun soğurduğu enerjinin fosforesans olarak yayıldığını göstermektedir.



Şekil 2.1. Işıma türleri a) floresans ışınma b) fosforesans ışınma (Chen and McKeever, 1997)

Bu şekilde gecikmeli olarak gözlenen fosforesans olayında yarıkararlı seviyede elektronun geçirdiği süreye, ortalama ömür (τ) denir. Ortalama ömür

$$\tau = s \exp(E/kT) \quad (2.1)$$

eşitliği ile verilir (Aitken 1985). Burada s frekans faktörü, E ise yarı kararlı enerji seviyesinden uyarılmış seviyeye geçişteki enerji farkı (tuzak derinliği), k Boltzman sabiti, T ise fosforesansın görüldüğü sıcaklıktır. 2.1 eşitliğinden de görüldüğü gibi fosforesans olayı sıcaklığa üstel olarak bağlıdır.

Lüminesans mekanizması için en önemli faktör elektronların enerji durumlarıdır. Tepkime kinetiği bakımından en basit durum, elektronun yüksek bir seviyeye

uyarılması, ancak bağı olduğu atom veya molekülü terketmemesidir. Bu duruma, özellikle çözeltili içindeki organik moleküllerde veya gaz fazında, bazan da, kristallerdeki ışımaya merkezlerinde rastlanır. Bu durumda, serbest elektron ve dolayısıyla fotoiletkenlik görülmez. Uyarılma ve emisyon aynı atom veya molekülde, yani aynı ışımaya merkezinde olur. Birim zaman ve hacimde meydana gelen ışımalar, uyarılan elektronların derişimi ile orantılıdır (Akpınar 1972).

Uyarılan elektron bulunduğu yeri terkederse ya serbest hale geçer (fotoiletkenlik), ya da herhangi bir tuzakta yakalanır. Elektron serbest hale geçtiğinde herhangi bir elektron boşluğu ile birleşebilir. Elektronların boşluklarla ışımaya suretiyle yeniden birleşmesi serbest elektronların veya elektron boşluklarının sayısı ile orantılıdır (Akpınar 1972). Elektron ve boşluklar istatistik bir dağılım gösterirler. Tuzak, elektronun yakalandıktan sonra temel seviyeye inmesinin yasak olduğu ya da çok az olası olduğu bir enerji seviyesidir. Yarı kararlı tuzakta tuzaklanmış elektronların ortalama ömrü olan τ , sıcaklığa üstel olarak 2.1 denklemi ile bağlıdır. Buna göre belli bir ortam sıcaklığı T_0 da E ve T_0 değerlerinin belirlediği çok küçük τ değerleri için lüminesans ışımaya kolaylıkla gözlenebilir. Yeterince derin tuzaklar için, $E \gg kT_0$ olur, dolayısıyla τ çok büyük olarak kalır. Bu durumda elektron yarıkararlı tuzak seviyesinde sonsuza kadar tuzaklanmış olarak kalır. Tuzaklanan bu elektronların tuzaktan kurtulma hızı,

$$\frac{dn}{dt} = -n/\tau \quad (2.2)$$

çok küçük olacaktır. Burada n tuzaktan kurtulan elektron sayısıdır. Bunun fiziksel anlamı, oda sıcaklığında veya daha düşük sıcaklıklarda bu tuzak ile ilgili bir lüminesans ışımaya gözlenmezken, ortam sıcaklığının artırılması ile

$$I(t) = n/\tau \quad (2.3)$$

biçiminde lüminesans bir ışımaya elde edilebilir. Burada $I(t)$ t anındaki lüminesans şiddetidir. 2.2 ve 2.3 denklemleri kullanılarak,

$$I(t) = I_0 \exp(-t/\tau) \quad (2.4)$$

eşitliği bulunur. Burada I_0 , $t=0$ anındaki ışınım şiddetidir. T_0 ortam sıcaklığı artırıldıkça elektronların tuzaklarda kalma süresi τ azalır. Tuzaklardan elektronlar kurtulup yeniden birleşme yaptıkça ışınım şiddeti önce artar sonra tuzağın boşalması ile lüminesans şiddeti azalmaya başlar ve sıcaklığa bağlı ışınım şiddeti eğrisi pik şeklinde oluşur. Lüminesans, ısıyla sağlanmış olduğundan bu olaya Termolüminesans (TL) denir.

2.2. Termolüminesans (TL)

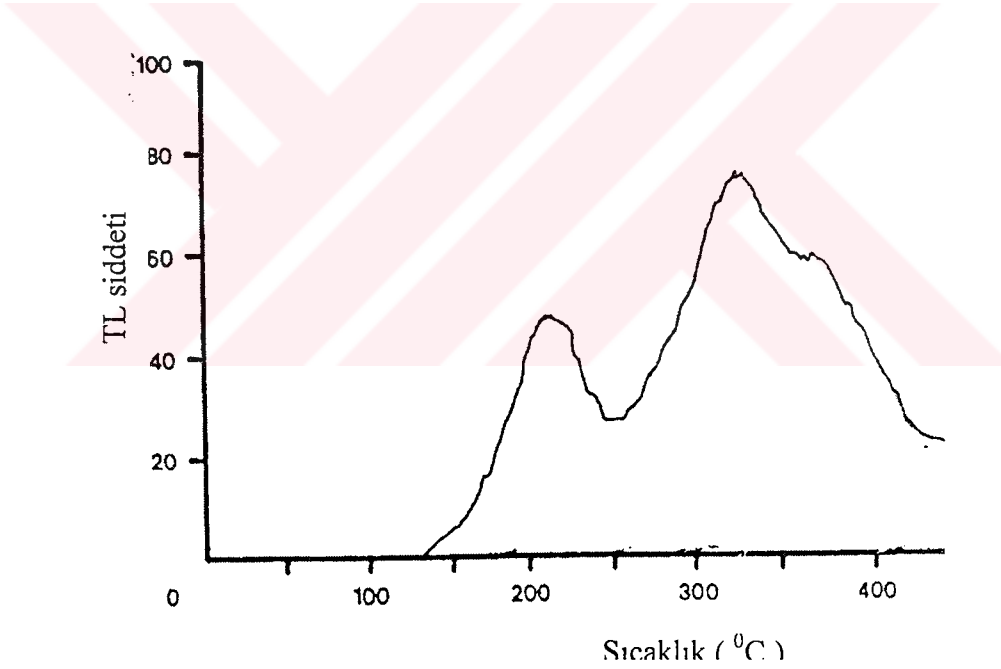
Termolüminesans (TL) olarak bilinen Isı Uyarımlı Lüminesans yöntemi, 1950'lerin başından beri nükleer radyasyon dozunun ölçülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Daniels et al. 1953). Bu çalışmaları 1960'ların başından itibaren arkeolojik (Aitken et al. 1964, Aitken 1968, Mejdahl, 1969), 1980'lerden itibaren de jeolojik (Wintle and Huntley, 1980) tarihleme çalışmaları takip etmiştir. Termolüminesans tarihlemede kullanılan teknik ve yöntemler Aitken (1985) tarafından özetlenmiştir.

Termolüminesans, genellikle çalışılan örneğin belli bir sıcaklığa sabit bir hızla ısıtılmasıyla gözlenir ve yayılan lüminesans sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Karakteristik TL sinyali 'ısı eğrisi' (glow curve) olarak adlandırılır. Örnek içindeki elektron tuzakları ile ilgili olarak farklı sıcaklıklarda ayrı ayrı pikler meydana gelir. Kristal yapıdaki kusurlar bu tuzaklardan sorumludur. Bir elektron tuzağı olarak davranan negatif iyon boşluğu tipik bir tuzaktır. Tuzaklanmış bir elektron kristaldeki ısıl titreşimlerle çıkarılabilir. Sıcaklık yükseldikçe bu titreşimler güçlenir ve çıkarılma olasılığı artar. Bazı elektronlar tuzaklanmış hollerle yeniden birleşerek TL ışınımı yayarlar. Bir sediman örneğinden elde edilen ısı eğrisi Şekil 2.2 de gösterilmiştir. Şekilde farklı elektron tuzaklarından sorumlu sıcaklık pikleri açıkça görülmektedir.

Bir TL ısı eğrisi düzgün; piksiz devam edebilir. Bunun anlamı bir olasılıkla, ısı eğrisinin farklı düzeylerdeki tuzaklardan açığa çıkan elektronların oluşturduğu birbirini örten pikler içermesi olabilir. Elektronların derin tuzaklardaki ömrü, sığ tuzaklardakinden daha fazladır. Normalde 200°C den daha düşük sıcaklıklarda ısı

eğrisi veren tuzaklardaki elektronlar, çevre sıcaklık koşullarında uzun süre kalmaları durumunda bu tuzaklardan çıkarılabileceğinden, dozimetre için yararlı değildir (Aitken 1985). Dozimetre için 300⁰C ya da daha yüksek sıcaklıklarda oluşan kararlı ısı eğrisi uygundur. Ancak bazı maddeler için oda sıcaklığında, yüksek sıcaklıktaki ısı piklerinde anormal (beklenmeyen) sönüm gözlenenebilir. Bu durum kuvantum mekaniğindeki tünel olayı ile açıklanabilir (Wintle 1973). TL ölçümlerinde bir başka karmaşık durum ise termal sönmedir. Kuvars ve feldispattaki bazı yüksek sıcaklık pikleri termal sönme işlemine maruz kalır, yani yüksek sıcaklıklarda ışımaz yeniden birleşme olasılığı artar (Wintle 1975).

TL ışımaya ısıl uyarılma sonunda gözlenir, ancak gözlenen ışık incelenen maddenin yapısına, içindeki ve çevresindeki radyoaktif maddelerden dolayı almış olduğu radyasyon dozuna bağlıdır.

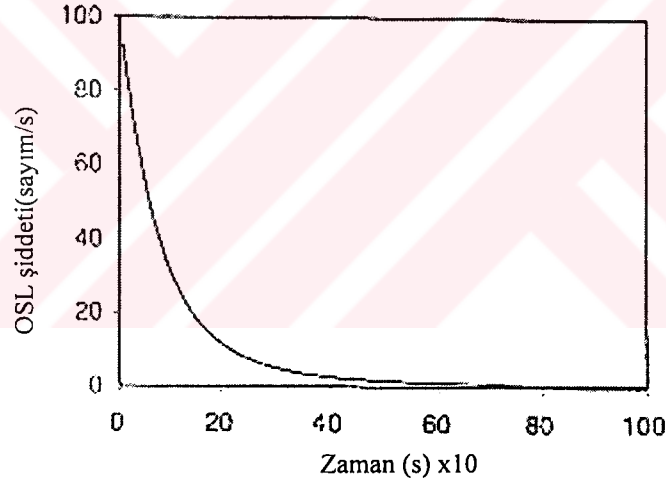


Şekil 2.2. TL ışımaya eğrisi; sıcaklık değişimi ile termolüminesans ışımaya şiddeti arasındaki ilişki.

2.3. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL)

Optik Uyarmalı Lüminesans, kristal içindeki elektron tuzaklarından ışık yoluyla çıkarılan elektronlar ile meydana gelir. Bu tuzaklar TL pikleriyle ilgili tuzaklarla

aynı ya da farklı olabilir. Tuzaklardaki elektron miktarı ve OSL şiddeti kristalin aldığı radyasyon dozuyla ilişkilidir. Yeniden birleşme sırasında yayılan OSL, uyarma ışığından farklı bir spektral bölgede ölçülür. Fiziksel olarak OSL'nin temeli TL'inkine çok yakındır. TL sinyali ısıtma sırasında farklı tuzak seviyelerini gösteren birkaç sıcaklık pikli eğri olarak gözükürken, OSL sinyalinin de tuzaklanmış elektronların çıkarılmasıyla azaldığı gözlenir. Bu, OSL bozunma eğrisini verir. OSL nin TL'ye göre avantajı oda sıcaklığında ya da ona yakın sıcaklıklarda ölçümlerinin yapılmasıdır. Bu durum üzerinde çalışılan örneğin daha az zarar görmesini sağlar. Ayrıca OSL, tuzaklanmış elektron miktarının yalnızca bir bileşeni olan ışığa çok duyarlı olan tuzakları ölçer. Jeolojik tarihlemelerde bu son derece önemlidir. Çünkü bu bileşenin birikme ya da gömü öncesi taşınma sırasında boşalması (resetlenme-sıfırlanma) kuvvetle muhtemeldir. Şekil 2.3. doğal sedimanter kuvars örneklerden elde edilmiş tipik bir OSL bozunum eğrisini göstermektedir.



Şekil 2.3. 1200 yıl önce son olarak ışığa maruz kalmış kuvars tanelerinden elde edilen tarihleme sinyali (Aitken 1998).

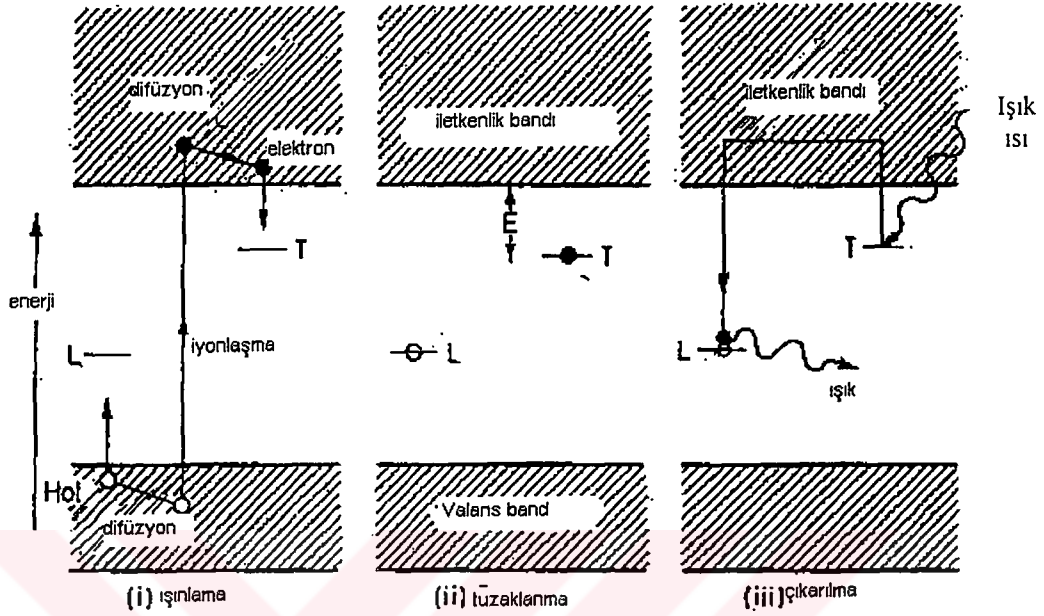
Tarihleme uygulamalarında OSL yi ilk tanımlayan Huntley et al. (1985) sedimanter kuvarası esas almış ve argon lazeri (514 nm) kullanarak OSL eğrisini elde etmiştir. Daha sonraki çalışmalar tarihleme ve dozimetre için kullanılacak OSL tekniğinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır (Aitken and Smith 1988, Aitken et al. 1989, Aitken 1990, Godfrey-Smith et al. 1988, Rhodes 1988). Hütt at al. (1988) feldispat kristalini esas almış OSL eğrisini elde etmek için infrared (IR) ışığını kullanmaya başlamış ve bu çalışmayı diğer çalışmalar izlemiştir (Poolton and Bailiff 1989,

Spooner and Franks 1990 Botter-Jensen et al. 1991, Bulur 1996, Botter-Jensen 1997).

2.3.1. OSL ve TL mekanizması

Optik uyarmalı lüminesans mekanizması tartışmaları için en uygun başlangıç, enerji seviyesi diyagramı olabilir (Şekil 2.4.). Verilen tuzağın enerji derinliği, E, onun etkisini gösterir. Geçen süre içerisinde örneğin kristal örgüsündeki titreşimlerle serbest hale geçmekten kurtulabilen tuzak elektronları, ancak yeterli derinlikte olan tuzaklardakilerdir. Isı ya da ışık yoluyla tuzaklardan çıkarılan elektronlar bir yeniden birleşme merkezini yakalayınca kadar kristal içinde yayılırlar. Difüzyonda geçen süre çok kısadır ve yeniden birleşme daha da az bir sürede görünür. Yeniden birleşme merkezi ışığın emisyonunu açığa çıkaran lüminesans merkezlerinden biridir. Bu olay, ısıyla ya da ışıkla tuzaklardan kurtulma işlemine göre TL ya da OSL adını alır. Lüminesansın rengi lüminesans merkez tipinin bir özelliğidir. Merkezin etkili olması için elektron noksanlığı anlamında 'hole' içermek yoluyla aktive edilmiş olması gerekir. Bu aktivasyonlar nükleer radyasyonlar sonucunda oluşabilir (Aitken 1998). Emisyon sırasında yayılan ışık tuzaklanmış elektron sayısı ile orantılıdır. Bunun nedeni de nükleer radyasyon akısının emilmesiyle toplanan enerjidir. Şekil 2.4 (i)'deki T ve L, nükleer radyasyon akısı sonucu oluşan iyonlaşma nedeniyle ortaya çıkan tuzak ve lüminesans merkezlerini gösterir. Şekil 2.4 (ii)'de örneğin geçirdiği uzun süre boyunca depolama işlemi gösterilmektedir. Boşalmaların ihmal edilmesi örneğin ölçülen yaşının gerçek yaşından farklı olmasına neden olur. Yaş, iletkenlik bandının altındaki tuzağın E derinliğiyle saptanır. Tarihlendirme için en azından birkaç milyon yıl olan yaşlarda, yeterince derin (~ 1.6 eV) tuzaklarla ilgilenilir. Şekil 2.4 (iii) ise uygun dalgaboylu ışığın ya da yeterli ısının örneğe ulaşmasıyla elektronların tuzaktan çıkarılıp, bunlardan bazılarının lüminesans merkezlerine ulaşmasını göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi bu merkezlerdeki birleşme işlemiyle OSL ya da TL ışınımı yayılır. OSL işleminde Elektronlar lüminesans merkezlerinin dışındaki merkezlerde de (söndürücü merkezler) yeniden birleşebilir, aynı tip bir tuzak tarafından ya da başka tip bir tuzağa yeniden yakalanabilirler. TL işlemi uyarmanın ısıyla yapılması dışında aynıdır. Sıcaklık nedeniyle kristal örgünün yeterince termal titreşime

ulaşması sonucu tuzaklardan elektron çıkarılır. Bu nedenle derin tuzaklar için yüksek ısılar gerekir.



Şekil 2.4. OSL ve TL işleminin enerji-seviyesi diyagramı (Aitken 1985, 1998).

İncelenen her mineralde üretilen TL ya da OSL sinyali, mekanizmanın ayrıntılarını çok iyi açıklayamaz. Hatta mekanizma incelenen mineralin bütün örnekleri için aynı olsa da örneklerin tümünün radyasyona aynı duyarlılığı gösterdiği söylenemez. Bu nedenle paleodoz hesaplarında işlemde kesinlik olması için her örnek ölçülmelidir. Yukarıda verilen mekanizma, var olan tuzakların doldurulması olarak tanımlanır. Tuzakların sayısı örneğin geçirdiği zaman içinde sabit sayılır. Ancak yüksek radyasyon dozları için yeni tuzak yaratma olasılığı vardır. Fakat bu temel tanımla ilgili değildir. Bir tuzakta birden fazla elektron bulunamaz Fakat elektronların çoğu, bir tuzak tipine ait tüm tuzaklarda doyuma ulaşıncaya kadar yerleşir. Yani bir tuzak tipinin bütün tuzakları doldurulur. Lüminesansdan sorumlu tuzaklar 'OSL tuzak' ya da 'TL tuzak' olarak ya da 'tarihleme tuzak'ı olarak adlandırılır. Bazı yazarlar temel tuzaklar ya da kaynak tuzaklar diye de adlandırmaktadırlar (Aitken 1998).

Optik uyarmalı lüminesansda tuzaktan elektron çıkarılma hızı fotonların varış hızına bağlıdır. Sonuç olarak çıkarılma işlemi çok uzun sürebilir. Çıkarılma hızı, ayrıca tuzak türünün duyarlılığına bağlıdır. Eğer optiksel uyarma, bütün ışığa duyarlı tuzakların boşaldığı sürede devam eder ve sonuçta lüminesansla birleşirse ‘toplam ışık’ tuzaklanmış elektron sayısı ile, bu nedenle de yaş ile TL deki gibi orantılıdır. Fotonun tuzaklanmış elektronla etkileşme olasılığı, tuzaklanma sayısı ile orantılıdır (Aitken 1998).

Verilen tuzak türünün fotoçıkartılma işlemine duyarlılığının yalnızca E ile belirlenmesi doğru değildir. Yapılan çalışmalar çıkartılma işleminin uyarıcı ışığının dalgaboyuna da sıkı sıkıya bağlı olduğunu göstermiştir. Genelde kısa dalgaboylu ışıkla uyarmanın çıkartılma işlemini çabuklaştırdığı deneylerle kanıtlanmıştır. Fotonun soğurulması ile ortaya çıkan enerji, dalgaboyu ile ters orantılıdır (Aitken 1998).

$$E(eV) = \frac{1240}{\lambda(nm)} \quad (2.5)$$

Kayıp olmadan örneğin; 1.7 eV luk derinliğe sahip tuzaktan elektronun çıkartılması için, uyarma ışığının dalgaboyu $1240/1.7 = 730nm$ den az olmalıdır, yani çıkartılma işleminin gerçekleşebilmesi için infrared ışığının dalgaboyuna yakın uzunlukta bir dalgaboyu kullanılmalıdır.

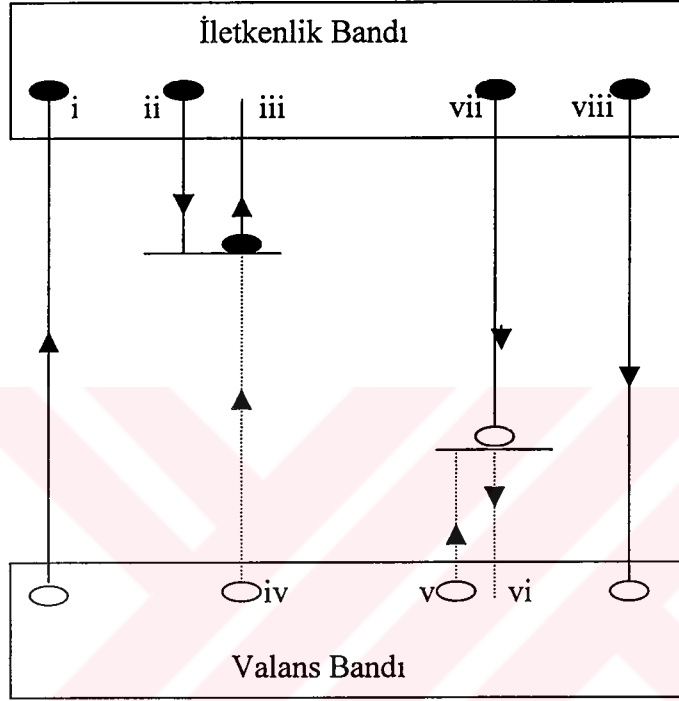
2.4. Kusurlar ve Tuzaklar

Çeşitli radyoaktif izotoplar ile onların parçalanma ürünleri α , β tanecikleri ve γ ışınları yayarlar. Doğal çevre içindeki arkeolojik ve jeolojik malzemeler gerek kendi bünyelerinde taşıdıkları, gerekse çevrelerinde bulunan bu radyoaktif izotoplardan aldıkları radyasyonlarla etkileşirler. Madde içindeki yük denklığı ya bu ışınlarla, ya da maddenin oluşumu sırasında bozulabilir. Böylece madde içinde elektronik ve atomik kusurlar oluşur. Normal yapıyı bozan bu anormallikler ‘ışınma merkezi’, ‘söndürme merkezi’ ya da ‘tuzaklar’ şeklinde etki yapabilirler.

Kristal kusurları noktasal ve çizgisel (dislokasyon) olarak adlandırılabilir. Kusur birkaç eksik veya yerdeğiştirmiş atomdan oluşursa noktasaldır. Bunların mekanik özelliklere etkisi önemsizdir. En basit noktasal kusur bir atomun eksik olduğu boş örgü köşesidir. Bu tür kusurlar sıvı katılaşırken olduğu gibi yüksek sıcaklıkta ısı titreşimlerin etkisi ile atomların yer değiştirmesi sonucu da oluşabilir. Örgü yapısında atomlar arasında yeterli boşluk varsa araya giren fazla atom da noktasal kusur sayılır. İyonik cisimlerde net elektriksel yükün sıfır olması zorunludur. Bir iyon örgü noktasından yüzeye taşınmışsa Schottky kusuru, örgüdeki yerinden arada bir yere taşınmışsa Frenkel kusuru oluşur. Bir kristalde Schottky kusurunun meydana gelmesi kristalin yoğunluğunu azaltmaktadır. Çünkü hacim büyümekte buna karşılık kütlede bir artış görülmemektedir. Frenkel kusurlarında hacimde bir değişme olmadığı için yoğunlukta da bir değişme gözlenmez (Gezci 1992). Çizgisel kusurlar (dislokasyonlar) kristallerde atomsal dizilişin bir çizgi boyunca bozulması sonucu oluşur. Atomlar denge konumundan ayrıldıklarından çizgi çevresinde gerilmeler doğar, dolayısıyla bir miktar potansiyel enerji depo edilir. Çizgisel kusurlar çoğunlukla katılaşma sürecinde oluşur (Onaran 1993).

Valans bandından iyonlaştırıcı bir radyasyonla serbest hale geçen ve kristal içinde dolaşan bir elektrona sahip iyonik bir kristal incelendiğinde, bu serbest dolaşan elektronun anyon boşluğu tarafından Coulomb kuvvetiyle çekilerek tuzaklandığı görülür. Tuzaka yakalanan elektronun kurtulması için gereken enerji, negatif iyonun değerlik elektronlarından birini serbest hale geçirmek için gerekli enerjiden daha azdır. Bu nedenle elektronu yakalayan anyon boşluğunun enerji seviyesi, iletkenlik ile valans bandı arasında bulunan yasak band aralığında yer alır. Aynı şekilde pozitif iyonun kristal örgü içinde bulunması gereken yerden herhangi bir nedenle uzaklaşmış olması ile oluşan katyon boşlukları pozitif yükün azalmasına, bu durum ise komşu negatif iyondan bir elektronu serbest duruma geçirmek için gerekli enerjide azalmaya sebep olur. Bu azalma yasak band aralığında lokal bir hol enerji seviyesi oluşturur. Bu hol seviyesinin konumu, bir elektronu serbest hale geçirmek için gerekli enerji miktarı kadardır. Bir katyon boşluğu aslında eksi yük fazlalığı olan bir bölgedir ve serbest holler için en uygun bir tuzak oluşturur. Anyon boşlukları ise, Fermi enerji düzeyinin üzerinde bir enerji düzeyine sahiptir. Bu seviyeler ise elektronları yakalamaya hazır elektron tuzak merkezleridir. Lüminesans

olayları, band aralığında lokal enerji seviyelerindeki sayısal doluluğun değişmesiyle gözlenir. Bu değişme bir enerji seviyesinden diğerine elektronik geçiş ile olur. Kristaldeki bir atomun değerlik elektronlarından biri yeterli enerji alırsa, örgü içerisinde serbest duruma geçer ve iletkenlik bandına yükselebilir. Şekil 2.5 deki (i) geçişi böyle bir geçiştir.



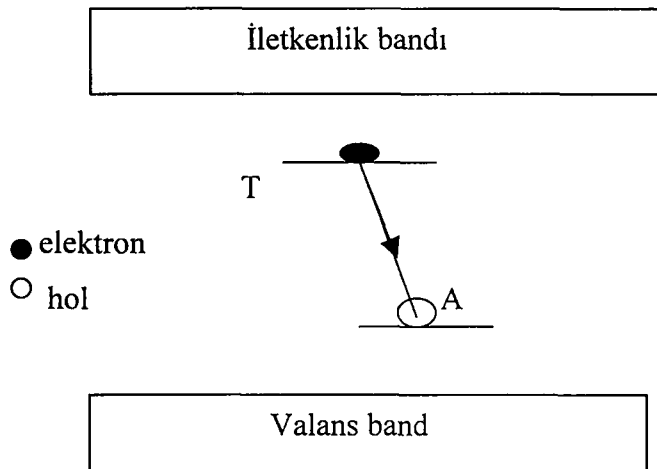
Şekil 2.5. Kristallerde elektronik geçişler.

İletkenlik bandına yükselen her serbest elektron geride, valans bandında bir serbest elektron boşluğu (hol) bırakır. Bu elektron-hol çiftlerinin her biri kusur merkezlerine ulaşmış yerleşinceye kadar örgü içinde başıboş dolaşır. Elektron ve hol tuzaklanması Şekil 2.5 (ii) ve (V)'de gösterilmiştir. Isı ya da optik uyarımla tuzaklardan kurtulan elektronlar ve holler örgü içinde serbestçe dolaşabilirler. Serbest elektron ve hol için ikinci bir geçiş olanağı da (viii) geçişindeki gibi bunların doğrudan birleşmesi, veya daha önce tuzaklanmış elektron ve holün (iv) ve (vii) geçişindeki gibi dolaylı olarak yeniden birleşmesidir. (iii) geçiş olasılığı (iv) geçiş olasılığından daha büyükse bu seviye bir tuzaktır. Eğer (iv) geçiş olasılığı (iii) geçiş olasılığından daha büyükse bu enerji seviyesi yeniden birleşme merkezi olarak adlandırılır (McKeever 1985).

Isı olarak tuzaktan kurtulan elektronun kurtulma olasılığı 2.1 denklemindeki E/kT ye üstel olarak bağlıdır. E tuzak derinliği, iletkenlik veya valans band kenarıyla tuzak arasındaki enerji farkıdır. Belli bir sıcaklıkta küçük E değerli merkez, büyük E değerli merkezden tuzak olmaya daha yatkındır. Bu nedenle yeniden birleşme merkezleri yasak band aralığının ortalarına doğru yer alırken, elektron ve hol tuzakları kıyılarına daha yakındır.

2.4.1. Tünel olayı

Birçok maddede tuzakta yakalanan bir elektron herhangi bir enerji almadan da boşlukla birleşebilir (yeniden birleşme). Bu yeniden birleşme aradaki potansiyel tepesinin tünel olayı yardımı ile geçilmesi olayıdır. Tünel ışması denilen bu olayda yayınlanan fotonun enerjisi TL ya da OSL de yayınlanan fotonunkinden küçüktür. Bunun nedeni ise, tünel olayının elektronun tuzaklandığı seviye ile elektron boşluğunun tuzaklandığı aktivatör denilen seviye arasında gerçekleşmesidir. Bu da tünel ışmasının daha uzun dalgaboylu olmasını gerektirir. Bu tür geçişler lüminesans olaylarda önemlidir. Şekil 2.6 da bir tünel ışması gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi bir T seviyesinde tuzaklanmış elektron, A seviyesinde tuzaklanmış bir hol ile doğrudan yeniden birleşme yapabilir.



Şekil 2.6. Bir yarıiletken veya yalıtkan kristalde iletkenlik ya da valans bandı içermeyen elektron geçişi (Tünel) olayı

2.4.2. Yeniden birleşme olayları

Lüminesans olaylar, elektron ve holün yeniden birleşmesiyle gerçekleşir. Üç tip yeniden birleşme merkezi vardır (Şekil 2.5) Bunlar banddan banda (i) ve (viii) geçişi, banddan merkeze (iv veya vii) geçişi, merkezden merkeze (tünel olayı, Şekil 2.6) geçiştir. Banddan banda geçişe doğrudan geçiş, merkezle ilgili seviyeler arasındaki geçişe ise dolaylı geçiş denir. Lüminesans oluşması için yeniden birleşme foton ışımali olmalıdır.

Safsızlık ve diğler örgü kusurlarının bulunması nedeni ile iletkenlik bandından valans bandına geçişlerde gözlenen lüminesans dalga boyunun, beklenenden daha uzun ölçülmüş olması, yeniden birleşmenin banddan banda değil, banddan merkeze olduğunu göstermektedir. Dar band aralıklı kristallerde doğrudan geçiş daha çok gözlenirken, genellikle saf olmayan yalıtkan ve geniş band aralıklı yarıiletkenlerde dolaylı geçiş gözlenir.

Doğrudan geçişte uyarılmış elektronun, ışımali olmayan bir geçişe karşılık gelen enerjisini ısı olarak yayarken, uyarılma enerjisinin tümünü yalnız fotonla etkileşerek kaybetmesi olanaksızdır. Bu nedenle doğrudan geçişler foton ışımali olmalıdır. Dolaylı geçişte kaybolan enerji, band aralığı enerjisinden çok daha düşük olması nedeniyle ışımali veya ışımalsız yayılabilir.

Radyasyon soğuran bir maddenin lüminesans ışıma gösterip göstermeyeceğı P_L ışımali ve P_S ışımalsız (sönümlü) geçiş olasılıklarına bağılıdır.

$$P_L = 1/\tau \quad (2.6)$$

Yeterince yüksek sıcaklığa çıkarılan kristalde 2.6 denklemini yerine

$$1/\tau = (P_L + P_S) \quad (2.7)$$

denklemini alınır. Çünkü sönüm etkisi birim zamanda kaybolan merkez sayısını çoğaltır. Bu durumda lüminesans verimi; birim zamanda, lüminesans ışımali yayın

merkezlerin kaybolan merkez sayısına oranı olarak tanımlanır. Lüminesans yayma ve sönme olasılıkları ile lüminesans verimi (η) arasındaki ilişki,

$$\eta = P_L / (P_L + P_S) \quad (2.8)$$

ile verilir. Sönme olasılığı, $P_S = s \cdot \exp(-\Delta E/kT)$ denklemi ile sıcaklığa bağlı olduğundan lüminesans verimi;

$$\eta = P_L / (P_L + s \cdot \exp(-\Delta E/kT)) \quad (2.9)$$

olarak yazılabilir. Burada s , frekans faktörü, ΔE , aktivasyon enerjisidir. (2.9) denklemi, η veriminin büyük olması için P_L ve ΔE nin büyük olmaları gerektiğini gösterir (Akpınar 1971).

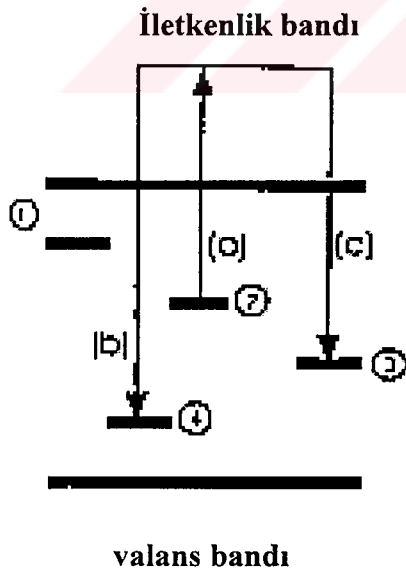
2.5. OSL ve TL Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Termolüminesansdaki durumun aksine, OSL bozunma eğrisinin kararlı ve kararsız lüminesansının birbirinden ayırt edilmesi için kabul edilebilecek bir yöntem yoktur (Botter-Jensen 2000). Ölçümlerde kararsız OSL den kaçınmak için uygun ön ısı uygulamaları gereklidir. Uyarma ışınlamasının fonksiyonu olarak OSL sinyalinin azalması, OSL tuzaklarındaki elektron sayısında azalmayı gösterir. Kuvars ve feldispatın her ikisinin de OSL bozunma eğrilerinde görünen azalma beklenen üstel azalmadan daha yavaştır (Duller 1991, Murray and Wintle 1998). Bu durumda, yalnızca bir ya da birden fazla tuzanın sahip olduğu toplam OSL sinyaline farklı çıkarılma olasılıklarının mı (Duller and Botter-jensen 1993; Mc Keever et al. 1997, Murray and Wintle 1998) yoksa optiksel uyarma sırasında diğer lüminesans tuzaklarda yeniden tuzaklanma nedeniyle oluşan üstel olmayan davranışın mı sorumlu olduğu sorusu ortaya çıkar ve çözümlenmesi gerekir. OSL yalnızca tuzakların bazılarını okuduğu için (örneğin kuvarsın yalnızca bir tuzasını) bu daha basit bir fiziksel sistem olarak kabul edilebilir ve bu yüzden de TL den daha kullanışlı ve güvenilir bir yöntemdir.

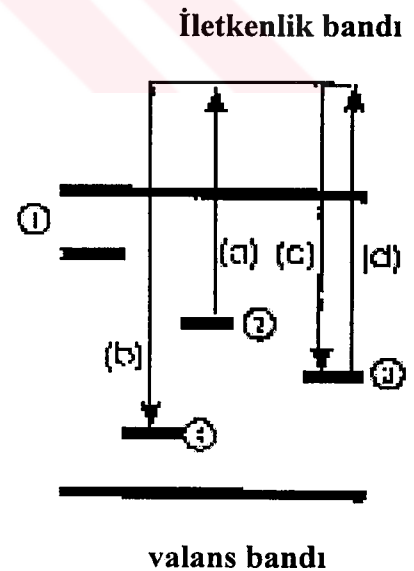
Termolüminesans ve OSL deki geçişler Şekil 2.7 de şematik olarak gösterilmiştir. Verilen şekilde elektronların optiksel ya da ısısız olarak uyarıldığı dozimetrik tuzak

(düzey 2) olarak gösterilmiştir. Yeniden birleşme merkezlerinde (düzey 4) hollerle serbest elektronların birleşmesi OSL ya da TL emisyonunu verir. Ana dozimetrik tuzaklara ek olarak hemen hemen bütün lüminesans materyallerin sığ tuzak seviyeleri içerdiği beklenebilir (düzey 1). Ancak bu tuzaklar ortam (ambient) sıcaklığında uzun sürelerde tuzaklanmış yük depolamazlar. Her ne kadar bazı seviyeler normal olarak çoğu dozimetrik ölçümlerde doğrudan doğruya kullanılmasa da örneğin lüminesans davranışlarına katkıda bulunurlar. Ayrıca, normal TL uygulamaları sırasında, ısısal bağlantısız çok derin tuzakların varlığı düşünülebilir (düzey 3). Bazı derin tuzaklar lüminesans duyarlılığa ve dozla TL sinyalinin lineer olmayan büyümesine katkıda bulunur. Karmaşık doz-cevap eğrilerinin oluşması da modeli ve yorumu zorlar. Bazı derin tuzaklarda ise ısısal olarak erişilmez olmasına rağmen uyarma kaynağı olarak yüksek enerjili (kısa dalgaboylu) ışık kullanılarak bu seviyelerden optiksel yükün açığa çıkması, bir çok materyalde gerçek bir olasılıktır. Bu durum da OSL' nin TL'ye göre üstünlüğünü gösterir. Yani dozimetrik bilgilerin kaynağı olarak derin tuzakların kullanılma olasılığını taşıdığı için OSL' nin TL'ye göre avantajlı olduğu söylenebilir (Botter-Jensen 2000).

i) TL



ii) OSL



Şekil 2.7. i) TL ve ii) OSL deki geçişleri enerji diyagramı; (1) sığ tuzak, (2) TL ve OSL tuzağı, (3) derin tuzak ve (4) ışıklı yeniden birleşme merkezi (Botter-Jensen 2000)

Şekil 2.7. i) deki (b) geçişi yeniden birleşme yoluyla açığa çıkan TL'yi (c) geçişi elektronların derin seviyelere de transfer edilebildiğini, ayrıca dozla lineer olmayan TL büyüme eğrisini açığa çıkardığını gösterir. Şekil 2.7 ii) deki (a) geçişi optiksel uyarmayı, (b) geçişi yeniden birleşmeyi, (c) geçişi elektronların derin tuzaklara yakalanarak yeniden tuzaklanma olasılığını gösterir (Botter-Jensen and Mc Keever 1996).

2.5.1. OSL duyarlılığı ve kararlılığı

Bir çok malzemede, sıcaklığının artmasıyla TL veriminin azalmasına neden olan ısısal sönme (thermal quenching) sorunu vardır. OSL normalde oda sıcaklığında ya da ona yakın sıcaklıklarda ölçüldüğü için ısısal sönme sorunu olmaz ve aslında OSL işleminin TL işlemine göre daha yüksek bir duyarlılığa sahip olduğu gözlenir.

Bütün tuzaklar yüksek verimli, görünen ışık ve UV dalgaboyuyla optiksel olarak boşaltılamayabilir. OSL duyarlılığının tanımı genellikle, (dozimetri ve tarihleme olarak) aynı malzemeden gelen TL in optiksel olarak kararsız olmasından dolayı ortaya çıkar. Yani, eğer örnek görünen ışığa maruz kalırsa TL sinyalinde azalma gözlenir. Bu tip malzemeler doğrudan doğruya TL ve OSL duyarlılığını karşılaştırmaya uygun malzemelerdir.

Optik Uyarımalı lüminesans sıcaklıkla değişmeyen (non-destructive) özelliği nedeniyle, jeolojik örneklerin tarihlemesinde TL'e göre bir avantaja sahiptir. OSL oda sıcaklığında ya da ona yakın sıcaklıklarda, yalnızca ışığa duyarlı tuzaklanmış elektron sayısını ölçer. Bununla birlikte, OSL daha yüksek sıcaklıklarda da ölçülebilir ve bu olay farklı ışık duyarlılıklarında denenilen tuzakların seçilmesine olanak tanır. Bazı feldspatlar için daha yüksek sıcaklıklarda OSL ölçülmesiyle, termal etkiyle daha derin tuzakların uyarılmasına da olanak verir. Kuvars, normalde infrared ışığına tamamen duyarsızdır, fakat son araştırmalarda Bailey tarafından daha yüksek sıcaklıklarda (200°C) infrared diodlar kullanılarak uyarma yapılabilmektedir (Botter-Jensen 2000). Bu gözlem, optiksel uyarmanın ısısal olarak desteklendiğinde etkinin arttığını OSL tuzaklarından elektronların ayrılıp iletkenlik bandına hareketine yol açtığını gösterir.

2.5.2. Aynı örneğin ardarda OSL ölçümleri

Eğer uyarma yalnızca sınırlı bir miktarda tuzaklanmış yükleri boşaltmak içinse doza bağlı OSL sinyalinin aynı dozimetreden birkaç kez alınabilmesi; OSL nin, TL'ye oranla bir avantajdır. Bu nedenle tekrarlanmış OSL ölçümleri aynı örnek üzerine uygulanır ve daha önce saptanan bozunma sabitlerini kullanarak başarıyla düzeltme yapılabilir. Tipik doza bağlı sinyal için örneğin kararlı TL sinyalini tamamen silecek yeterli yükseklikteki sıcaklığa ısıtılması gerektiği için bu TL de imkansızdır. Aynı örnek üzerindeki OSL ölçümlerinin tekrarlanabilir olması dozimetrede kullanılabilirliğini gösterir. Tarihlemede ve geçmişini saptayan dozimetrelerde aynı örnek üzerinde tekrarlanmış ölçümler, tek bir örneğe doz ekleme (Single Aliquot Additive- doze Protocol -SAADP) (Duller 1995, Murray and Roberts 1997) metodunun temelidir. Tahmin edilen doz için gerekli bütün ölçümler tek bir örnek üzerinde gerçekleştirilebilir.

Örnek duyarlılığının normalizasyonu için ana OSL sinyalinin ölçümlerinden önce örnekten elde edilen (0.1 s civarında uyarma) 'kısa uyarma' (short shine) OSL kullanımında çok önemli bir özelliktir. Bu kısa maruz kalışın etkisi genelde ihmal edilir. Bu optiksel normalizasyon yöntemi, çoğu kez ağırlık normalizasyonunun yerine kullanılmaktadır ve örnekten örneğe sinyalin değişmesinde azalma göstermektedir (%8-10 den % 1-2 civarına kadar) (Botter-Jensen et al. 1991).

2.5.3. Örneklerin kısmi uyarılması

OSL nin en önemli özelliği uyarıcı ışık kaynaklarının (lazerler), optiksel olarak oldukça küçük bir alanı uyarıma odaklanmasıdır (çap olarak 100 mikrondan daha küçük), yani bununla örneğin sadece küçük bir bölümünü uyararak olanaklıdır. Uyarıcı ışığın yüzeyi taramasıyla OSL sinyali elde edilir.

Son zamanlarda odaklanmış lazer ışınları çok taneli örnekte tek bir kum tanesi boyutundaki lüminesans analizini mümkün kılmıştır (Duller et al. 1999).

Odaklanmış lazer uyarma tekniği, medikal uygulamalar için tasarlanan planar dozimetrelerin küçük bölgelerini uyarmak için kullanılır.

2.5.4. OSL tuzaklarının kaynağı

Optik uyarmalı lüminesans yöntemle tuzaklanmış elektronların yalnızca belli bir oranının ölçülmesi nedeniyle, ölçüm sonucunda ,TL ye nazaran örnekte daha az değişiklik oluşturması beklenebilir. Murray and Roberts (1997), gömü öncesi rüzgar ve akarsu etkisiyle kuvars tanelerinin kristallenme öncesi bir çok kereler gün ışığından etkileşmiş olabileceğine işaret etmiştir. Optiksel uyarma tuzaklanmış elektron sayısının yalnızca bir bileşenini ölçer ki bu tuzaklar ışığa çok duyarlıdır ve son depolanmadan önce bir çok kereler boşalmış ve dolmuş olmalıdır. Laboratuvarıda OSL doğada bir çok kere meydana gelmiş bulunan davranışların tekrarıdır, TL ise kristal oluşumundan bu güne kadar olan davranışı ölçer.

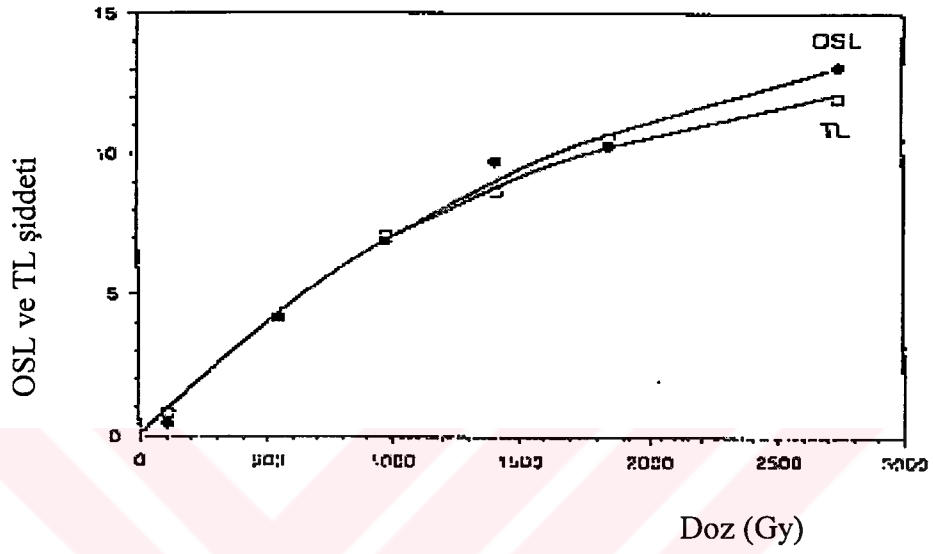
2.5.5. Doz-cevap eğrisi

Optik uyarmalı lüminesans ve TL'in benzer doz-cevap eğrisi verdiğini görmek için, Botter-Jensen et al. (1991) genç sedimanların doğal dozuna Co-60 gama kaynağı ile 3000 Gy e kadar doz ekleyerek TL ve OSL büyüme eğrilerini çizmiştir. Örnek olarak Şekil 2.8 de OSL (IRSL-Infrared Stimulated Luminescence) büyüme eğrisiyle TL büyüme eğrisi karşılaştırılmaktadır. OSL de örnekler 220⁰C de 10 s ön ısıtma işleminden geçirilmiştir. TL sinyali 330-380⁰C aralığında elde edilmiştir. Sinyaller normalize edildiğinde iki eğrinin benzer eğimlere sahip olduğu görülmektedir.

Özet olarak;

- OSL, oda sıcaklığında ya da ona yakın sıcaklıklarda TL den daha duyarlıdır.
- Aynı örnek üzerinde bir çok kereler OSL sinyali kısım kısım ölçülebilir. TL de ise bir kez ısıtma işlemi uygulandığında tamamı silinir.
- Örneğin küçük bir bölümü hatta tek bir tanesi odaklanmış lazer ışını kullanılarak OSL yöntemiyle ölçülebilir.

- OSL ışığa çok duyarlı tuzaklarda tutulan tuzaklanmış elektronları ölçer ve sonuç olarak bu, özellikle jeolojik sediman örneklerin tarihlenmesinde önemlidir.
- Bir çok durumda OSL ve TL'deki gibi aynı doz-cevap eğrilerini verir.



Şekil 2.8. Gama dozuna karşılık Potasyum feldspatından elde edilen OSL ile TL in sinyalleri (Botter-Jensen et al. 1991).

BÖLÜM 3. JEOLOJİK VE ARKEOLOJİK ÖRNEKLERDE TARİHLEME YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş

Radyoaktif bozunmalar, çekirdek içinde gerçekleştiğinden kimyasal tepkimelerden ya da çevredeki atomik yapılardan etkilenmez. Bu nedenle radyoaktif elementler, buldukları çevrede kaldıkları sürece o çevre için geçen zamanın iyi bir belirleyicisi olurlar. Nükleer teknolojideki gelişmeler radyasyonun güvenilir bir şekilde ölçülmesine olanak verdiğinden tarihleme de oldukça duyarlı yapılabilmektedir.

Bu çalışmanın konusu olan OSL ve TL yöntemleri, radyoaktif çekirdek bozunumu ile ilişkili tarihleme yöntemleri içinde yer alır. Bu sınıfa giren diğer tarihleme yöntemleri bunlarla beraber Tablo 3.1 de verilmiştir.

3.2. OSL ve TL Yöntemleriyle Tarihleme

OSL ve TL olayının en önemli uygulamalarından biri jeolojik ve arkeolojik malzemelerin yaşlarının bulunmasıdır. Jeolojik ve arkeolojik örneklerin içinde ve çevresinde bulunan radyoaktif elementler jeolojik zamanlar boyunca radyoaktif bozunmaya uğrar; γ ışınları ya da α , β gibi yüksek enerjili parçacıklar yayarlar. Bu elementlerin başında Uranyum (^{238}U), Toryum (^{232}Th) ve Potasyum (^{40}K) gelir. Yayılan bu radyasyonlar malzemenin yapısındaki bazı elektronları serbest hale getirir. Serbest elektronların bazıları kristal yapı içindeki bozukluklar tarafından tuzaklanır. Daha sonra örneklerin ısıtılması veya ışıkla uyarılmasıyla tuzaklardan ayrılan elektronların hollerle birleşmesi sonucunda sırasıyla TL ya da OSL ışınması (lüminesansı) gözlenir. Gözlenen lüminesans şiddeti, tuzaklanmış elektron sayısına, tuzaklanmış elektron sayısı da jeolojik ya da arkeolojik örnek içindeki ve çevresindeki radyoaktif elementlerin yaydığı radyasyon dozuna bağlıdır. Bu dozun yıllık radyasyon dozuna bölünmesiyle malzemenin yaşı belirlenir.

Tablo 3.1. Radyoaktif tarihlendirme yöntemleri (Göksu 1982, Aitken 1990)

YÖNTEMİN ADI	KULLANILAN ÖRNEK	GEÇERLİLİK SINIRI	HATA KAYNAKLARI	YARDIMCI ANALİZLER
RADYOKARBON (C-14)	Oğun, odun kömürü, tahıl, kemik, v.s (Organik veya inorganik karbon içeren örnekler)	50.000 yıla kadar	.İstatistiksel sayım .C-14'ün atmosferde değişimi .İzotopik bölünme .genç karbonla karışma .Toplam hata % 5-7	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ saptanması
POTASYUM/ARGON (K-40/Ar-40)	Volkanik mineral, cam ve tufler, mafeorit	100.000 yıldan büyük	.K ve Ar ölçümleri .Radyojenik Ar kaybı .toplam hata % 10-50	$^{38,40,36}\text{Ar}$ miktarlarının saptanması ^{40}K miktarı saptanması
FİZYON İZLERİ	. Uranyum içeren tüm mineraller . . insan yapısı cam . obsidiyen	10^8 yıldan az (uranyum miktarına bağlı)	.iz sayım hataları .izlerin kalıcılığı .U miktarı ölçümleri .toplam hata %10-20	Uranyum miktarının saptanması
LÜMİNESANS (TL VE OSL)	Seramik, yanmış toprak, mineral ve kayalar, sediman ve meteoritler	10^8 yıldan az (kullanılan örneğin cinsine bağlı)	.Çevre aktivitesi ölçümleri .Depolanmış enerjideki kaçak .toplam hata %5-15	U, Th, K miktarı ve çevre gama miktarının ölçülmesi
ELEKTRON SPİN REZONANS (ESR)	Paramanyetik özellikli tüm mineraller ve kayalar	10^8 yıldan az (kullanılan örneğin cinsine bağlı)	.Rezonans ölçümleri .Çevre aktivitesi ölçümleri .Depolanmış enerjinin kalıcılığı .toplam hata % 15-20	U, Th, K miktarı ve çevre gama miktarının ölçülmesi

Jeolojik yaşın saptanmasında en önemli noktalardan biri, örneklerin herhangi bir şekilde ısınarak, ya da şiddetli bir ışığa maruz kalarak jeolojik devirlere ait birikmiş lüminesansının silinmiş olmasıdır. Bir başka deyişle, TL ve OSL tarihinin saati sıfırlanmış olur. Böylece TL ve OSL ile ölçülen yaş, örneğin en son ısıtıldığı veya son kez ışık gördüğü günden bu yana geçen zamandır.

TL olarak adlandırılan ısısal uyarmalı lüminesans, 1950 lerin başından beri nükleer radyasyon dozunu ölçmekte kullanılmaktadır. Daha sonra TL ile arkeolojik (Aitken et al. 1964, Aitken 1968, Mejdahal 1969) ve jeolojik (Wintle and Huntley 1980) tarihllemeler yapılmaya başlanmıştır.

Optik uyarmalı lüminesans (OSL) Huntley et al. (1985) tarafından tarihlleme için kullanılmıştır. Bu teknikte genellikle kuvars ve feldispat içeren malzemeler kullanılır (Hütt et al. 1988, Aitken and Smith 1988, Spooner and Questiaux 1990, Poolton and Bailiff 1989, Botter- Jensen et al. 1991, Botter – Jensen and Duller 1992). OSL'nin TL'ye göre üstünlüğü, normalde oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda ölçülmesi ve sonuçta örneğe daha az zarar vermesidir. OSL ayrıca yalnızca ışığa çok duyarlı tuzaklanmış elektron miktarını ölçer. Jeolojik tarihlmede bu önemlidir. Çünkü bu bileşen büyük olasılıkla, gömme ve tortulaşma öncesi sıfırlanmıştır.

OSL ve TL ile tarihlmede, kullanılacak örneğin geçen jeolojik zamanlar boyunca doğal çevresinden almış olduğu doz miktarı olan 'doğal doz'u ile bir yılda aldığı doz olan 'yıllık doz'un belirlenmesi en temel ilkedir. Burada jeolojik tarihlmeden bahsedildiği için doğal doz yerine 'paleodoz' kavramı kullanılmaktadır.

3.2.1. Paleodozun OSL ve TL yöntemleri ile bulunması

Paleodoz, örneklerin laboratuvarında bilinen bir radyasyonla dozlanması sonucu elde edilmiş OSL ve TL sayımları ile aynı örneklerin sahip oldukları doğal OSL ve TL sayımlarının karşılaştırılması ile elde edilir. Örneklerden elde edilen doğal OSL ve TL, alfa ve beta parçacıkları, gama ve kozmik ışınları tarafından oluşturulur.

Radyasyon kaynağı olarak Sr-90 beta kaynağı, Cs-137 ya da Co-60 gama kaynağı kullanılır (Aitken 1985).

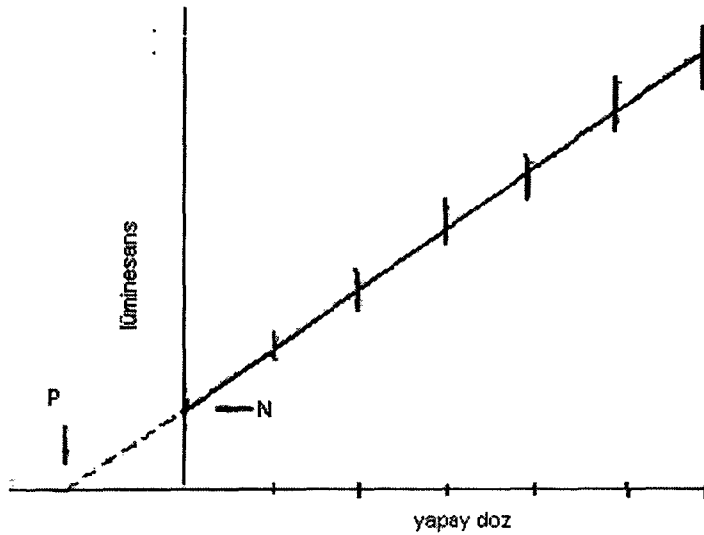
Termoluminesans eğrilerinde lüminesans, sıcaklığa karşı çizilen ve derinliğin artmasıyla ortaya çıkan tuzak tipleriyle ilgilidir. Bu durum elektronların tuzaklarda kalma süresiyle doğrudan ilişkilidir. Kısa süreli depolanma nedeniyle 200°C civarındaki sıcaklıkların altında doğal örneklerden açığa çıkan TL ihmal edilebilir. Yapay TL eğrilerinde 300°C nin altındaki sıcaklıklarda görülen piklerin, doğal TL eğrilerinde gözükmediği saptanmıştır. Bu nedenle tarihleme için 300°C civarındaki piklerin kullanılması uygundur (Aitken 1998). Buradan derin tuzakların kararlı ve sık tuzakların kararsız olduğu düşünülebilir. Yaşı saptanacak örneğe doğal ışımaya eğrileri elde edildikten sonra bilinen bir dozda radyasyon verilir. Tekrar elde edilen eğrilere yapay ışımaya eğrileri denir. Bu eğrilere düşük sıcaklıklardaki pikler de gözlenir. Fakat bu piklerin zamanla azaldığı, hatta bazı piklerin birkaç saat sonra tamamen ortadan kalktığı görülür (Aitken 1985). Verilen radyasyon doz miktarı artırılarak TL ışık şiddetinin radyasyon dozu ile nasıl değiştiği incelenir. Çıkan ışık, soğurulan radyasyon miktarının bir ölçüsüdür. Doğal ve yapay ışımaya eğrilerinde pikin şiddeti y ekseninde, verilen radyasyon dozu x ekseninde gösterilerek çizildiğinde, elde edilen doğrunun uzantısının x eksenini kestiği yerde okunan doz miktarına eşdeğer doz (ED) denir. TL ışımalarının radyasyonla doğrusal olarak arttığı durumlarda paleodoz doz (P), eşdeğer doza eşittir. Bu durum şekil 3.1 de gösterilmiştir.

OSL ile kararlı ve kararsız lüminesansı ayırt edebilmeye uygun bir ısı eğrisinin eşdeğeri yoktur. Bu nedenle de kararsız lüminesansla ortaya çıkan yapay sinyalin etkisi ön ısıtma işlemi (bölüm 3.2.4.1) ile ortadan kaldırılır (Aitken 1998). Ölçümlerden önce ister doğal ister yapay OSL olsun örneklerdeki kararsız tuzakları boşaltmak için yeterli bir ısı verilir. Daha sonra örneklerden alınan OSL sayımları aşağıda belirtilen 'doz ekleme' ve 'yenileme (regeneration)' yöntemlerinden biri kullanılarak paleodoza çevrilir.

3.2.1.1. Doz ekleme yöntemi

Tuzak yoğunluğu ile orantılı olan lüminesans şiddeti, doza göre ölçeklendirilmedikçe örneğin absorpladığı doz yani yaşı belirlenemez. Belirlenen bir gelecekteki tuzaklanmış elektron sayısı bilirse, şimdiki tuzaklanmış elektron sayısının yardımıyla geçmiş zaman dilimi hesaplanabilir. Doğal bir örneği gelecekteki tuzaklanmış elektron yoğunluğuna ulaştırmak için yapılması gereken iş, örneği yapay olarak ışınlamaktır (Zeller et al. 1967). O halde seçilen örnek bir beta ya da gama kaynağıyla ışınlandığı zaman kaynaktan gelen beta ya da gama ışınları, şimdiki tuzaklanmış elektron yoğunluğunu gelecekteki durumuna götüren bir zaman makinesi gibi çalışır. Bu yönteme 'doz ekleme yöntemi'denir (Aitken 1985, Ikeya 1993).

Bu yöntemle elde edilen grafik Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Grafikteki N değeri örneklerden alınan doğal sayımı gösterir. Bunun için eşit miktarda örnekler hazırlanır ve her grupta en az 3 örnek bulanacak şekilde gruplandırılır. Bir grup doğal doz ölçümü için ayrıldıktan sonra kalan diğer gruplar ölçüm öncesi radyasyon kaynağı ile çeşitli dozlarda dozlanır. Gruptaki her bir örneğe aynı doz verilir. OSL ile ölçümlerde bütün gruplara ölçüm öncesi ön ısıtma işlemi uygulanır.

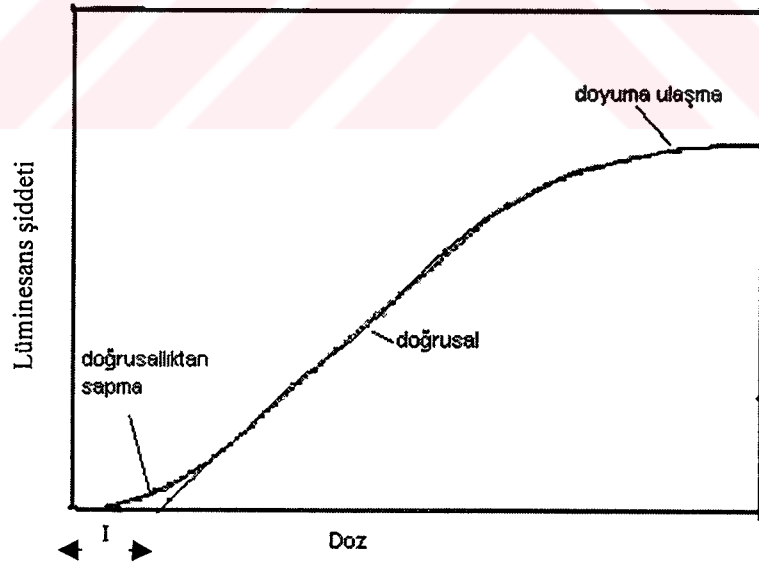


Şekil 3.1. Paleodoz hesabı için doz ekleme metodu (Aitken 1985, Ikeya 1993).

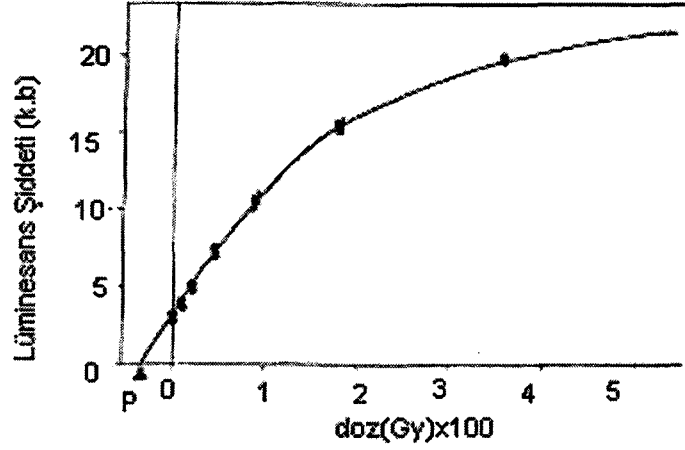
Dozla OSL ve TL büyüme eğrisi Şekil 3.1 de lineer olarak gösterilmiştir. Fakat daha büyük dozlarda (çok yaşlı örnekler için) (sublineer) ve düşük dozlarda (supralineer) dozla artışın doğrusallıktan saptığı gözlenmiştir (Şekil 3.2). Supralineerlik TL de yaygın olarak görülürken OSL de görülmez. Daha sonra Mejdahl (1988) ve Barabas et al. (1988) tarafından geliştirilen dozla büyüme eğrilerinin dozla doygunluğa erişen değerlere kadar elde edilen bir üstel eğri (Şekil 3.3) biçiminde de olabileceği kabul edilmiştir. Dozla büyüme eğrilerine 'büyüme eğrisi' veya 'doz cevap eğrisi' adı verilir. Bu büyüme eğrilerindeki eşdeğer doz ya da paleodoz değeri denklem 3.1 kullanılarak bulunabilir.

$$y = K - A \exp(-Bx) \quad (3.1)$$

Yukardaki denklemdeki K değeri örnekten yapay ışınlamaya karşı alınan maksimum lüminesans şiddetini, A değeri K ile örneklerin doğal lüminesans şiddeti arasındaki farkı, B ise $1/D_s$ (D_s , lüminesans şiddetinin doyuma ulaştığı doz değeri)'ni gösterir. Bu durumda eğrinin x-eksenini kestiği nokta ($y=0$)daki doz değeri x' i yani eşdeğer dozu verir.



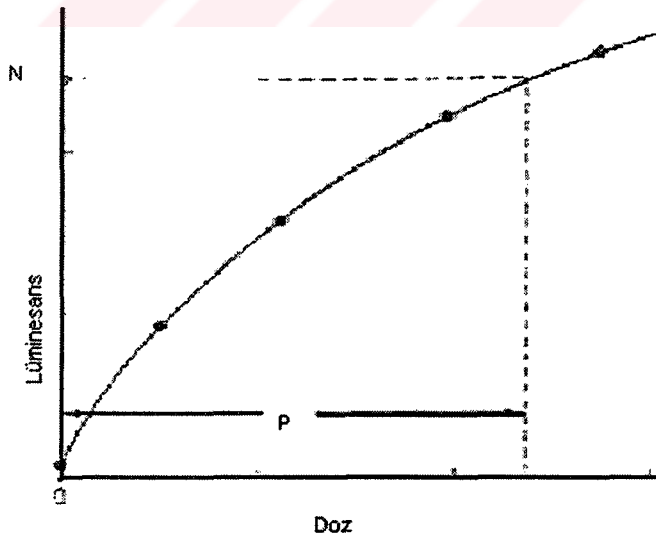
Şekil 3.2. Dozla büyüme eğrilerinin gösterimi (Aitken 1985).



Şekil 3.3. Lüminesans ışımaya şiddetinin yapay ışınlama dozuna bağlı olarak doyuma ulaşması.

3.2.1.2. Yenileme (regenerasyon) yöntemi

Bu metod için doğal sayımların alınacağı örneklerin bulunduğu grup dışındaki diğer grupların hepsi ışıkla uyarılarak OSL sinyalleri sıfırlanır. Doz hızı bilinen bir kaynakla çeşitli dozlarda dozlanan örneklerden elde edilen OSL sonuçları ile doğal örneklerin verdiği OSL sonuçları direk karşılaştırılarak bu metodla paleodoz elde edilir(Şekil 3.4)



Şekil 3.4. yenileme yöntemi ile paleodoz bulma (Aitken 1985).

Bu yöntemin üstünlüğü lineer olmayan duruma sebep olan belirsizliğin az olmasıdır.

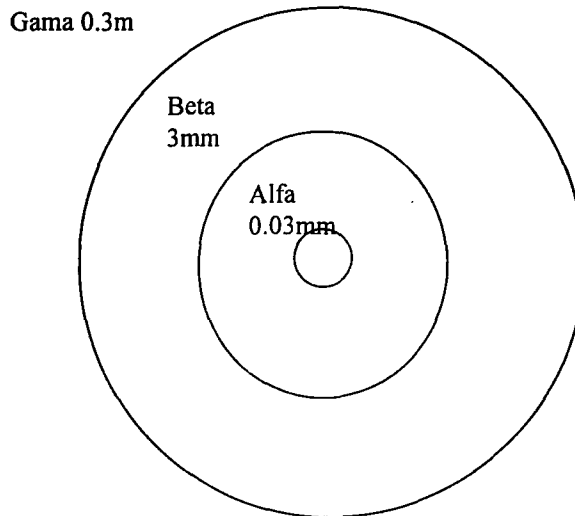
3.2.2. Yıllık dozun bulunması

Yıllık doz değeri yaş hesaplamalarında en önemli iki bileşenden biridir. Burada yıllık doza katkıda bulunan ilgili radyoaktif maddelerden bahsedilmekte ve bu maddelerden gelen radyasyonların hesaplanması gösterilmektedir

3.2.2.1. İlgili radyoaktif elementler

Doğal OSL ya da TL esas olarak ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K 'dan gelen nükleer radyasyon sebebiyle oluşur. Bunun dışındaki önemli bir katkı da kozmik ışınlardan gelebilir. Diğer radyoaktif elementlerin katkıları ihmal edilecek kadar düşüktür (Aitken 1998). Radyoaktif potasyum izotopu ^{40}K 'un atomik bolluğu doğal potasyum içinde % 0.011'e yakındır. Bu izotop beta parçacıkları ve gama ışınları yayar. ^{232}Th ve ^{238}U 'dan gelen alfa ve beta parçacıkları buna eklenir. Tablo 3.2 de ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K 'un radyoaktif bozunma şemaları gösterilmiştir.

Şekil 3.5 bu radyasyonların malzemelerin içine işleme güçlerini gösterir. Çekirdekten yayılan alfa parçacıklarının etki aralığı, sedimanlarda 25 μm dir. Bunun nedeni alfa parçacıklarının iyonlaştırma gücünün fazlalığı ve enerjilerini hızla kaybetmesidir. Bir başka neden ise daha ağır olmaları ve düzgün bir yolda hareket ederken yolları üstündeki atomlarla çarpışarak farklı yönlere saçılmalarıdır. Beta parçacıkları birkaç mm'yi ve gama ışınları da betanın 100 katı uzaklığı etkiler.



Şekil 3.5. Radyasyonların malzeme içine işleme güçleri. Herbir küre sedimandaki tanelerin çevreden gelen radyasyonlardan etkilenme aralığını gösterir (Aitken 1998).

Tablo 3.2. Toryum, uranyum ve potasyumun radyoaktif bozunma şeması (Aitken, 1990)

Toryum serisi Çekirdek	Yarı-ömür	Uranyum/Radyum serisi Çekirdek	Yarı-ömür	Uranyum/Aktinyum serisi Çekirdek	Yarı-ömür	Potasyum-40
toryum-232	14.1x10 ⁹ yıl	uranyum-238	4.51x10 ⁹ yıl	uranyum-235	0.713x10 ⁸ yıl	potasyum-40
↓		↓		↓		Yarı-ömür: 1.3x10 ⁹ yıl
↓		↓	α 2β	↓	2α 1β	
↓		uranyum-234	250x10 ³ yıl	protaktinyum-231	32.4x10 ³ yıl	
2α 2β		↓	1α	↓	2α 1β	
↓		toryum-230	75.2x10 ³ yıl	↓		
↓		↓	1α	↓	11.1 gün	
↓		radyum-226	1620 yıl	↓		
↓		↓	1α	↓	3.9 s	
radyum-224	3.64 gün	radon-222	3.83 gün	radon-219		
↓		↓		↓		
↓		↓	3α 2β	↓		
↓		↓		↓		
polonyum	0.16 s	kurşun-210	22 yıl	polonyum-215	1.8 x 10 ³ s	
↓		↓	2β	↓		
↓		polonyum-210	138 gün	↓		
↓		↓	1α	↓		
↓		↓		↓		
Kurşun-208	kararlı	kurşun-206	kararlı	kurşun-207	kararlı	argon-40 (kararlı)
						kalsiyum-40 (kararlı)

3.2.2.2. Yıllık doz hızı

Tuzaklanmış elektronların miktarı örneğin maruz kaldığı radyasyon dozuyla (absorpladığı enerjiyle) orantılıdır. Bu doz kilogram başına absorplanan enerji olarak tanımlanır ve birimi de Gray (Gy); $1\text{Gy}=1\text{ J/kg}$ dır. Doğal doz hızını Gy/ka (Gray/bin yıl) ya da mGy/a olarak vermek uygundur. Bu doz ‘yıllık doz’ olarak adlandırılır.

Örnekteki radyoaktif elementlerin derişiminin saptanmasıyla doz hızı hesaplanabilir. Bu hesaplama için ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K miktarlarının ve nemin tesbiti gereklidir (Aitken 1985, Godfrey-Smith at Al. 1988, Banerjee at Al. 1999). Uranyum, toryum ve potasyum tesbiti dışında gama spektrometresi yardımıyla veya gama Termoluminesans Dozimetreleri (TLD) sonucuyla da doz hızı hesaplanabilmektedir (Rhodes 1988). Tanelerin büyüklüğü ($\geq 100\ \mu\text{m}$) baz alındığında, alfa katkısı ihmal edilerek beta ve gama TLDleri yardımıyla sadece beta ve gama radyasyonlarının doz hızına katkıda bulunduğu varsayımı ile de doz hızı hesaplanabilir (Aitken 1998).

Yaş hesabı yöntemi tanelerin büyüklüğüne göre isimler alır.

- i) İnce tanelerle yapılan tarihleme (Fine-grain dating)
- ii) İri tanelerle yapılan tarihleme (Coarse-grain dating)

i) İnce tanelerle yapılan tarihleme

İnce taneli örnekler için yaklaşık $10\ \mu\text{m}$ boyutundaki taneler kullanılır. Yaş aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır.

$$\text{Yaş} = \text{Paleodoz} / (kD_{\alpha} + D_{\beta} + D_{\gamma} + D_c) \quad (3.2)$$

Burada D_{β} , D_{γ} , ve D_c sırasıyla beta, gama ve kozmik doz hızını ve kD_{α} efektif alfa katkısını verir. Lüminesansda ince taneli tarihleme için $4\text{-}11\ \mu\text{m}$ büyüklük aralığı kullanılır.

ii) İri tanelerle yapılan tarihleme

İri tanelerle tarihlemeye tanelere dış radyasyondan gelen alfa etkisini yok etmek için örneğin dış tabakası asitlerle temizlenir ve kD_α ihmal edilir. Yukarıda verilen 3.2 eşitliği

$$\text{Yaş} = \text{Paleodoz} / (0.90 D_\beta + D_\gamma + D_c) \quad (3.3)$$

deki gibi olur. Buradaki 0.90 sayısal faktörü beta katkısının azalması nedeniyle ortaya çıkar. Daha büyük tanelerde faktör daha küçük olur.

Orta büyüklükteki tanelerin tarihlendirilmesinde, az da olsa alfa'dan gelecek katkıların hesaplanabilmesi için alfa zayıflatma katsayısının bulunması gereklidir.

Uranyum ve toryumdan gelen yıllık beta doz hızları $D_{\beta U}$, $D_{\beta Th}$ ile potasyumdan gelen beta doz hızı $D_{\beta K}$ ile toryum ve uranyumdan gelen alfa doz hızı D_α ile, kozmik ışıklardan ve toryum, uranyum, potasyum gibi radyoaktif elementlerden gelen gama dozu ise D_γ ile gösterilerek, aşağıdaki eşitlikler yazılabilir (Aitken 1985).

$$D_{\beta U} = \frac{0.0866\alpha_U}{1 + 1.25WF} \quad (3.4)$$

$$D_{\beta Th} = \frac{0.0573\alpha_{Th}}{1 + 1.25WF} \quad (3.5)$$

$$D_{\beta K} = \frac{0.853bm}{1 + 1.25WF} \quad (3.6)$$

$$D_\alpha = \frac{1.28a\alpha_{U,Th}}{1 + 1.5WF} \quad (3.7)$$

Burada, W çalışılan örnekteki % nem miktarını, F gömü boyunca örneklerin su tutma oranını, α_U uranyumdan gelen alfa sayımını (ks^{-1}), α_{Th} toryumdan gelen alfa

sayımını (ks^{-1}), $\alpha_{U,Th}$ uranyum ve toryumdan gelen toplam alfa sayımını, b beta zayıflatma katsayısını, a alfa zayıflatma katsayısını, m ise K miktarını göstermektedir. Örneği etkileyen gama dozu ise bölüm 4.4.2 de belirtildiği gibi gama dozimetreleri yardımı ile saptanır.

$$D_{\gamma} = \frac{D_{\gamma kuru}}{1 + 1.14WF} \quad (3.8)$$

Burada, $D_{\gamma kuru}$ dozimetrelerden hesaplanan doz miktarıdır.

3.3. Yaşı Etkileyen Faktörler

Lüminesans yöntemlerle tarihleme çalışmaları yapılırken, bulunacak yaştaki hatayı en aza indirmek için bu bölümde anlatılacak faktörleri göz önünde bulundurmaya yarar sağlayacaktır.

3.3.1. Ön ısıtma işlemi

Örneklerin laboratuvarında yapay ışınlanmasından sonra ön ısıtma işlemine tabi tutulması zorunludur. Işığa duyarlı sığ tuzakların direk katkılarıyla oluşan yapay OSL bulaşığından kaçınmak için ön ısıtmaya ihtiyaç vardır. Bunun yanı sıra, doğal örneklerin lüminesansına, gömülü bulunduğu sürece, sığ tuzaklardan gelen katkılar olacaktır. Ön ısıtma yapılmadıkça bulunan paleodoz bu katkılarla çok yüksek olacaktır. Bundan başka lüminesans duyarlılığındaki değişim doğal OSL yi yapay OSL dekinden çok daha güçlü etkilerse bulunan paleodoz hatalı olacaktır. Ön ısıtma işlemi ile bu etki eşitlenebilir.

Sonuç olarak artan sıklıkla başarılı ön ısıtmalardan sonra paleodozun saptanması çok daha kesinlik kazanacaktır. Buradan çıkacak ön ısıtma platosu hangi sıcaklıkta ön ısıtma işleminin yapılacağını gösterir. 48 saat $150^{\circ}C$ de (Wolfe et al. 1995), 16 saat $160^{\circ}C$ de (Stokes 1992), 5 dakika $220^{\circ}C$ de (Rhodes 1988, 1990) ve 1 dakika $240^{\circ}C$ de (Franklin et al. 1995) ki sıcaklık ve süreler ön ısıtma işleminde kullanılan bir çeşit reçetelerdir.

Bu konuda çalışma yapanların bir kısmı örneklerin ışınlama-ön ısıtma işlemi arasında ve ön ısıtma- ölçme işlemi arasında bir gün ya da daha fazla süre

bekletilmesi gerektiğini öne sürmüşlerdir (Aitken 1998). Buna temel dayanak olarak da bu uygulamalardan sonra kristal örgünün dinlenmesine olanak verilmesi gösterilmiştir. Örneklerin üzerine konduğu her diskin aynı sıcaklıkta aynı süre tutulmasına özen gösterilir.

Termoluminesansda ise sıcaklık piklerinin tümü görüldüğünden, kararlı ve kararsız lüminesansı ayırt etmek için, ön ısıtma işlemine ihtiyaç yoktur.

3.3.2. Anormal sönüm (anomalous fading) ve tünel olayı

Bazı minerallerin radyasyona tutulduktan belli bir süre sonra yüksek sıcaklık piklerinin sıcaklıktan bağımsız olarak azaldığı gözlenmiştir. Lüminesans tarihlemesinde anormal sönüm olayını ilk kez Wintle et al. (1971) ve Wintle (1973) tarafından lavlar incelenirken tespit edilmiştir. Daha sonra ay taşlarının TL çalışmalarında bir çok araştırmacı anormal sönüm olayını gözlemiştir (Blair et al. 1972, Garlick and Robinson 1972).

Anormal sönüm tünelleme olayı ile açıklanabilir. Bu modele göre, tuzaklanmış elektronun iletkenlik bandına geçmeden dalga-mekaniksel tünellemeyle kaçma olasılığı vardır. Bunun gerçekleşmesi için örgü titreşimleriyle enerji sağlamaya ihtiyaç yoktur. Bu olay iletkenlik bandından geçerek ısıyla açığa çıkışın tersine ısıyla gerçekleşmeyen sönüm gibi bir özelliği işaret eder (Visocekas et al. 1976, Huntley et al. 1985).

3.3.3. Örneklerin hazırlanması

Optik uyarmalı lüminesans yönteminde örneklerin gün ışığına maruz kalmaması gerekmektedir. Güneş ışığı bir kaç saniyede çok dayanıklı tarihleme sinyalinin bile azalmasına neden olur. Bu ise hesaplanacak yaşın olması gerekenden daha küçük çıkmasına sebep olur. Bu nedenle sediman örneklerinin alınması işlemi önem taşımaktadır. Örnek alımı iki farklı yöntemle yapılabilir. Bunlardan biri, örneklerin gece toplanmasıdır. Toplanan örneklerin yüzey katmanı kazınarak çıkarılır ve taşımak için siyah mat plastik torbalara konulur. Siyah torbalar kalın olmalıdır (hastanelerde X- ışını filmi olarak kullanılan plastikten yapılmış torbalar). Çöp

torbaları yetersizdir. Aysız gece olması gerekli değildir. Ay ışığı göze parlak gelmesine rağmen şiddeti güneş ışığından çok düşüktür.

İkinci yöntemde örnek sıkılaştırılarak sağlamlaştırılır. Buradan bir topak oyularak kenarları çok titiz bir biçimde tamamen kesilip kontrollü ışık koşulları altında alınır.

En genel yaklaşım, bir çelik ya da PVC silindiri iterek ya da çekiçleyerek toprağın dikey bölümüne sokulur. İlk önce toprak yüzeyi (güneş ışığının etkilediği yüzey) kazılıp çıkarılır. Ayrıca, laboratuvarında paleodoz çalışmaları yapılırken, birkaç cm lik kazıma daha yapılmalıdır (Aitken 1998).

3.3.4. Kozmik ışınlardan gelen doz- hızı

Kozmik ışınlardan gelen doz hızı, örneği dış ortamdan ayıran tabakanın kalınlığına bağlıdır. Her ne kadar herhangi bir gama-spektrometresiyle kozmik ışın doz hızı ölçülebilirse de, genellikle sonuç toprak altındaki ortalama değeri vermeyebilir. Radyoaktivitenin oldukça düşük olduğu yerler dışında kozmik katkı baskın bir önem taşımaz ve kabaca tahmin, yoğunluğu 2 g/cm^3 olan sediman ya da kayada metrede %14 azalmayla bir metre derinlikte 0.18 Gyka^{-1} dir.

3.3.5. Işık koşulları

Paleodoz örneklerinin tüm işlemleri yarı karanlık bir ortamda yapılmalıdır. Aksi takdirde yaş tahmininde ciddi hatalar oluşur. Genel kullanımda kırmızı ışık, turuncu-sarı ışık ve sarı-yeşil ışık yönelimi vardır. Kırmızı ışık öncelikle kuvars hazırlamada kullanılır.

3.3.6. Minerallerin ayrılması

Örneklerin lüminesans ölçümlerini en sağlıklı biçimde alabilmek için tanelerin uygun boyutta olması gerekir. Genel olarak kum büyüklüğündeki taneler kullanılıyorsa kuvars ve feldispat seçilir.

Kuvars yerkabuğunda en fazla bulunan madde olarak bilinir (ağırlıkça % 12.6) Kuvars yaklaşık % 100 SiO₂ içerir. Kuvars bir çok volkanik kayada temel unsurdur ve sedimandada önemli bir elemandır. Onun sık bulunan bir mineral olması, aşınmaya karşı fiziksel ve kimyasal direnci ve sediman oluşma işlemi sırasında yoğunlaşmış çeşitli şekillerde kum taşlarına dönüşmesi, bu tip çalışmalar için tercih nedenidir. En genel şekli, 575⁰C de normal basınç altında heksagonal yüksek sıcaklık kuvarsa (beta kuvars) dönüşen düşük sıcaklık trigonal α-kuvarsdır (Botter-Jensen 2000). 1970 lerin başından itibaren TL tarihlemesinde yoğun bir biçimde (Aitken, 1985) kullanılmıştır. Huntley et al (1985) ise termal uyarımadan çok optiksel uyarımayı kullanılarak kuvarstan lüminesans sinyali elde etmeyi göstermiştir

Saf kuvars sinyalinin placyoglas (plagioclase-Na(Ca) silikat) sinyali ile üst üste gelmesi sonucu oluşan lüminesans yoğunluğundaki artışı engellemek için hidroflorik (HF) asit ile ekstraksiyon işlemi uygulanır (Prasad 1998). Bu asit uygulaması kuvars tanelerinin yüzeyindeki alfa ışınlarını da yok etmeye hizmet eder. Bu ayrıştırmaların yararları istenmeyen maddeleri (karbonat mineralleri ve organik maddeler gibi) ortadan kaldırmaktır. Hidroklorik asit (HCl), nitrik asit (HNO₃) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) kullanılan ayraçlar arasındadır. Ayrıca mıknatısla ayırma ile de demirli bileşenler uzaklaştırılır. Hazırlama işleminin daha ayrıntılı anlatımları çeşitli yazarlar tarafından verilmektedir (Stokes 1992, Huntley et al. 1993 ve Roberts et al. 1994).

3.3.7. Örneklerin disk üzerine yerleştirilmesi

Örnekler ölçüm için alüminyum ya da paslanmaz çelik disk (10mm çaplı, 0.5mm kalınlıklı) üzerine konulur. İnce taneler aseton, etanol ya da sudan geçirilerek çöktürülür. Kum büyüklüğündeki taneler kuru halde silikon yağı ile siplelenmiş disklere yapıştırılır. Her disk yalnız bir katman taşmalıdır , bu da birkaç miligram demektir. Alfa ve beta kaynakları tarafından yayılan dozun tanelerin tam üzerine düşmesi için, taneler diskin tam ortasına homojen bir şekilde yerleştirilmelidir.

3.3.8. Saflandırma

Feldispatdan gelen OSLnin, kuvarsdan elde edilenden daha parlak olması nedeniyle, sinyallerin birbirine karışmadığından emin olmak gerekir. Ancak, tek bir hidroflorik asit uygulaması feldispat tanelerinden gelen sinyalin çok az bir miktarını ortadan kaldırır, bunun dışındaki kuvars tanelerine tutunmuş, feldispat taneleri ağır sıvı ayırıcından geçirilmezse gözden kaçabilir. Bu nedenle, asit ve ağır sıvı işlemlerinin tekrarlanması gerekir. Ancak bütün bu işlemler bile kuvars taneleri içindeki mikrofeldispat tanecikleri yok edemez. Örnekte feldispat olup olmadığı TL ısı eğrilerinin şekli ile ya da X-ışını kırınımı analizi ile araştırılabilir. Fakat en kolay yöntem, infrared-uyarmalı lüminesans ile test edilmesidir.

3.3.9. Uyarma türleri

Kuvars için görünür ışığın yeşil ve mavi bölgesi uygunken, feldispat için infrared bölgesi daha uygundur. Lazerle uyarma, optiksel tarihlemede en çok kullanılan uyarma türüdür. Çünkü kullanılan argon-iyon lazerini tek bir dalgaboy (514.5nm) olan yeşil bir ışında odaklamak mümkündür. Diğer bir üstünlüğü de lazerden kolaylıkla ve yeterli (2watt nominal hızda) güç elde edilebilmesidir. Tipik olarak örneğe verilen güç şiddeti $5-50\text{mWcm}^{-1}$ aralığındadır.

Optik uyarmalı lüminesansda Sürekli Dalga (CW) uyarımı kullanılır ve uyarma sırasında yayılan lüminesans bulunabilir. Uyarıcı ışık ile yayılan ışık arasındaki ayrımı yapmak için filtreler kullanmak gerekir.

Kuvars ile yapılan ilk çalışmalarda, CW modda Argon Lazerinden gelen yeşil ışık (514.5 nm) kullanımı, görünür ışığın enerjisinin kuvarsdaki OSL elektron tuzaklarını doğrudan boşaltmak için yeterli olduğunu göstermiştir. Daha uzun dalgaboylu ışık, kuvarsdaki OSL uyarılmasında verimsizliği arttırmıştır (Aitken 1990, Botter-Jensen et al. 1991, Botter-Jensen et al. 1994). İnfrarede yakın dalgaboyları ile feldispatta lüminesan elde edilebilir. Örneğin bir ya da daha çok uyarma nedeniyle 850 nm (1.46 eV) civarında rezonans göstermesi, elektronun iki aşamalı yolla, uyarılmış

seviyeye geçmesiyle yani termo-optiksel işlem yoluyla açıklanabilmiştir (Hütt et al. 1988). Enerji fazlalığı 2 eV (~600nm) civarındaki IR fotonlarının resonansından açığa çıkan elektronlar, dalgaboyu azaldıkça verimliliğin artması dolayısıyla direk olarak iletkenlik bandına giderler. Kuvars ve feldispatın uyarılma karakteristikleri arasındaki fark, onların çeşitli amaçlarla kullanılmasına olanak sağlar. Örneğin, kuvarsın saflığını (feldispat içerip içermediğini) ölçmek için kullanılabilir (Spooner and Questieux 1990, Botter-Jensen and Duller 1992).

Optik uyarmalı lüminesans yönteminde uyarma için halojen ve xenon lamba gibi akkor kaynaklar da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaynakların dalgaboyları geniş bir aralığa yayıldığı için istenilen dalgaboyunu seçmede kolaylık sağlamaktadır. Ancak bu geniş aralığın istenen bölümü dışındaki dalgaboylarını önlemek için iyi düzenlenmiş filtre sistemleri kullanmak son derece önemlidir. Örneğe verilen güç, seçilen dalgaboyu aralığının genişliğine bağlıdır. Dalga boyunun azalmasıyla uyarmanın etkisi de artar. Mavi ve yeşil dalgaboyları dışında geniş band modunda halojen lamba kullanıldığında lazerle elde edilen sonuç, mavi ve yeşil dalgaboyları ile elde edilen sonuçlarla uyum içindedir. Halojen lambada örneğe verilen güç şiddeti 50mWcm^{-1} civarındadır. Ömrünün bir kaç yüz saat sürmesi ve oldukça ucuz olması nedeniyle halojen lambanın kullanılması önerilir.

Kuvars ve feldispatın OSL ölçümlerinde kullanılan tipik filtreler Hoya U-340, Schott UG-11 ve Schott BG-38 ile BG-39 dir. Schott UG-11 filtrelerinin infrared geçirgenli cama sahip olduğu bilinmektedir.

3.3.10. Radon gazı kaçağı

İncelenen örneğin oluşumundan günümüze değin sabit bir hızla radyasyon aldığı, radyasyon hızının ölçülebilir olduğu varsayılmaktadır. Radyasyon dozu ise temelde doğadaki Uranyum (^{238}U), Toryum (^{232}Th) ve Potasyum (^{40}K) dan kaynaklanmaktadır. Uranyum ve Toryum zincirleri dengede olduğu sürece radyasyon doz hızında önemli bir değişme beklenmez. Ancak bazı durumlarda Uranyum zincirinden (Tablo 3.2) Radon'un gaz halinde kristal yapıdan kaçtığı

gözenmiştir (Aitken 1985, Aitken 1998). Bu miktar ölçülerek radyasyon doz hızında düzeltmeler yapmak mümkündür.

3.3.11. Nem miktarı

Sediman ya da toprak çatlaklarındaki su, örneğe ulaşan radyasyonun bir bölümünü soğurur. Bu nedenle de nemli topraktaki doz hızı aynı toprağın kurusundan daha az olur. Eğer bu etki ihmal edilirse belirgin miktarda bir yaş gözardı edilmiş olur. Sedimanın nem miktarı tayin edilebilir ve sonuçlar düzeltilebilir. Ancak yapıya sıkıca bağlı olan ve ısıtma ile kolaylıkla çıkarılmayan sudan dolayı, yaş hesabına % 5 civarında bir hata gelebilir. Kurak çevrelerde böyle bir problemle karşılaşmaz (Aitken 1998).

3.3.12. Normalizasyon

Diskler üzerine konulan örneklerin eşit ağırlıkta olması sağlansa bile her bir diskteki örneğin, özellikle de kum büyüklüğündeki tanelerin, aynı OSL duyarlılığına sahip olacağı kesin değildir. Çünkü OSL sinyalinin şiddeti diskten diske değişebileceği gibi taneden taneye de farklılık gösterecektir. Bu nedenle her disk duyarlılığı için ölçümlerin ortalamasını almak gerekir. Bu amaçla kullanılan en uygun yöntem 'doğal normalizasyon yöntemi'dir. Bunun için diskler üzerine örnekler yerleştirildikten sonraki adım, uyarıcı ışık kaynağının her bir diski kısa bir süre (0.1 s) uyararak OSL sinyalinin ölçülmesidir. Belirgin bir yaş azalmasına neden olacak sinyaldeki azalmanın %1 ya da 2 den daha çok olmaması için uyarma işleminin çok kısa olması gereklidir. Bu nedenle işlem 'kısa- ışık normalizasyonu' diye de adlandırılır (Aitken, 1998).

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada Kocaeli ili'nin Kullar bölgesinde, depremin oluşturduğu fayın üzerinde açılan bir hendekden çıkarılan sediman örnekleri incelenmiştir (Resim 4.5). Bu bölümde yaş tayininde kullanılan OSL ve TL ölçü sistemleri ile OSL sisteminde kullanılan cihazların kalibrasyonu, yıllık doz miktarının ölçülmesinde kullanılan yöntemler, örneklerin fay üzerinde açılan hendeklerden alınması ve ölçüme hazırlama işlemleri ve ölçümler ile ilgili gerekli ayrıntılar anlatılmaktadır.

4.1. OSL Sistemi

Kullanılan OSL sistemi OSL cihazı, alfa sayma cihazı ve beta kaynağından oluşur.

4.1.1. OSL cihazı

Bu çalışmada 9010 MODEL Optical Dating System (Littlemore scientific Engineering –ELSEC) cihazı kullanılmıştır (Resim4.1). Cihaz, bilgisayar kontrol sistemi, arayüz (interface) modülü, örnek tablası, örnek tablasının yerleştirildiği modül, örnek aydınlatıcısı ve fotoçoğaltıcı (PM) tüp olmak üzere 6 ana parçadan oluşmaktadır (Şekil 4.1).

i) Bilgisayar kontrol sistemi

Bu sistemde 80386 işlemcisi ile 40 MB hard diskli, renkli VGA ekran IBM-PC kullanılmakta, hızlandırıcı sürücü kartı ve counter kartı bulunmaktadır.

ii) Arayüz modülü

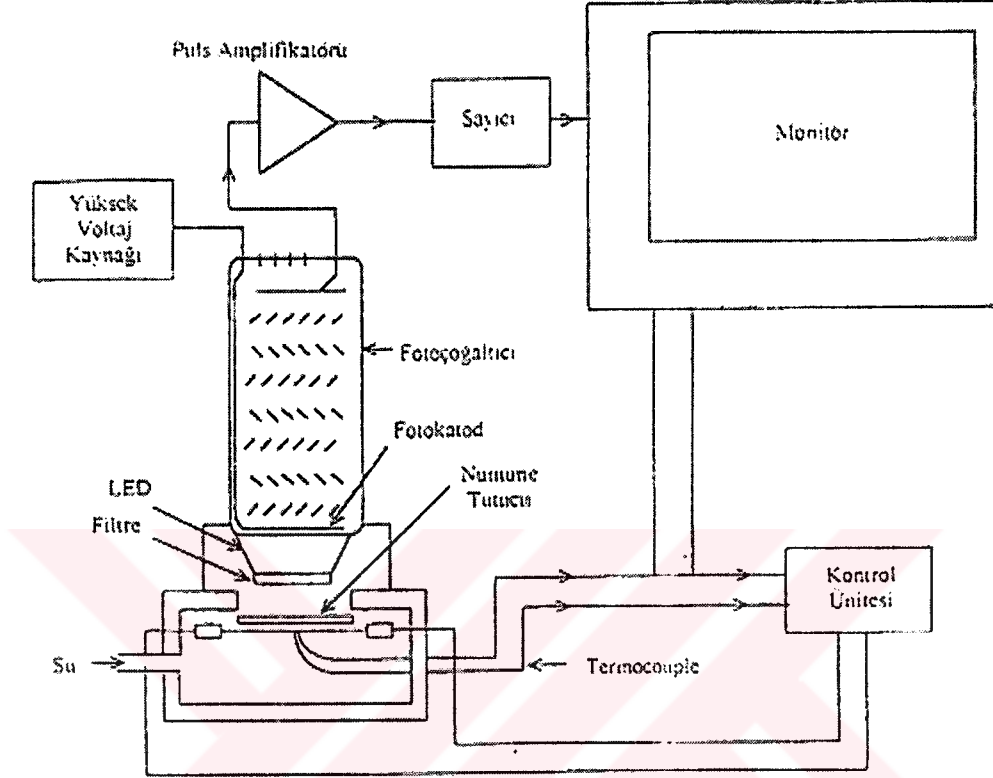
Arayüz modülü yüksek ve düşük voltaj kaynakları, infrared (IR LED) için kontrol devresi, LED akımı, örnek sıcaklığı ve IR şiddeti için göstergeler, halojen lamba modülü ve kontrol devresinden oluşmaktadır.

iii) Örnek tablası

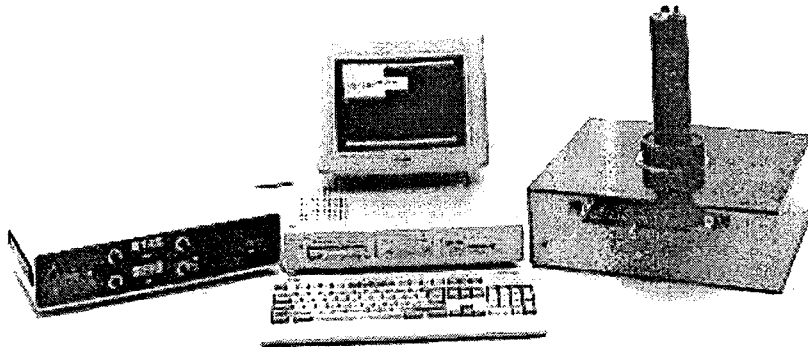
Örnek tablasının üzerinde 10 mm çapında, standart 64 yuvarlak bölme bulunmaktadır (Resim 4.2). Örneklerin hazırlanıp üzerine konulduğu diskler bu bölmelere yerleştirilerek üzerine ışık düşürülür.

iii) Örnek tablasının yerleştirildiği modül

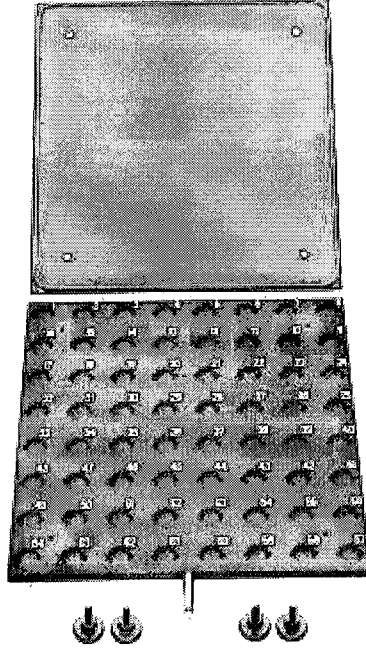
Fotoçoğaltıcının hemen altında, bilgisayarla kontrol edilen, örnek tablasını X-Y düzleminde hareket ettiren bir motor sistemi bulunmaktadır. Bu bölümde örnek sıcaklığı 22.5°C da sabit tutulur.



Şekil 4.1. OSL cihazının şeması.



Resim 4.1. OSL cihazının görünümü.

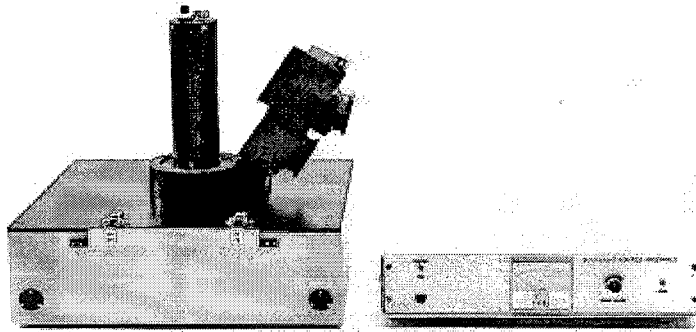


Resim 4.2. Örneklerin yerleştirildiği tabla.

iv) Örnek Aydınlatıcı

Örneğin aydınlatılması için çeşitli modüller bulunmaktadır; IR LED modülü, filtrelili lamba modülü, fiber optik modülü ve yeşil lazerli modül. Bu çalışmada filtrelili lamba modülü kullanılmıştır (Resim 4.3).

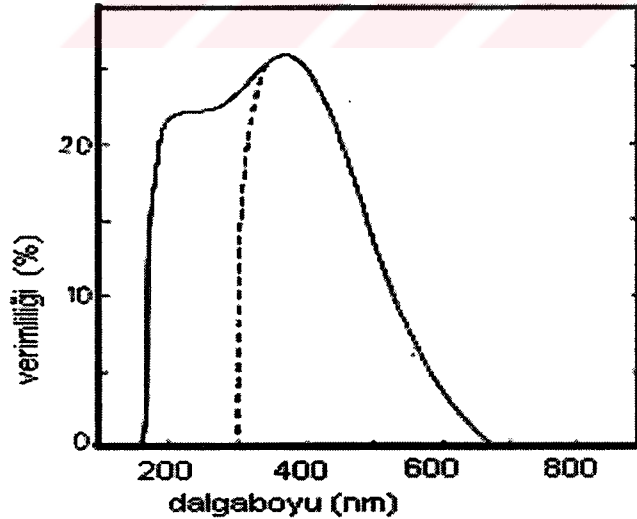
150 W lık tungsten-halojen lambasından gelen ışık istenilen dalga boyuna indirmek için optik filtrelerden geçirilir. Bu modül özellikle kuvarz için kullanılan 514 nm dalga boylu ışığın sağlanması için düzenlenmiştir.



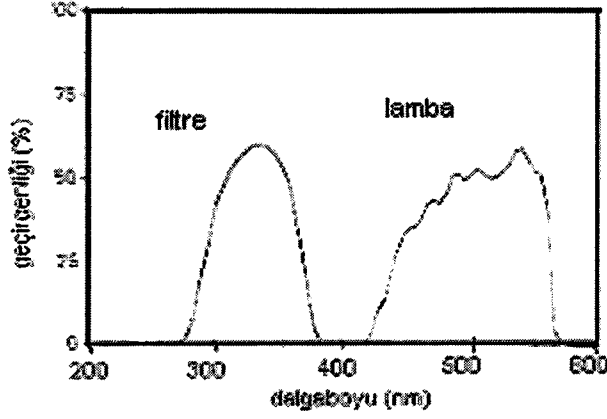
Resim 4.3. Filtrelili lamba modülü.

v) Fotoçoğaltıcı tüpü

Fotoçoğaltıcı tüp; fotoduyarlı katot, elektron çoğaltıcı rolü oynayan dinodlar (dynodes) ve normal olarak 1400 V civarında tutulan bir anottan oluşur. Işık fotonları fotoelektrik katot elemanına (örneğin; potasyum- sezyum) çarparak elektron emisyonunu sağlar. Bu elde edilen elektronlar ilk dinoddaki pozitif voltaja doğru hareket eder. Dinod elemanına (örneğin; Antimuan-sezyum) bağlı olarak çarpan her bir elektron iki veya üç elektron çıkışı sağlayabilir. Böylece bir tek elektron bir çok elektron oluşturur. Katoddan çıkan her bir elektron için milyonlarca elektron anota ulaşır. Sonuçta foto katoda ulaşan ışık fotonu anotta elektrik pulsuna çevrilir. Ancak fotoçoğaltıcının farklı dalgalı boyundaki fotonlara aynı duyarlılıkta olmaması nedeniyle bütün fotonlar pulsa çevrilmez . Bu durum dalga boyuna bağlı olarak fotoçoğaltıcının etkinliğini % 25 e kadar düşürebilir. Tipik olarak iki alkali element içeren PM tüpü, Thorn EMI 9235, 400 nm civarında maksimum etkinlik gösterir (Şekil 4.2 a) . Bu nedenle hem kuvars, hem de feldispatın lüminesans spektrumunu gözlemek için uygundur (Botter-Jensen 2000).



Şekil 4.2. a) PM tüpünün etkinliği (Aitken 1998).

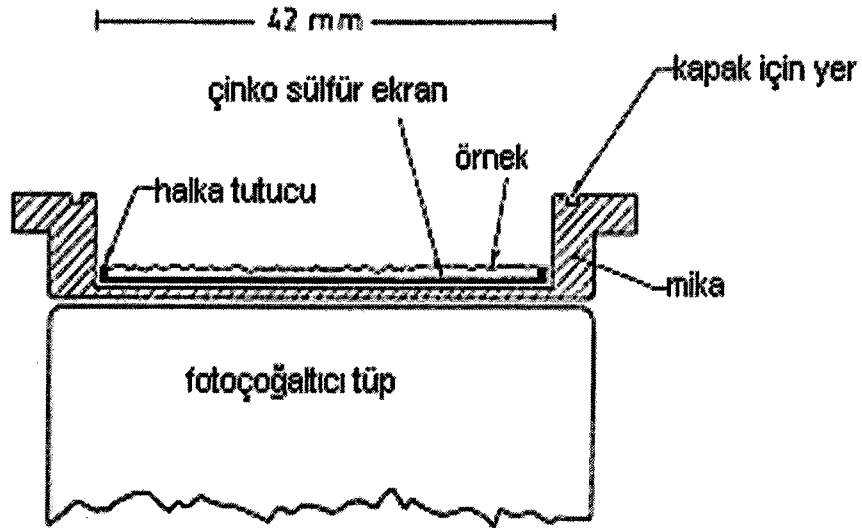


Şekil 4.2. b) Halojen lambalı uyarma için uygun bulunan filtrenin geçirgenliği (Botter-Jensen and Duller 1992).

Bu çalışmada, Thorn EMI 9235 model PM tüpü kullanılmıştır. Uyarma ışığından gelen ışınların PM tüpünde sayılmaması ve örnekten uyarılma sonucu açığa çıkan ışınların yalnızca kuvarsa ait olanlarının PM tüpüne ulaşması için PM tüpünün altına Hoya-340 optik filtre yerleştirilmiştir. Şekil 4.2. b de bu filtrenin hangi aralıktaki dalga boyunu PM tüpüne ulaştırdığı ve uyarmayı yapan halojen lambalı ışık kaynağının dalga boyu aralığı gösterilmektedir.

4.1.2. Alfa sayma sistemi

Bu cihazla örneklerin içindeki toryum ve uranyumdan gelen alfa katkıları ölçülmektedir. Cihazdaki PM tüpünün tepesine konulan örnekten çıkan her alfa parçacığı ekrana çarparak bir ışıdamaya (sintilasyon) üretir ve bu da fotokatodun fotoelektronlar üreterek çoğaldıktan sonra PM nin anotunda bir elektrik pulsu oluşturur. Bu puls, sayma cihazının üzerinde görünür. Işıldamanın oluştuğu ekran, çinko sülfür serpintisi ile oluşturulmuştur ve toz halindeki örnek bununla doğrudan temas edecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.3). Bu ekranın ya da bölmenin temiz olması son derece önemlidir. Her kullanımdan sonra deterjan ya da metanol ile temizlenip önceki kullanımlardan gelebilecek hatalardan kurtarılabilir. Çinko sülfürün önemi, alfa parçacıkları tarafından üretilen ışıdamaya uygun pulsların, beta parçacıkları ve gamma radyasyonu tarafından üretilenlerden çok daha fazla olmasıdır. Örnek ve fotoçoğaltıcı ışığa duyarlı olduğundan, karanlık bir yerde tutulmalıdır (Aitken 1985)



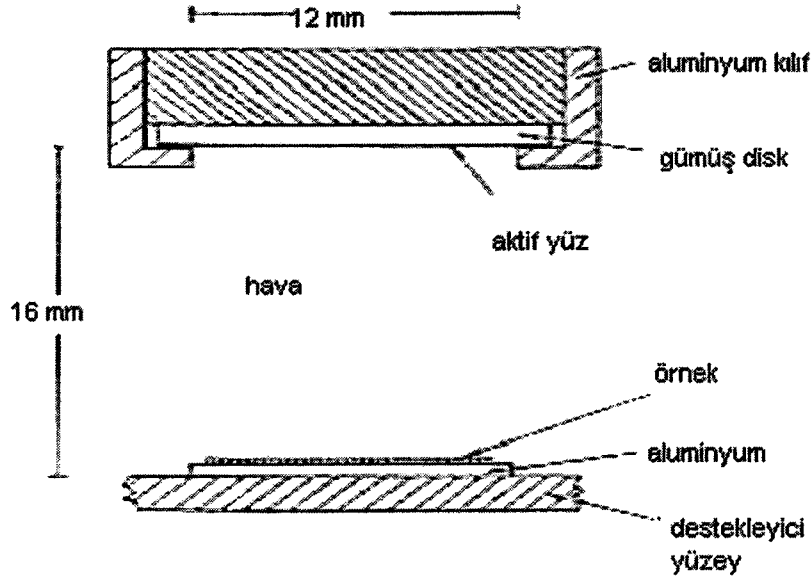
Şekil 4.3. Alfa kaynağında örnek sayımının gerçekleştiği yer.

Birkaç voltta yüksek pulslar toplandıktan sonra ayırıcı (diskriminatör) birimine gönderilir. Bu birim daha önce ayarlanmış olan eşik (Threshold) voltajından daha büyük voltaj pulslarını kabul eder. Bu yolla gamma ve betaya uyan pulslar çıkarılır. Diskriminatörden gelen çıkış pulsları sayaca gönderilir ve kaydedilen sayım kullanıcının istediği zaman aralığında belirlenir (print edilir).

4.1.3. Beta ışın kaynağı

Doz ekleme yöntemiyle yaş tayini için örneklerin yapay olarak ışınlanması gerekir. Bu çalışmada, beta ışınlanması yapılmıştır. Bu nedenle de yarı ömrü 28 yıl olan Sr-90 radyoizotopu kullanılmıştır.

Beta kaynağında radyoizotop bileşiğinin ince bir katmanı, 1mm kalınlığındaki gümüş diskle birleştirilmiştir. Önyüzü 0.1 mm gümüşle perdelenmiştir ve ince altın ya da paladyum kaplamayla paslanmaya karşı korunmuştur. TL ve OSL için kullanılan standart kaynak 12 mm çapında aktif alana ve 1.5 GBq (40 mCuri) lik aktiviteye sahiptir. Tipik olarak örneğin üzerinde 16mm uzaklıkta yer alır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Beta kaynağının şeması (Aitken 1998)

4.2. OSL Sistemi İçin Kalibrasyon İşlemleri

OSL sisteminin kalibrasyonu, OSL cihazının, alfa cihazının ve beta kaynağının kalibrasyon işlemlerini içerir.

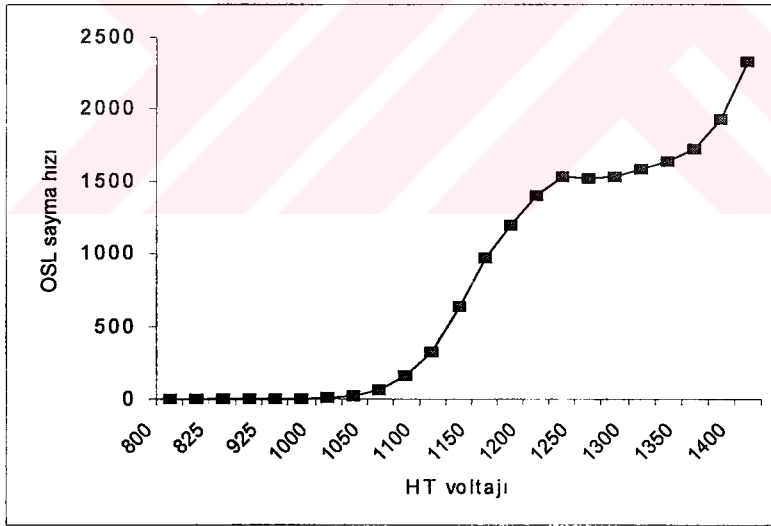
4.2.1. OSL cihazının kalibrasyonu

OSL cihazının kalibrasyonu iki aşamada yapılır. Birincisi yüksek voltajın (HT-high tension), ikincisi de eşik (threshold) voltajının kalibrasyonudur.

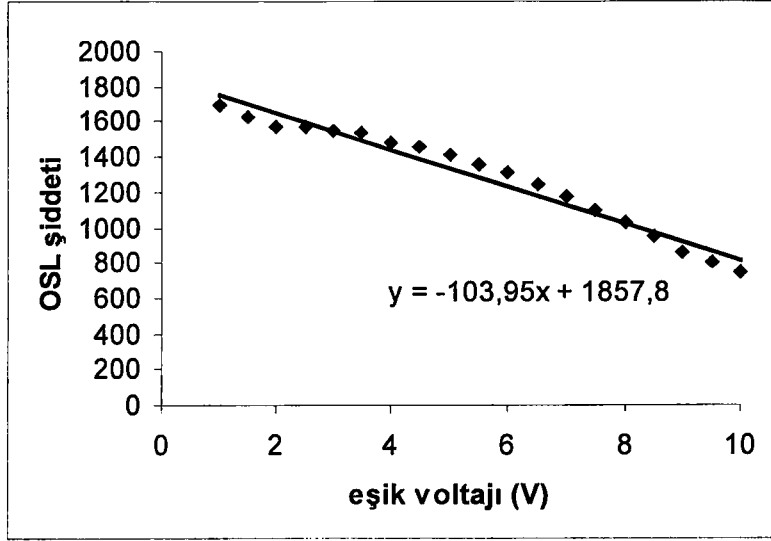
PM tüpünün duyarlılığı kendisine sağlanan voltaja bağlıdır. Voltaj arttıkça duyarlılık artar. Voltaj çok yükseltirse background sayımı artar. PM tüpünün tepesindeki eşik voltajını kontrol eden potansiyometre, HT voltajının ölçümleri sırasında 3 değerine ayarlanmıştır. Aletin hangi yüksek voltajda ve eşik voltajında çalıştırılması gerektiğini bulmak için başlangıçta örnek malzeme olarak standart bir ışıldama kaynağı olan ^{14}C kullanılmıştır. Kalibrasyonda kullanılan ışıldama kaynağının PM tüpünün tam altında sabit durması bilgisayar kontrol sistemi ile sağlanmıştır (LEDler kapalıyken).

Işık kaynağının şiddeti, HT voltajının değeri yirmi beş Volt aralıklarla 800-1400 V arasında 1s süreli 10 periyotluk uyarmlar gerçekleştirilerek ölçülmüştür. Ayarlanan HT voltajlarına karşı elde edilen görünür ışımaya yoğunluğu ile Şekil 4.5 deki grafik elde edilmiştir. Bu eğrinin plato kısmından en düzgün nokta seçilerek OSL cihazı bu voltaja ayarlanmıştır (1260 V).

Eşik voltajının kalibrasyonu, PM tüpünden düşük seviyede gelen sayımları elemek için yapılan bir kalibrasyondur. HT voltajı ayarlandıktan sonra threshold düğmesi 1 V ile 10.0 V değerleri arasında değiştirilerek OSL şiddeti ölçülmüş ve Şekil 4.6 deki grafik elde edilmiştir. Grafikten eşik değerini bulmak için % 85 kuralı uygulanmıştır (Aitken,1985). Yöntemde en ideal doğru elde edilerek doğrunun y-eksenini kestiği nokta bulunur. Bulunan bu değer %85'ine karşılık gelen voltaj eksenindeki değer eşik değeridir ki bu da 2.6 V olarak bulunmuştur.



Şekil 4.5. OSL cihazının HT voltajının kalibrasyon eğrisi.



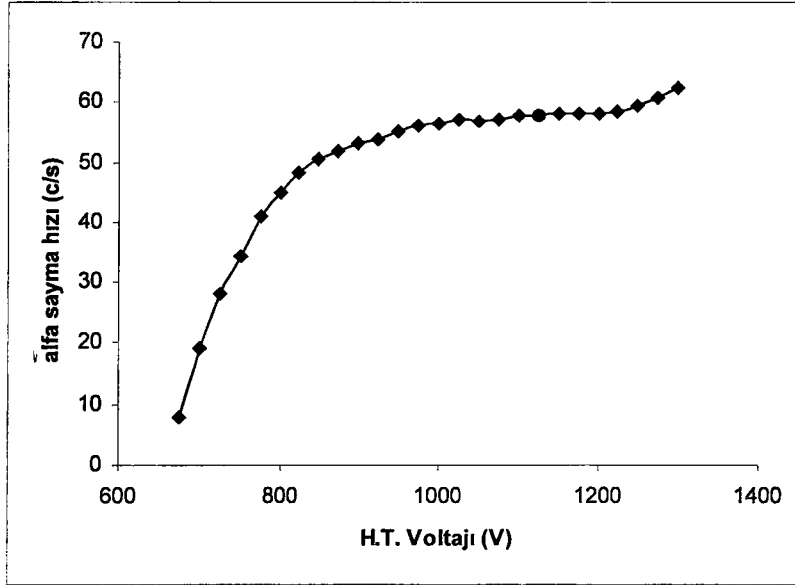
Şekil 4.6. OSL cihazının eşik voltajı kalibrasyon eğrisi.

4.2.2. Alfa cihazının kalibrasyonu

Kullanılan 7286 düşük düzeyli alfa sayacında EMI 6097B tipi PM tüpü bulunmaktadır. Her PM tüpü farklı özelliklere sahip olduğundan 7286 düşük doz alfa sayacı verilen tüpe göre kalibre edilmiştir. Bu işlem arka paneldeki HT ve eşik voltajı ayarlanmasını da içerir.

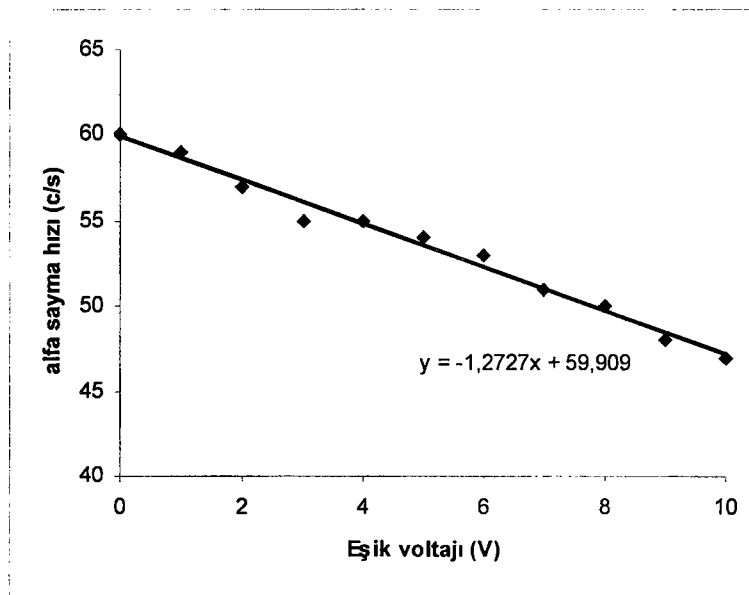
Alfa cihazının Kalibrasyonunda toryum ve uranyum aktiviteleri içeren kaynak kullanılmaktadır. Kaynak, kullanılacak örneklerdeki gibi toz halinde olmalıdır. Burada kalibrasyon kaynağı olarak LLC (Lux Lamp Cover) kullanılmıştır.

Arka paneldeki eşik voltaj kontrolü 0.25 V'a ayarlanmış ve HT voltajı 675 V'dan başlatılarak, 25 V aralıklarla, 1300 volta kadar 10 s'lik periyotlarla sayımları alınmıştır. HT voltajı değiştirildikten sonra sayma işlemi için en az 5 dakika beklenmiştir. Grafik, alınan HT voltajlarına karşılık elde edilen sayımların ortalaması alınarak çizilmiştir (Şekil 4.7). Çizilen bu grafiğin düz bölgesindeki bir noktadan HT voltajının kalibrasyon değeri saptanmıştır . Bu değer 1150 voltur.



Şekil 4.7. Alfa cihazının H.T. voltajının kalibrasyon eğrisi.

HT voltajı ayarlandıktan sonra eşik voltaj değeri alınması gerekir. Eşik voltaj kontrolü PM tüpünden gelen pulsları minimum pik voltajına ayarlar. Bu kontrol 0–2.5 volt arasında 10 turlu bir potansiyometre düğmesi ile yapılmıştır. Eşik voltaj değerleri ile bu değerlerin yukarda söylenen aralıkta değiştirilerek elde edilen ortalama sayımları kullanılarak bir grafik çizilmiştir (Şekil 4.8). Bu grafikten eşik voltajı kalibrasyon değeri, 1.75 V olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.8. Alfa cihazının eşik voltajı kalibrasyon eğrisi.

4.2.3. Beta kaynağının kalibrasyonu

Beta kaynağından verilen doz, örneği oldukça güçlü etkilemektedir. Örneğin kalınlığı, alındığı katman ve hatta optiksel geçirgenliği, kalibrasyonu etkileyen faktörlerdir. Sadece örnekleri kullanarak kalibrasyon yapılması kolay olmadığı için, kalibre edilmiş gama ışını ile alınan ölçümlerin karşılaştırılması tercih edilen bir işlemdir. Yani bilinen bir gama dozuyla örnekte oluşan termoluminesans ölçülür ve beta kaynağından gelen ışınlarla aynı örnekte oluşan TL karşılaştırılır. Karşılaştırma yapıldığında her durumda elde edilen TL seviyelerini birbirine uyacak şekilde ışınlama zamanını ayarlamak gerekir. Kalibrasyon sıkıcı bir işlem olmakla beraber rutin kullanılan beta ışınlama için gama kaynağına göre kalibrasyonu yapmak zorunludur (Aitken 1985).

OSL sistemi içinde ışınlama kaynağı olarak kullanılan Sr-90 beta kaynağının kalibrasyonu, doz hızı bilinen bir gama kaynağı ile dozlanmış olan $Al_2O_3:C$ dozimetreleriyle gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işleminde kullanılan dozimetreler Almanya GSF (Forshüngenszentrum) Enstitüsünden 14.2 mGy'e dozlanmış olarak sağlanmıştır. Kullanılan dozimetrelerin TL sayımları Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği TL -OSL laboratuvarındaki Harshaw 3500 TL cihazıyla 12.77 μC olarak bulunmuştur. Bu ölçümler alınırken, TL cihazının ısıtma hızı $2^{\circ}C/s$ olup ısıtma süresi 200 s dir. $100^{\circ}C$ de 10 s ön ısıtma yapılarak ısıtma süresi başlatılmıştır. Daha sonra deneyde kullanılacak beta kaynağıyla 56 mGy'e dozlanan dozimetrelerden tekrar aynı TL cihazı ile alınan TL sayımlarının 35.41 μC olduğu saptanmıştır (Tablo 4.1). Basit bir orantıyla, açığa çıkan yük miktarının gerçekte 39.375 mGy'lik dozla açığa çıkmış olması gerektiği hesaplanmıştır. Aradaki azalmanın yüzdesi bulunarak beta kaynağının saptanmış ilk doz hızından (0.055 Gy/s) çıkarılmıştır. Buradan elde edilen sonuç, kaynağın doz hızının 0.0386 Gy/s'ye düştüğünü göstermiştir. Sr-90 Beta kaynağının doz hızındaki azalma belli olduğundan (yılda % 2.48 azalma; Aitken 1985) bundan sonraki doz hızı düzeltmeleri kalibrasyon sonucu elde edilen doz hızı üzerinden 6 ayda bir tekrarlanmıştır.

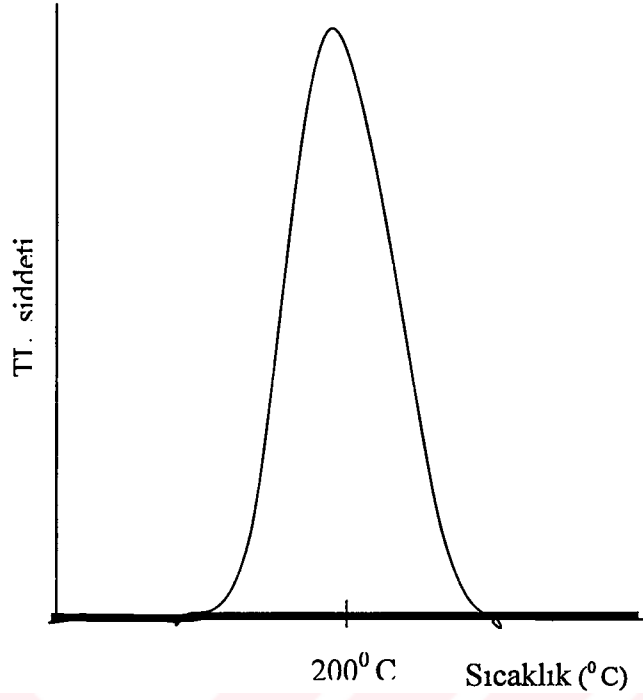
Tablo 4.1. Beta kaynağının kalibrasyon işlemi için dozimetrelerden alınan doz değerleri.

TLD Dozimetreleri	Doz:14.2mGy Pik alanı (μC)	Doz:56mGy Pik alanı (μC)
1	12.78	35.04
2	13.35	35.12
3	10.63	33.50
4	14.33	37.99
TOPLAM	51.09	141.65
ORTALAMA	12.77	35.41

4.2.3.1. $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ Dozimetrelerinin özellikleri

Beta kaynağının kalibrasyon işlemlerinde ve yıllık çevre radyasyonunun gama bileşenini ölçmekte kullanılan $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetreleri, Almanya GSF enstitüsünden sağlanmıştır. Bu örnekler 2050°C de eritilerek tek uzun kristal çubuk ya da 1mm kalınlığında kristal diskler halinde elde edilir. Bu çalışmada disk şeklindeki dozimetreler kullanılmıştır. $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetresinin doz cevabı yaklaşık 1 Gy'e kadar lineer bir artış gösterir. En çok kullanılan TLD-100 dozimetrelerinin yaklaşık 30-50 kat daha fazla duyarlılıkları vardır. Dozimetrelerin duyarlılığı elde edilme koşullarından kaynaklanmaktadır. Al_2O_3 de karbon nedeniyle oluşan geniş oksijen boşluğunun fazlalığı anyon eksikliği yaratır. Bu da F . ve F_+ kusurları oluşturarak TL duyarlılığı yüksek olan yeniden birleşme merkezleri üretir (Chen and McKeever 1997).

$\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ 'ün sıcaklık eğrisindeki dozimetrik piki 200°C civarındadır (Şekil 4.9). TL ölçümündeki sönme son derece küçüktür. Bu dozimetreler kullanılmadan önce genellikle bir defaya mahsus olmak üzere 1saat 900°C de bekletilir. Daha sonra çok yüksek dozlar ölçülmedikçe ısıtma işlemi uygulamadan yeniden kullanılabilir.



Şekil 4.9. Al₂O₃:C dozimetresinin TL piki.

4.3. TL Okuyucu

Kuvars ve feldispat araştırmasında kullanılan TL cihazının yapımı için ilhamın ana kaynağı, şüphesizki elle çalıştırılan ilk Oxford dizaynıdır (Aitken 1968). Bu daha sonra bir kaç tarihleme laboratuvarında TL okuyucu modeli olarak kabul edilmiştir. İlk Oxford TL sistemi vakum odasında ısıtıcı çubuk içeren, elle çıkarılıp taşınabilir PM tüpü montajı ve PM sinyalinin ısıl eğriler olarak kaydedildiği elektronik sistemler içerir. Bundan sonraki aşamada doza bağlı olmayan sürpriz ışımalarından kaçınmak için, özellikle ince taneli TL ölçümlerinde, ısıtma işleminden önce örneğin konulduğu bölümdeki havayı dışarı çıkaran ve yerine azot gazı dolduran bir mekanizma geliştirilmiştir. En son aşama olarak da rutin ölçümler için kapasitenin arttırıldığı 24 örneği birden otomatik olarak kontrol eden TL okuyucuları geliştirilmiştir (Botter-Jensen et al. 1983, Botter-Jensen 1988).

Termoluminesans ölçümlerinde çok hassas sonuçlar elde etmek amacıyla doza bağlı olmayan (sahte) sinyallerden kaçınmak için, özellikle ince tanelerin TL ölçümlerinde;

i) Okuma işleminden önce örnek odasındaki havayı boşaltmak ,

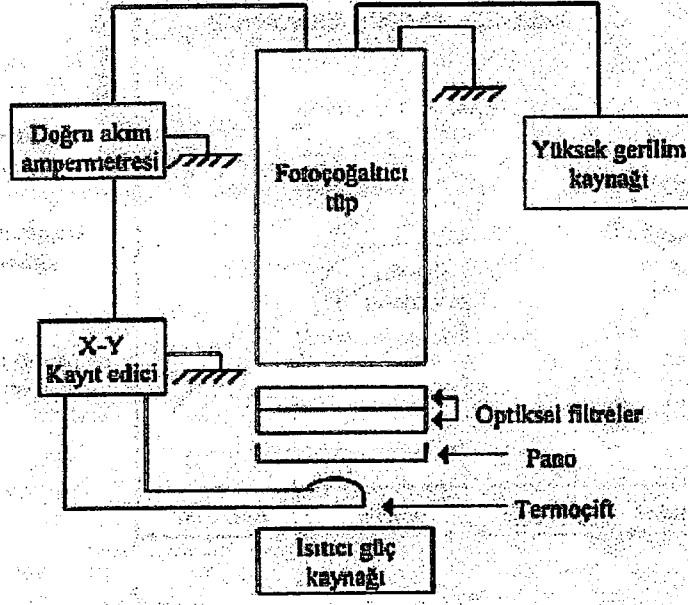
ii) Boşaltmadan sonra, ısıtmadan önce odayı azotla doldurmak gerekir.

Termoluminesans dozimetre (TLD) okuyucuları, ister ticari ister araştırma amaçlı olsun Şekil 4.10 da gösterildiği gibi, örnek ısıtma, ışığı toplama ve saptama, elektronik ölçme ve görüntüleme-kayıt sistemi gibi bölümlere sahiptir (Resim 4.4).

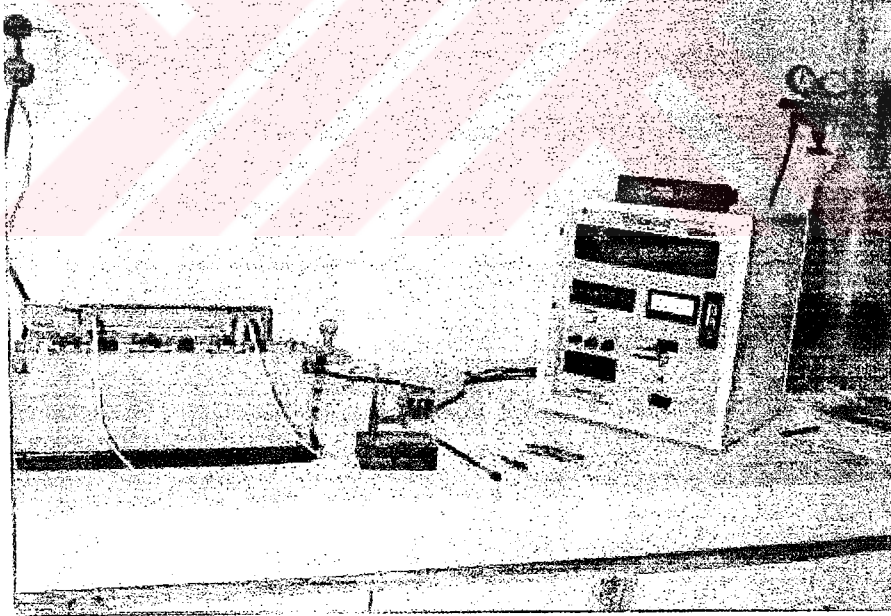
Örneklere düşük sıcaklık pikinin doz ölçümüne katkısını yok etmek için ön ısıtma, doz ölçümü için tavlama ve örnekdeki tüm tuzaklardan elektronların tamamen çıkması için yüksek sıcaklıklarda belli bir süre tutma gerekmektedir. Ölçme sistemi, fotoçoğaltıcı ve x-y kaydediciden oluşur. Okuma sisteminde kristalle fotoçoğaltıcı tüpün fotokatodu oldukça yakın tutulmuştur. Aksi takdirde ışık şiddeti uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalacağından ışık verimi azalır (Engin 1996).

Isıtma sisteminde kırmızı ötesi ışınları tutmak için Corning Glass-4305 filtre kullanılmıştır. Fotoçoğaltıcı tüpte meydana gelen akım, ampermetreyle okunarak toplam akım değeri dijital teknikle sayıya dönüştürülmektedir. Panoda okunan değer fotoçoğaltıcıda meydana gelen akım değeriyle orantılıdır. Deneyde kullanılan fotoçoğaltıcı tüpü P4232BA tipidir.

Termoluminesans cihazının kalibrasyon hatalarından kurtulmak için ışık kalibratörleri cihazın içine konmuştur. Işık kalibratörleri radyoaktif kaynak (^{14}C) plastik sintilatör veya inorganik fosforlar içerir. Cihazın kalibrasyonu günde bir kez kontrol edilir.



Şekil 4.10 Termolüminesans okuyucudaki temel birimler.



Resim 4.4. Termolüminesans okuyucunun görünümü.

4.4. Yıllık Dozun Bulunması

Jeolojik örneklerin doğal olarak soğurduğu toplam doz, örnek içindeki radyoaktif maddelerden ve çevreden gelen gama ışınları ile alfa ve beta parçacıklarından kaynaklanmaktadır. Bu doz miktarının kaç yılda biriktiğini bulmak için de örneklerin bir yılda soğurduğu doz miktarını hesaplamak gerekir.

Bu çalışmada, yıllık doz hızına alfadan gelen katkılar alfa sayma cihazı ile, betadan gelen katkılar alfa cihazı ve potasyum tayini ile, gama katkılarını ise gama dozimetreleri ile saptanmıştır. Bu ölçümlere geçmeden önce yaşı oldukça etkilemesi nedeniyle topraktaki nemin tayinedilmesinde yarar vardır.

4.4.1. Topraktaki nemin tesbiti

Örneklerdeki yıllık doz hesabının sağlıklı yapılabilmesi için örnek içindeki su miktarlarını tespit etmek gerekir. Bu amaçla, toprak örnekler, ODTÜ Kimya Bölümü Analitik Laboratuvarına getirilmiş ve burada ilk önce örneklerin içine konularak tartılacağı porselen krozelere ağırlıkları ölçülmüştür. Porselen krozelere 200⁰C de 30 dakika fırında bekletilmiş, ısıtma işleminden sonra nem almaması için desikatörde soğutulmuş ve bu işlem sabit tartım elde edilinceye kadar tekrarlanmıştır. Daha sonra bu krozelere elle dokunmadan maşayla tutularak örneklerden bir miktar konulmuş ve üzerine toprağı ıslatacak kadar saf su eklenmiştir. Su ekleme toprağın neme doyduğu ana kadar sürdürülmüş ve fazla su fırında buharlaştırıldıktan sonra krozelere tekrar tartılmış ve boş krozenin kütlesi bundan çıkarılarak nemli örnek kütlesi saptanmıştır. Aynı krozelere 200⁰C de fırında örnekler tamamen kuruyuncaya kadar bekletilmiş ve krozelere bu haliyle tartılıp boş kroze ağırlıkları çıkarıldıktan sonra kuru örnek kütlesi de tayin edilmiştir. Nem miktarı nemli örneğin kütlesi ile kuru örneğin kütlesi arasındaki farkdan bulunup yüzde orana çevrilmiştir, Tablo 4.2.

Tablo 4.2. Çalışılan üç örnekteki nem yüzdelerinin bulunması, 1: boş krozelerin kütlesi, 2: kroze ve nemli örnek kütlesi, 3: kroze ve kuru örnek kütlesi, 4: nemli örnek kütlesi 5: örnek içindeki nem kütlesi, 6: örnek içindeki nem yüzdesi.

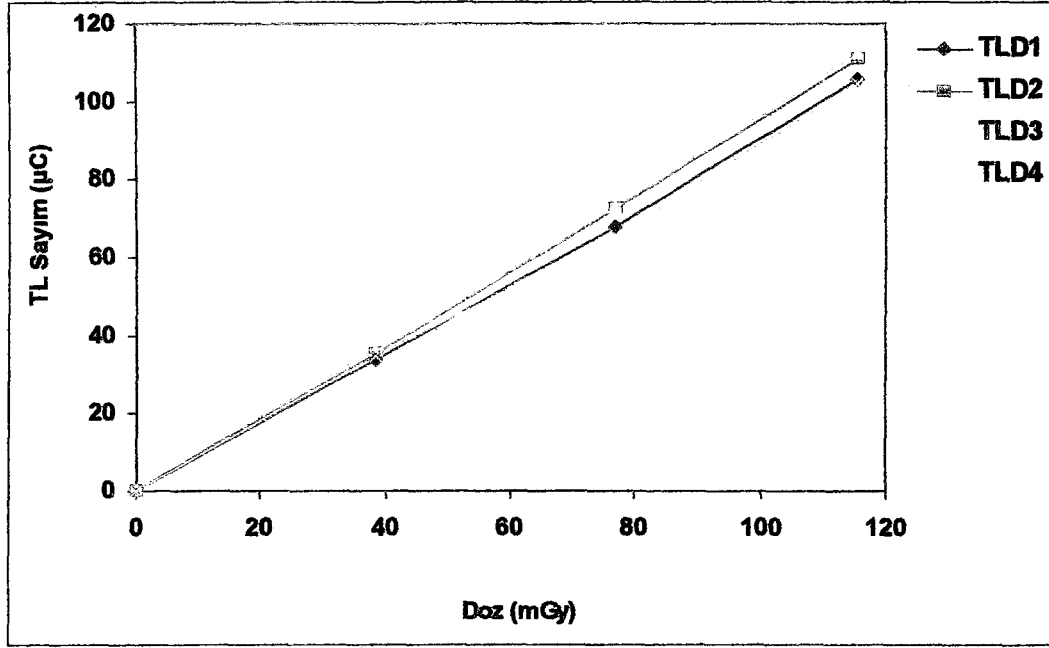
örnek	1	2	3	4	5	6
1	24.6842	28.7220	27.5810	4.0378	1.141	28.25
2	25.2718	29.3515	28.1594	4.0797	1.1921	29.22
3	23.0563	26.9734	25.9639	3.9171	1.0095	25.77

4.4.2. TLD dozimetreleriyle yıllık gama radyasyonunun saptanması

Örneklerin alındığı bölgenin yıllık çevre doz değerini ölçmek amacıyla kullanılacak olan $Al_2O_3:C$ dozimetreleri, öncelikle kalibrasyon eğrilerinin oluşturulması amacıyla beta kaynağı kullanılarak Tablo 4.3 deki dozlarla dozlanmış ve 24 saat sonra bu dozimetrelerden TL sayımları alınmıştır (Tablo 4.3). Daha sonra bu sayımlara karşılık gelen dozlar kullanılarak doz-cevap eğrileri çizilmiştir. Dozimetrelerin aldığı doza karşılık yaptığı ışımaya miktarlarını veren grafik, kalibrasyon eğrisi olarak adlandırılır. İyi bir dozimetre için bu grafik büyük bir doz aralığı için lineer olmalıdır. Şekil 4.11 Kocaeli bölgesinde gömülen dozimetrelerin kalibrasyon eğrisini göstermektedir.

Tablo 4.3. TLD dozimetrelerinin kalibrasyon eğrileri için elde edilen doz-cevap değerleri.

TL sayım (μC)				
Dose(mGy)	TLD1	TLD2	TLD3	TLD4
38.5	33.72	35.2	36.16	34.82
77	67.94	72,44	73.07	65.77
115.5	105.6	110.9	112.2	104.7



Şekil 4.11. Al₂O₃:C Dozimetrelerinin kalibrasyon eğrileri.

Yıllık çevre radyasyonunu ölçmek amacıyla kullanılan 5 adet dozimetre gömülmeden önce 400 °C de 1 saat süreyle Carbolite1100 marka fırında ısıtılmışlardır. Bu işlem, ışık veya başka nedenlerle dozimetrelerde birikmiş olan TL miktarını sıfırlamak içindir. Isıtma işleminden hemen sonra TLD tabletleri kırmızı ışık altında alüminyum kağıtlara sarılarak kalın siyah poşetlere konulmuş daha sonra da siyah kalın plastik kutulara ayrı ayrı yerleştirilmiştir. Bu şekilde hazırlanan 5 adet dozimetre 24 saat içinde 8 Ekim 2000 tarihinde seçilen bölgede 30 cm derinliğe, 30 cm aralıklarla gömülmüştür. 266 gün sonra 1 Temmuz 2001 tarihinde dozimetreler gömüldükleri yerden çıkarılmışlardır. Dozimetrelerden bir tanesi su aldığı için değerlendirmeye katılmamıştır. Çıkarılma işleminden bir gün sonra da TL cihazı ile termoluminesans sayımları alınmıştır. Bu sayımlara karşılık gelen değerler Şekil 4.11 deki kalibrasyon eğrilerinde işaretlenerek dozimetrelerden elde edilen doz değeri saptanmıştır. Gömülü kaldığı süre içinde her dozimetrede biriken radyasyon dozunun belirlenmesinden sonra bir yıllık soğurduğu doz miktarı hesaplanmıştır (Tablo 4.4). Bu bölgede gömülü kalan her dozimetre için bulunan değerlerin ortalaması olan 1.864 mGy/y, bölge için yıllık çevre dozunun ölçüsü olarak kabul edilmiştir. Bu doza nemin etkisi 3.8 denklemiyle hesaplandığında gama doz hızı 1.756 Gy/ky bulunmuştur.

Tablo 4.4. TLD dozimetrelerinin gömüldüğü yerden çıkarıldıktan sonra alınan TL sayımları ve yıllık çevre dozuna çevrilmesi.

TLD Dozimetreleri	266 Günlük TL sayım (nC)	365 günlük TL sayım (nC)	Yıllık çevre dozu (mGy/y)
TLD1	686	941.31	1.952
TLD2	714.1	979.87	1.910
TLD3	768	1053.38	1.776
TLD4	871.1	1195.3	1.819

4.4.3. Alfa sayımı

Yıllık doz hızının hesaplanabilmesi amacıyla onun bileşenlerinden olan alfa sayımının gerçekleştirilmesi için toprak örneklerinin içindeki toryum ve uranyumdan gelen alfa katkıları ölçülmüştür.

Alfa parçacıklarının sahip olduğu 4 MeV lik enerji ile yalnızca havada 25 mm lik bir yol alabileceği bilinmektedir. Bu nedenle de kullanılacak örneğin tanelerinin oldukça ince (2-10) µm olmasına ve tek bir katman olarak yayılmasına dikkat edilir. Bu nedenle her üç örnek istenilen boyutlara getirildikten sonra ayrı ayrı sayımları alınmak üzere Şekil 4.3 de gösterildiği gibi özel mika kap içindeki çinkosülfür ekran üzerine yayılarak ve üzeri sıkıca kapatılarak PM tüpünün tepesine yerleştirilmiştir. Her örnek için bir günlük periyotlarda sayımlar alınmıştır. Toryum ve uranyum zincirinden radon kaçağının tesbiti için ise aynı örneklerin aynı zaman periyodu ile üzerlerindeki kapaklar açılarak sayımlar tekrarlanmıştır. Buradan elde edilen toryum ve uranyum sayımları Tablo 4.5 de verilmiştir. Toryum ve uranyumdan gelen alfa doz hızı ise bölüm 3.2.2.2 de verilen 3.7 denklemiyle bulunmuştur.

$$D_{\alpha} = \frac{1.28a\alpha_{U,Th}}{1+1.5WF} \quad (3.7)$$

Bu denklemdeki a; alfa zayıflatma katsayısı beta zayıflatma katsayısı olan b değerinden bulunmuştur. 0.1mm taneli kuvars için b değeri 0.90 olarak alınmaktadır. Çok ince taneler içinse bu değer yaklaşık 1 kabul edilir (Aitken 1985).

Bu çalışmada ise orta büyüklükte taneler kullanıldığından b değeri ortalama olarak 0.95 alınmıştır. b değeri a'nın 13 katıdır. Buradan a'nın değeri 0.073 olarak bulunmuştur. W'nin 0.1 ile 0.3 arasındaki değerleri için F 0.2 olarak alınmıştır (Aitken 1985).

Tablo 4.5. Alfa sayma cihazından alınan toryum ve uranyum sayımları.

Örnek no	Açık (ks^{-1})		Kapalı (ks^{-1})		Alfa doz hızı (Gy/ky)
	Toryum	Uranyum	Toryum	Uranyum	
1	0.97	1.06	0.72	1.39	0.175
2	1.27	1.45	1.20	1.86	0.234
3	1.13	2.84	1.83	2.89	0.358

4.4.3.1. Radon gazı kaçağı

İncelenen örneğin sabit bir hızla radyasyon dozu aldığı kabul edilir. Bu radyasyon dozu doğadaki uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanmaktadır. Uranyum ve toryum zincirleri dengede olduğu sürece radyasyon doz hızında önemli bir değişme beklenmez. Ancak bazı durumlarda uranyum zincirinden radonun gaz halinde kristal yapıdan kaçtığı gözlenmiştir. Alfa sayma sisteminin açık ve kapalı olarak alınan sayımları ile radon gazı kaçağının tesbiti mümkündür (Tablo 4.5).

4.4.4. Yıllık beta doz hızı

Yıllık doza beta ışınlarının katkısını bulmak için toryum ve uranyumdan gelen katkılar alfa cihazıyla, potasyumdan gelen katkılar da potasyum tayini yapılarak gerçekleştirilmiştir. Toryum ve uranyumdan gelen beta doz hızı denklem 3.4 ve 3.5 ile hesaplanarak Tablo 4.6'da verilmiştir.

4.4.4.1. Potasyum tayini

Örnek içindeki potasyumdan gelen betaların hesaplanabilmesi için örnekteki potasyum miktarını bilmek gerekir. Bu amaçla, AAS (Atomic Absorption

Spectroscopy) yöntemi kullanılmıştır. Analiz Perkin Elmer 305B Atomic Absorption Spectrometer Used in Emission Mode cihazı ile yapılmıştır. Bu yöntemde potasyum miktarı ölçülmek istenen örneklerle, içinde standart potasyum bulunan örneklerin karşılaştırılması yapılmaktadır. Ancak bu yöntemin uygulanmasından önce ölçümü yapılacak örneklerin bir dizi kimyasal uygulamadan geçirilmesi zorunludur. Bu uygulama ODTÜ Kimya Bölümü Analitik Kimya Laboratuvarında aşağıda açıklandığı gibi gerçekleştirilmiştir.

AAS Öncesi yapılan Kimyasal işlemler (Black 1965),

1. Toz haline getirilmiş 0.1 gramlık üç ayrı örnek, ayrı ayrı platin krozelere konulmuş her biri için aşağıdaki işlemler tekrar edilmiştir.
2. Örnek, birkaç damla su ile ıslatılıp üzerine 5 ml % 48'lik HF ve 0.5 ml % 70'lik HClO₄ eklenmiş ve bu karışım ısıtıcı üzerinde beyaz dumanlar görününceye kadar ısıtılmıştır.
3. Üzerine 5ml HF eklendikten sonra 9/10'u kum içinde kalacak şekilde kum banyosunun içine yerleştirilerek 200-225⁰C arasında ısıtılıp krozedeki örneğin kuruması sağlanmıştır.
4. Kroze soğuduktan sonra 2ml su ve birkaç damla HClO₄ eklenmiş ve kuruması için tekrar kum banyosuna konulmuştur.
5. Kuruma işleminden sonra kroze soğutulmuş ve 5 ml 6M HCl ve 5 ml su eklenip çözelti hafif kaynayanaya kadar ısıtıcı üzerinde ısıtılmıştır.
6. Malzemenin tamamen çözünmediği örnekler için işlem baştan tekrar edilmiştir.
7. Kalan tortu HCl içinde tamamen çözülmüş ve çözelti 50 ml balon jöjeye alınmış ve hacim saf suyla 50 ml ye tamamlanmıştır.

Elde edilen çözeltiler atomik absorpsiyon spektrometresiyle analiz edilerek potasyum miktarı bulunmuş ve sonuç yüzde potasyum oksit olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.6). Elde edilen bu değerler denklem 3.6 da yerine konularak potasyumdan gelen beta doz hızı bulunmuştur.

Tablo 4.6. Her üç örnekteki % K ve % K₂O miktarları ile uranyum, toryum ve potasyumdan gelen beta doz hızı.

Örnek no	% K	%K ₂ O	D _{βK} (Gy/ka)	D _{βU,Th} (Gy/ka)
1	0.66	0.76	0.464	0.134
2	0.43	0.52	0.322	0.177
3	0.49	0.59	0.367	0.275

4.4.5. Yıllık dozun bulunması

Örneklerdeki yıllık alfa, beta ve gama doz miktarları toprağın nem miktarı hesaba katılarak bulunmuş ve Tablo 4.7 de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Çalışılan örneklerde, alfa, beta ve gama yıllık dozları ile yıllık doz hızı değerleri.

Örnek no:	D _{βU,Th} (Gy/ky)	D _{βK} (Gy/ky)	Alfa doz hızı (Gy/ky)	Gama doz hızı (Gy/ky)	Yıllık doz hızı (Gy/ky)
1	0.134	0.464	0.175	1.756	2.529
2	0.177	0.322	0.234	1.756	2.489
3	0.275	0.367	0.358	1.756	2.756

4.5. Örnek Alımı ve Hazırlanması

Deprem sırasında yeryüzünde bazan gözle görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve fay adı verilen arazi kırıkları oluşur. Bu çalışmada kullanılan örnekler Kocaeli depreminin oluşturduğu yüzey kırığının Kullar-Yaylacık bölgesi üzerinde açılan bir hendek çalışmasında alınmıştır. Örneklerin alınmasına geçmeden önce paleosismoloji ve hendek açma yöntemi hakkında kısa bir bilgi verilecektir.

4.5.1. Paleosismoloji ve hendek açma yöntemi

Deprem zararlarının azaltılmasına esas teşkil eden deprem tehlike haritasının yapılabilmesi, bir çok verinin biraraya getirilmesi ile mümkündür. Bu verilerin en önemlilerini, sismisite ve diri faylar ile ilgili bilgiler oluşturur. Sismisite verisi, aletsel, tarihsel ve tarih öncesi dönemlere ait olmak üzere üç kısımdan meydana gelir. Tarih öncesi depremlerle ilgili oldukça kesin ve güvenilir bilgiler son yıllarda oldukça gelişme gösteren paleosismolojik çalışmalar ile elde edilebilmektedir.

Paleosismoloji tarihsel deprem kayıtlarının eksik olduğu ülkelerde ve 250-300 yıl gibi daha uzun aralıklarla tekrarlanan, büyük depremler üreten fayların geçmiş davranışlarını inceleyen ve gelecekteki deprem tehlikesini belirleyen yeni bir bilim dalıdır.

Deprem üreten diri faylar boyunca hendek açma yöntemi paleosismolojinin en çok kullandığı yöntemlerden biridir. Bu yöntem, yüzey faylanması oluşturmuş eski depremleri kaydeden genç çökeller içinden deprem izlerinin araştırılıp bulunmasına dayanır. Hendek açılırken fay izi birkaç metre duyarlılıkla saptanır. Deprem izlerinin jeolojik kayıtlarda saklanmasını sağlayacak uygun çökelim alanları seçilir. Kullanılacak yaş tayini yöntemine göre ki jeologların genel olarak kullandığı C-14 yöntemine göre bu izleri yaşlandırabilecek odun parçaları ve organik malzeme içeren alanlar araştırılır. Bu nedenle de organik malzemenin bulunmadığı hendekler çalışma yapılmadan kapatılmaktadır. Oysa lüminesans yöntemlerde inorganik malzemelerle de yaş tayini yapmak mümkündür.

Hendekler genellikle fayın her iki tarafında çökelmiş genç alüvyonal çökeller içinde açılır. Hendekler fayın tipine bağlı olarak farklı şekillerde açılabilir. Hendekler, eğim atımlı faylarda (normal ya da ters faylar) düşey yer değiştirme miktarını saptamak için fay izine dik; doğrultu atımlı faylarda ise deprem öncesi yanyana bulunan izlerin ne kadar yatay ve düşey yönde yer değiştirdiğini belirlemek için fay izine dik ve paralel olacak şekilde açılır. Hendekler genellikle 7-20 metre uzunlukta, 3-4 metre derinlikte ve 1-4 metre genişlikte açılır. Hendek açımı fay tarafından

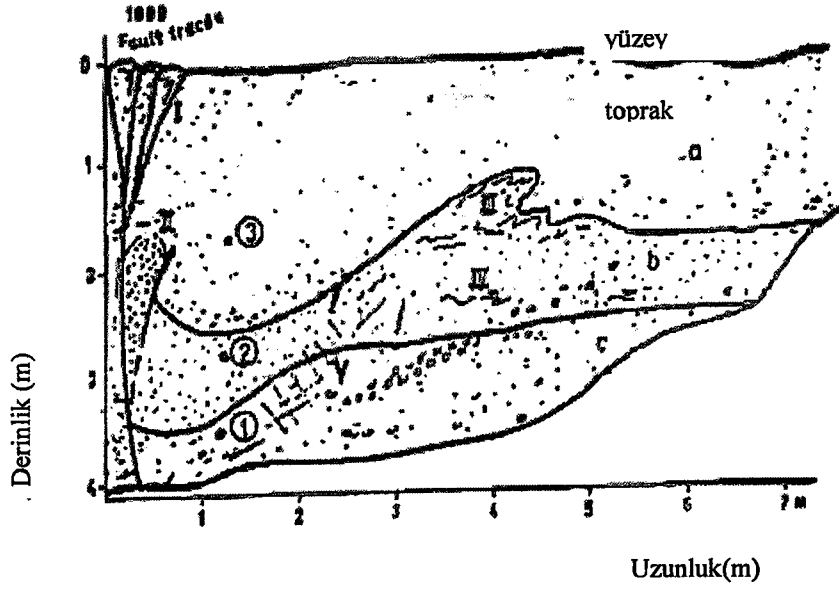
etkilenmemiş yerlere ulaşıncaya kadar sürdürülür. Hendek açıldıktan sonra, deprem izlerinin belirgin olarak görülmesi için el araçları ya da kürekle düzgün yüzeyler elde edilinceye kadar hendek duvarları sıyrılır ve düzeltilir. Sonra deprem izleri renkli çivilerle süslenerek görünür hale getirilir. Bu işaretleme hem hendek duvarlarında kesitlerin çizilmesi, hem de aynı yerde açılmış diğer hendeklerdeki yapıların karşılaştırılması amacı ile yapılır. Aynı zamanda hendek duvarlarındaki çökeller ve yapılar arasındaki ilişkilerin yorumu yapılabilir.

Hendek duvarlarında eski deprem izlerinin tanınmasında, yukarıya doğru belirli stratigrafik seviyelerde fay kolcuklarının sona ermeleri, aşağıya doğru belirli stratigrafik seviyelerde düşey atımlarda ani artışlar ve tabakaların fay zonu boyunca sürüklenmeleri, deprem sonrası fay sarplıklarının aşınmasıyla açılmış yarıklara dolan malzeme gibi jeolojik kriterler kullanılır (Demirtaş ve Erkmen 2000).

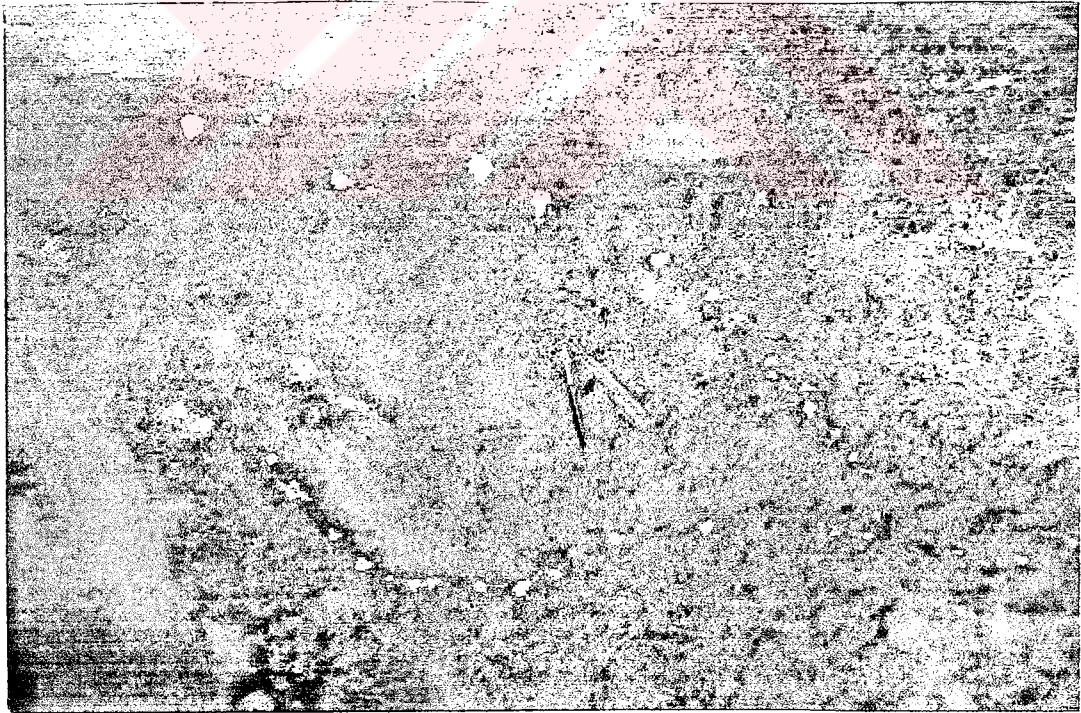
4.5.2. Örneklerin alınması

Örnekler Kocaeli Kullar-Yaylacık mevkiinde Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ile Yunanistan -Aristotle University of Thessaloniki'nin birlikte açmış oldukları hendekteki tesbit edilen deprem izlerinden alınmıştır (Resim 4.5). Daha sonra bu hendeğin stratigrafisi Tutkun ve Pavlides (2001) tarafından çizilmiştir (Şekil 4.12).

OSL ile ölçümü yapılacak örneklerin tanelerinin gün ışığına maruz kalmaması en önemli noktadır (Aitken 1998). Bu nedenle örneklerin ışık görmemesi için metal silindirlerle toprak oyularak çıkarılmış, kalın siyah mat torbalara konulmuş ve laboratuvar koşullarında kırmızı ışık altında çevresi kazınarak kalan kısımlar ölçümler için kullanılmıştır.



Şekil 4.12. Örneklerin alındığı hendeğin stratigrafisi (1, 2 ve 3 örneklerin alındığı yerler, a: toprak, b: kumlu çamur, c: toprak, I: 1999 depremi, II-III: sıvılaşma, IV: sismitler, V: çatlaklar)



Resim 4.5. Kullar - Yaylacık mevkiinde açılan hendekte örneklerin alındığı izlerden bir görüntü.

4.5.3. Örneklerin hazırlanması

Örneklerin lüminesans ölçümlerini en sağlıklı biçimde alabilmek için tanelerin uygun boyutta olması gerekir. Bu amaçla örnekler zaman ayarlı havandan geçirildikten sonra otomatik elek sistemi ile elenmiş ve 60-90, 90- 250, 250-350 µm boyutundaki tanecikler ayrılmıştır.

Örnekler % 10 HCl ve % 30 H₂O₂ çözeltileri içinde 12 saat bekletildikten sonra saf su ile defalarca yıkanmış, 50 °C deki fırında kurutulmuştur. Bundan sonra % 40 lık HF çözeltisi hazırlanmış ve örnekler bu çözelti içinde de 1 saat bekletildikten sonra florosilisik (H₂SiF₆) asit içinde 12 saat tutulmuştur. Saf suyla defalarca yıkandıktan sonra kurutulup, tekrar elekten geçirilmiştir.

Son olarak ağır sıvı ayıracı olarak kullanılan sodyum politungustat (3Na₂WO₄ - 9WO₃.H₂O) ile yoğunluklarına göre daha ayrıntılı bir feldispat ve kuvars ayırımı gerçekleştirilmiştir. Ancak bütün bunlar bile kuvars ve feldispatın tam olarak ayrılması için yeterli değildir. Bu nedenle feldispatın örneklerden temizlenip temizlenmediği IR diodlarla kontrol edilmiş ve bazı asit uygulamaları tekrarlanmıştır. Tüm hazırlık işlemleri kırmızı ışık altında yapılmıştır (Stokes 1992, Huntley et al. 1993 and Roberts et al. 1994).

4.5.3.1. Örneklerin disk üzerine yerleştirilmesi

Örneklerin ölçüm için aliminyum ya da paslanmaz çelik disk (10x0.5) mm üzerine konulması gereklidir. Örnek taneleri disk üzerine asetonla çöktürülüp asetonun uçması beklenmiş tanelerin tek bir katman olarak disk üzerine yayılmasına özen gösterilmiştir. Disk üzerindeki örneklerin zarar görmemesi için cımbızla tutularak örnek tablasındaki yerlerine yerleştirilmiştir.

4.6. OSL ve TL Ölçüm Sonuçları

Bu bölümde örneklerin OSL yöntemi ile incelenip TL yöntemi ile karşılaştırılması olarak yaş tayininin yapılabilmesi için, OSL ve TL deney sonuçları verilecektir.

4.6.1. Örneklerin X-ışını kırınım spektrumları

Bu çalışmada kullanılan örneklerde OSL ve TL sonuçlarının alınması için örnek hazırlama işlemlerinden önce örneklerin mineral içeriklerini ve özellikle kuvars mineralinin varlığını belirlemek üzere X-ışını kırınımı (X-Ray Diffraction, XRD) işlemi uygulanmıştır. Hendek duvarlarının üç ayrı noktasında alınan örnekler, havanda dövülerek iyice toz haline getirilmiş, bir gün 80°Cde bekletildikten sonra numaralanmış cam tüplere yerleştirilmiştir. Daha sonra hazırlanan bu örneklerin ODTÜ Metalurji bölümünde bulunan XRD cihazıyla spektrumları alınmıştır (Şekil 4.13).

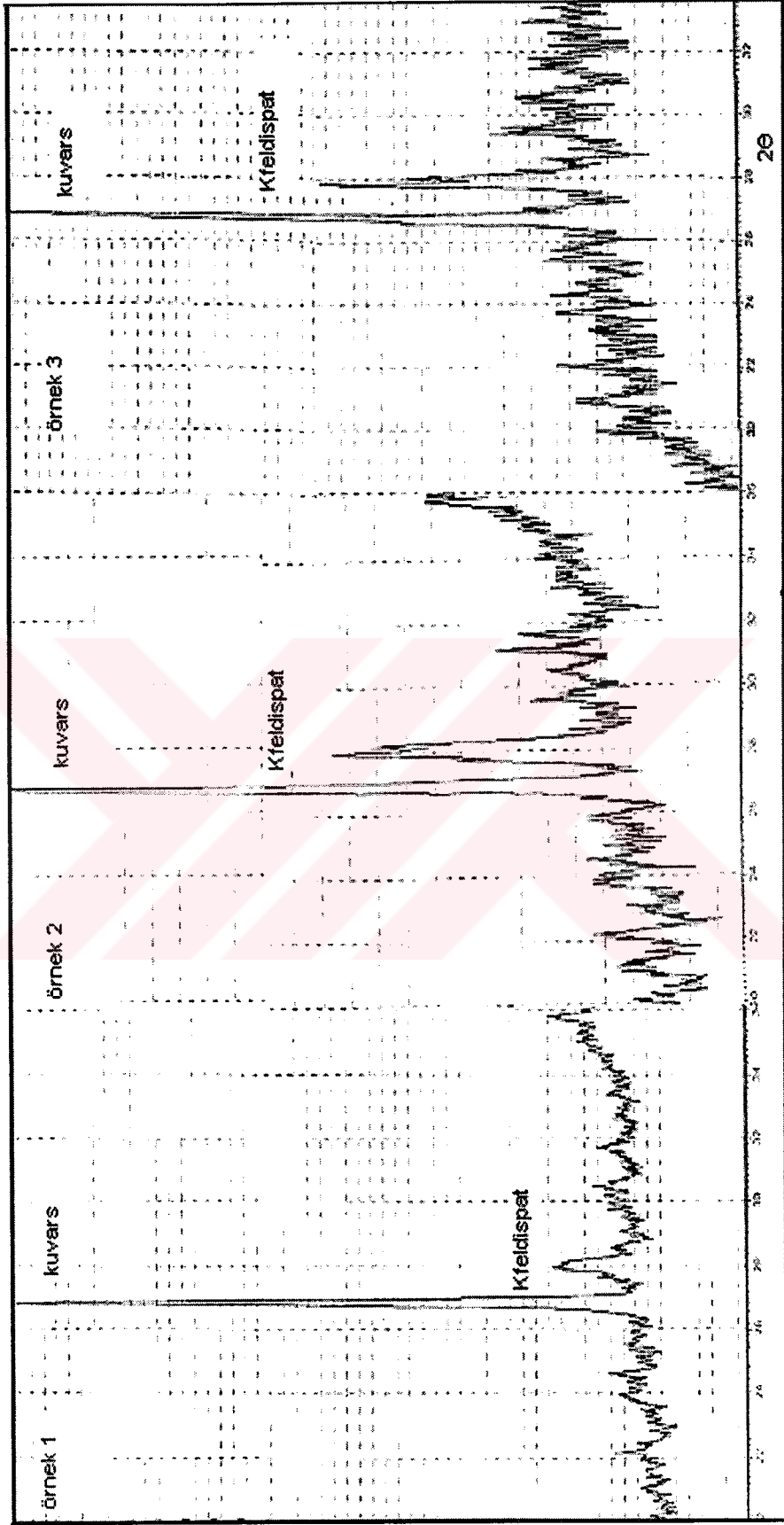
Sonuçlardan, bütün örneklerin X-ışını kırınımı spektrumlarının birbirine benzediği ve yapılarında kuvars ve feldispat olduğu Moore 1977, verileri kullanılarak saptanmıştır. Dolayısıyla tüm örneklerin OSL ve TL ölçümleri için elverişli olduğu anlaşılmıştır.

4.6.2. Optik Uyarımlı Lüminesans ölçümleri

Örneklerin OSL özelliklerini incelemek üzere çok sayıda örnek hazırlanarak,

- gün ışığının,
- anormal sönümün,
- uyarılma süresinin,
- ön ısıtma sıcaklığının,
- tanecik büyüklüğünün ve
- radyasyon doz artışının

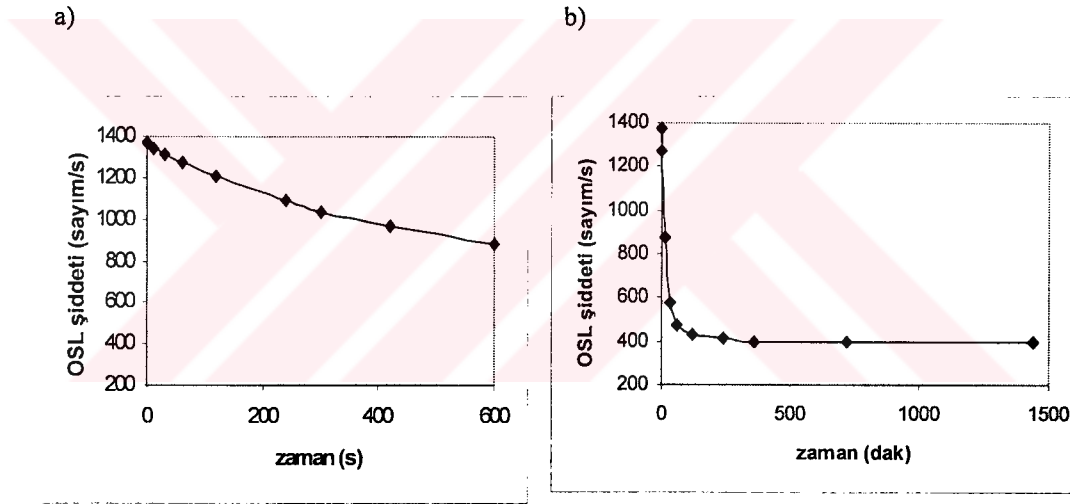
OSL şiddetine etkileri incelenmiştir. Bütün bu özelliklerin örneklerin tarihlendirilmesine etkileri göz önüne alınarak paleodoz hesabı için en uygun koşullar sağlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.13. Örneklerin XRD spektrumları

4.6.2.1. Gün ışığının OSL şiddetine etkisi

Bu çalışmada kullanılan örneklerin gün ışığından ne kadar etkilendiğini görmek amacıyla 60 tane disk üzerine örnek hazırlanmış, her biri 4 diskten oluşan 15 gruba ayrılmıştır. İlk gruptakilerin gün ışığı görmeden OSL sayımları alınmış, kalan gruplar sırasıyla 10, 30, 60, 120, 240, 300, 420 ve 600 s, ayrıca 1, 10, 30, 60, 120, 240, 360, 720, 1440 d sürelerde gün ışığına maruz kalmış ve daha sonra bu örneklerden alınan OSL sayımları ile gün ışığına tutulma süreleri arasında çizilen grafikler Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde görüldüğü gibi OSL sayımına gün ışığının etkisi oldukça yüksektir. Bu nedenle örneklerin alınma ve hazırlanma işlemleri sırasında gün ışığı veya ona yakın şiddetteki ışıklardan özenle kaçınılmıştır.

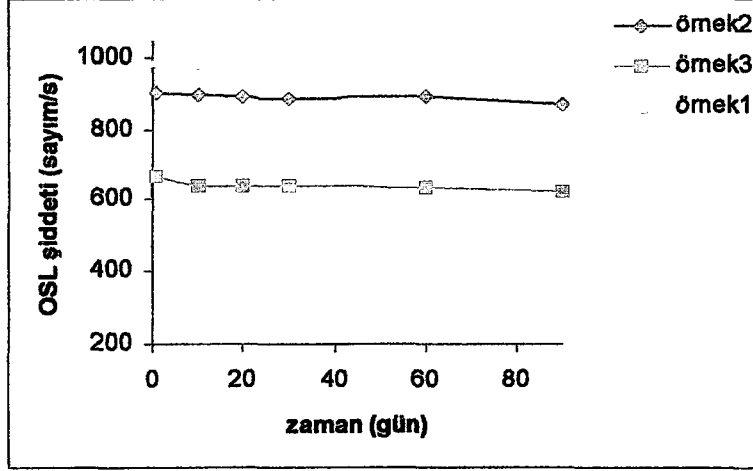


Şekil 4.14. Gün ışığının OSL şiddetine etkisi a) ilk 10 dakikada b) 24 saatte.

4.6.2.2. Anormal sönüm

Örneklerin alındıkları yerlerde buldukları süre boyunca ve ölçümlerin alınacağı zamana kadar, laboratuvar koşullarında saklanma sürelerinin örneklerin OSL sayımlarına bir etkisi olup olmadığı, bu süre içinde sinyalde anormal bir azalma (fading) gözlenip gözlenmediği, araştırılmıştır. Bu amaçla üç örnek için ayrı ayrı hazırlanan 36 tane disk önce 80Gy'e dozlandıktan sonra 6 gruba ayrılmış ve 3 ay boyunca her grup çeşitli sürelerde laboratuvar koşullarında tutulup OSL ölçümleri alınmıştır. Örneklerin bu koşullarda tutulma süreleri ile bu süreler sonunda alınan

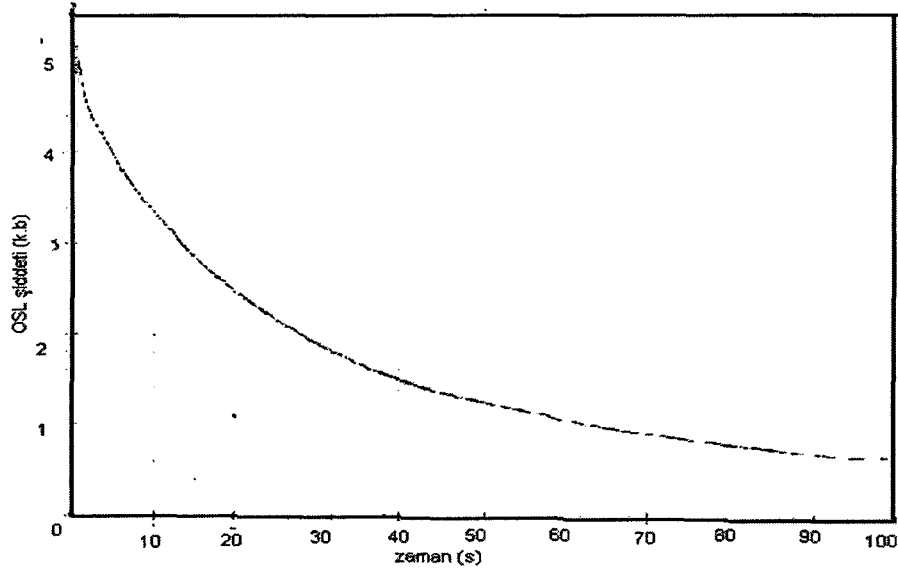
OSL ölçümleri arasında çizilen grafik Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi geçen zaman içinde üç örnekte de OSL ölçümlerinde anormal bir azalma gerçekleşmemiştir.



Şekil 4.15. Örneklerin yapay ışınlama sonucu elde edilen OSL şiddetlerinin zamanla değişimi.

4.6.2.3. Uyarılma süresinin etkisi

OSL eğrileri uyarılma süresine karşı alınan OSL şiddetleri ile oluşur. Yapılan OSL çalışmaları incelendiğinde uyarılma süresinin 40 ile 120 s aralığında alındığı görülmüştür (Aitken, 1998; Botter-Jensen, 2000). Uyarılma süresinin tespitinde alınan ölçü, tarihleme ile ilgili tuzağın yakaladığı tüm elektronların boşalmasıdır. Bu çalışmada uyarılma süresinin tayini için örnekler çeşitli sürelerde uyarılarak OSL eğrileri elde edilmiştir. OSL eğrilerindeki azalma incelendiğinde 100 s’lik uyarılma süresinin bu azalmayı tam olarak belirlemek için en uygun uyarılma süresi olduğu gözlemlenmiştir Şekil (4.16).



Şekil 4.16. Örnek 1 için elde edilmiş OSL sinyalindeki azalma eğrisi.

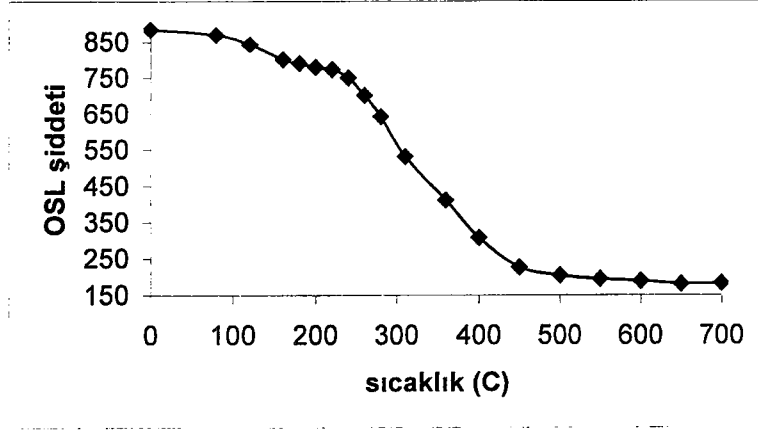
4.6.2.4. Ön ısıtma sıcaklığının OSL duyarlılığına etkisi

3.2.4.1. de açıklanan nedenlerle, örneklerin OSL sayımları alınmadan önce ön ısıtma işleminin uygulanması zorunludur. Bu işlemin hangi sıcaklıkta ve ne kadar sürede yapılacağı aşağıdaki deneylerle belirlenmiştir.

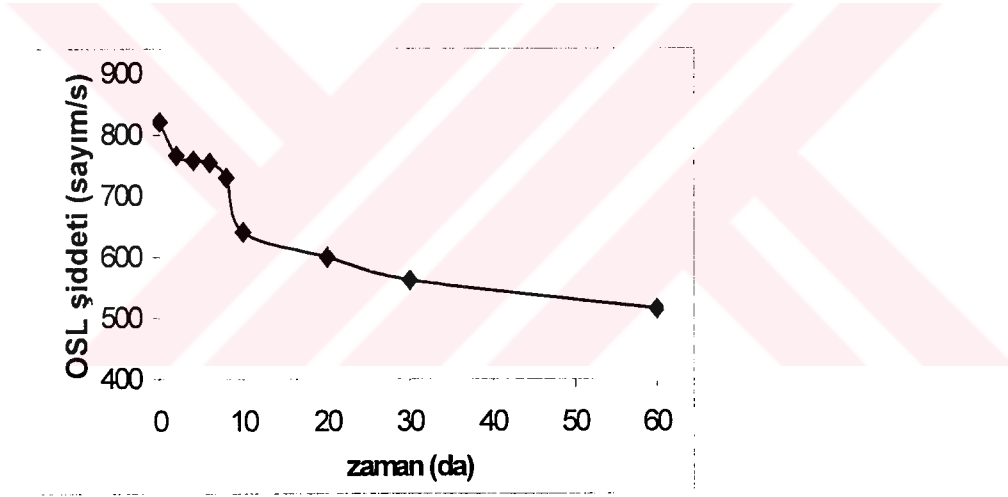
Bu amaçla doğal örneklerden oluşan 57 disk hazırlanmıştır. Bu diskler 19 gruba ayrılarak ilk 3 disk ayrılmış diğerleri 80, 120, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 310, 360, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700°C sıcaklıklarda 10 s ısıtılmıştır. Ön ısıtma işleminden bir gün sonra, sıcaklığa karşı elde edilen OSL şiddetleri Şekil 4.17 deki grafikte gösterilmiştir.

Şekil 4.17'deki grafikte ortalama plato değeri olan 220°C ön ısıtma işlemi için seçilmiştir. Bu ön ısıtma sıcaklığında ne kadar süre tutulacağını bulmak için ise 40 disk hazırlanarak 10 gruba ayrılmıştır. İlk dört disk ayrılarak kalan 9 gruptaki örnekler 220°C de, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 60 dakika sürelerde ısıtıldıktan 1 gün sonra OSL sayımları alınmıştır. Örneklerin 220°C sıcaklıkta tutulma zamanlarının OSL şiddetlerine karşı grafiği Şekil 4.18 de gösterilmiştir. Grafiğin platosundaki ortalama değer 5 dakika bulunduğundan, ön ısıtma işleminin 5 dakika yapılmasına karar verilmiştir. Bundan sonraki OSL ölçümleri için ön ısıtma işlemi 220°C de 5

dakika süreyle yapılmıştır. Bulunan bu sıcaklık ve zaman, bölüm 3.2.4.1 de belirtilen ön ısıtma aralığındadır.



Şekil 4.17. OSL şiddetinin ön ısıtma sıcaklığına karşı duyarlılığı.



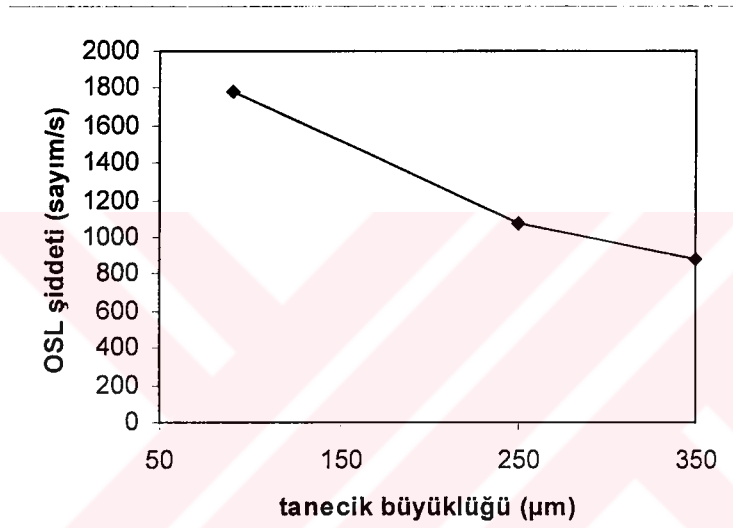
Şekil 4.18. OSL şiddetinin ön ısıtma süresine duyarlılığı.

4.6.2.5. Tanecik büyüklüğünün etkisi

Fay hareketlerinin tarihlendirme çalışmaları ilk olarak ESR yöntemiyle gerçekleştirilmiştir (Ikeya et al. 1982). Fay hareketiyle ortaya çıkan sürtünme ısısının o bölgede bulunan kuvars örneklerin ESR sinyalini tamamen sıfırladığı Fukuchi (1988) tarafından tespit edilmiştir. Fayın hareketi sırasında ortaya çıkan bu mekanik enerjinin tanelerin yüzeyinde daha etkili olabileceği düşünülerek ince taneli örneklerde ESR sinyalinin sıfırlanma ihtimalinin daha yüksek olduğu Lee ve

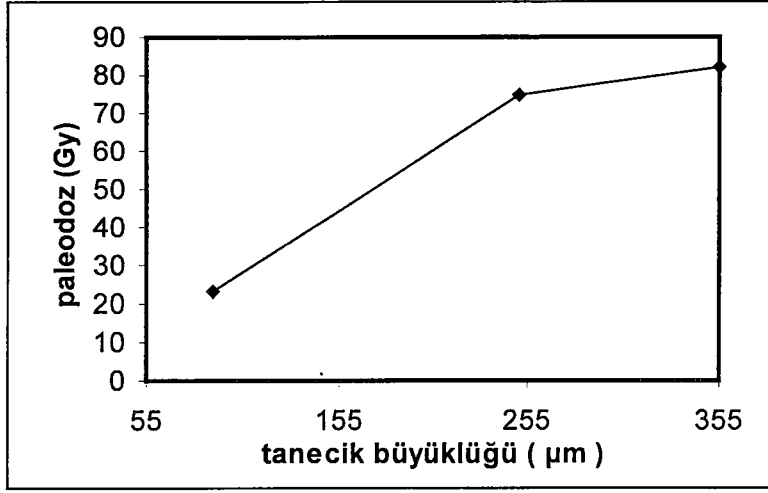
Schwarcz (1993) tarafından ileri sürülmüştür. Aynı nedenle ince tanelerde kalın tanelere göre OSL sinyalinin de daha çabuk sıfırlanacağı düşünülerek ince tanelerden alınan OSL sinyalinin, kalın tanelere göre daha yüksek olduğunu kanıtlayan deneyler yapılmıştır (Rink et al. 1999).

Örneklerin tanecik büyüklüğünün OSL duyarlılığına etkisini incelemek üzere mekanik elek sistemiyle 60-90, 90-250, ve 250-355 μm büyüklüğünde üç ayrı boyutta elenerek hazırlanan örnekler, ön ısıtma işleminden geçirilerek OSL şiddetleri alınmış ve sonuç Şekil 4.19 de gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Tanecik büyüklüğünün OSL şiddetine etkisi

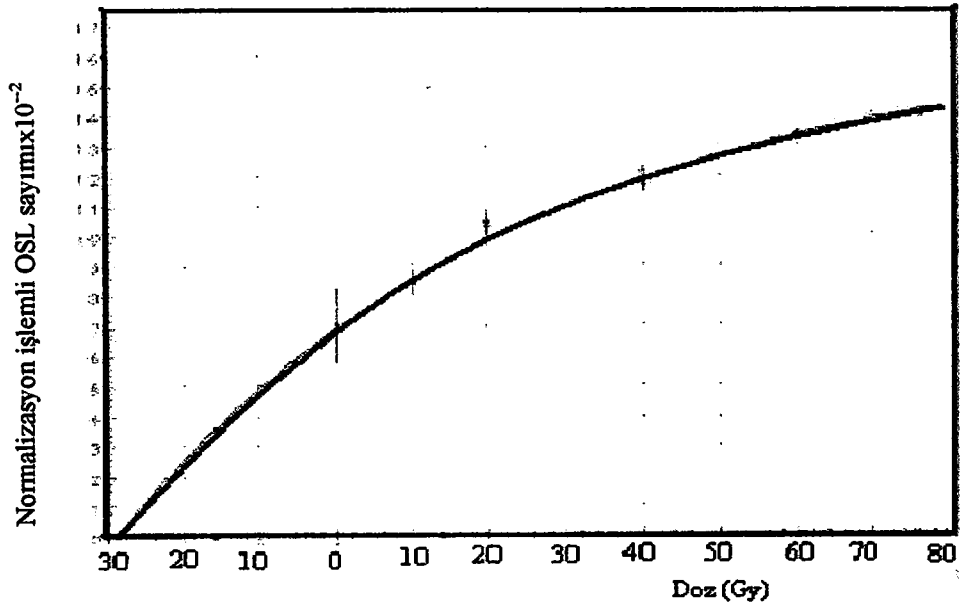
Şekilde görüldüğü gibi tanecik boyutu küçüldükçe OSL şiddeti artmaktadır. Diğer taraftan tanecik boyutunun paleodoza etkisi incelendiğinde, tersine bir değişim görülmüştür. Yani tane boyutu arttıkça paleodoz değeri de artmaktadır (Şekil 4.20), (Buluş-Kırıkkaya and Özer, 2001).



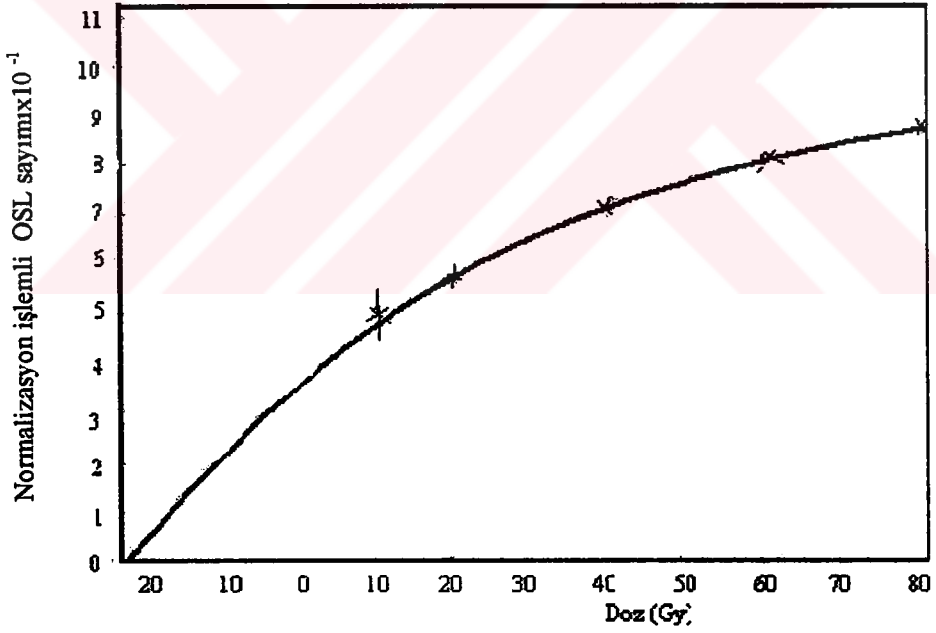
Şekil 4.20. Paleodozun tanecik boyutuyla değişmesi.

4.6.2.6. OSL büyüme eğrileri

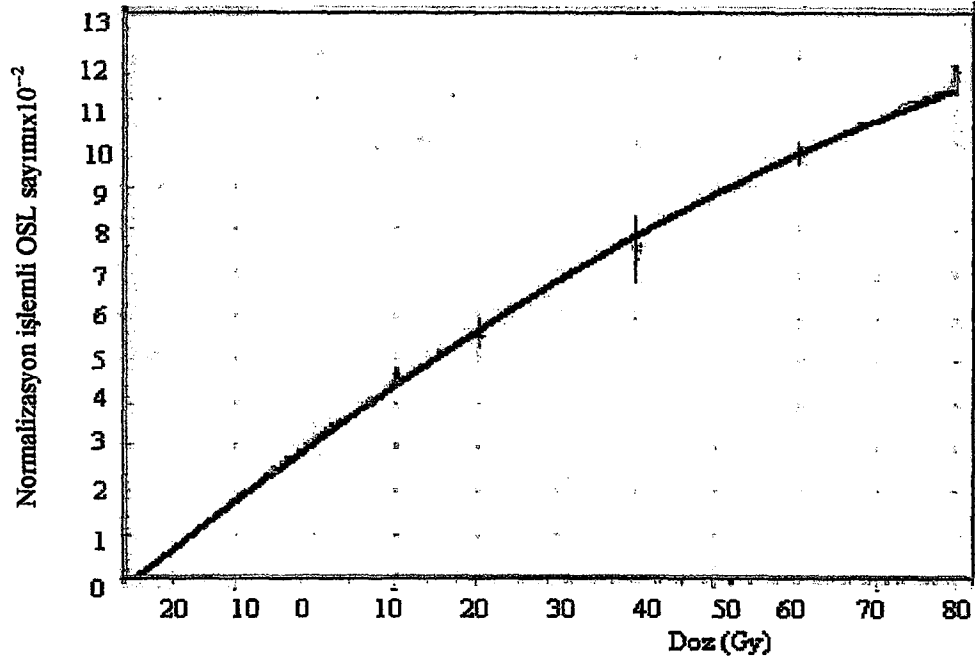
İncelenen örneklerin tarihlendirmeye uygunluğunun en önemli kanıtı, OSL sinyalinin doz arttıkça artmasıdır. Bu çalışmada, tarihlendirilmesi yapılacak üç örnekte doz- cevap eğrileri, OSL şiddetleri yapay ışınlama dozuna bağlı olarak doyuma ulaştığı değerlere kadar elde edilmiş ve OSL sinyalinin dozla arttığı gözlenmiştir. OSL şiddetinin dozla büyüme eğrileri iki ayrı şekilde elde edilmiştir. Ayrıntıları bölüm 3.2.1.1 ve 3.2.1.2 de anlatılan bu yöntemlerden birincisi çok disk kullanılarak doz ekleme yöntemi (MAAD-Multiple Aliquot Additive Doz), ikincisi ise tek bir disk üzerine hazırlanmış doğal örnekte alınan doğal OSL sinyalinden sonra aynı diskin üzerinde uygulanan yenileme yöntemidir (SAR- Single Aliquot Regeneration). Her iki yöntemle de bulunan büyüme eğrileri, Şekil 4.21 , 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 ve 4.26 de gösterilmiştir. MAAD yönteminde bu büyüme eğrilerinin x-eksenini kestığı nokta, SAR yönteminde ise elde edilen büyüme eğrisinde y-eksenine yerleştirilen doğal OSL sayma hızı değerine karşılık gelen x-eksenindeki doz miktarı paleodoz değerini gösterir.



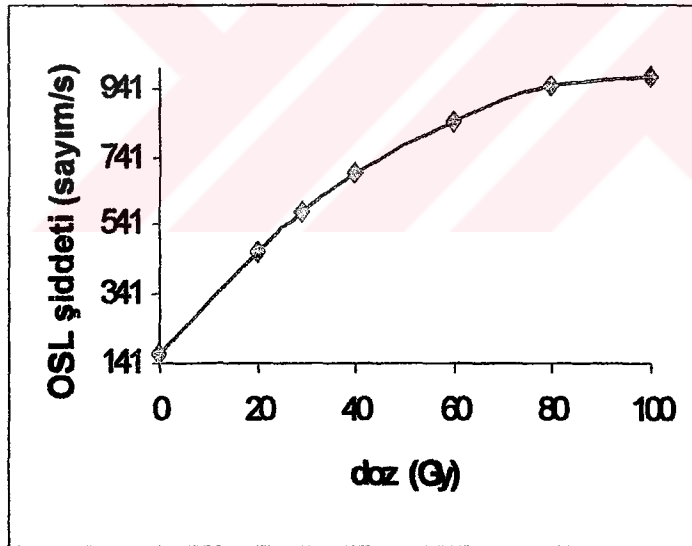
Şekil 4.21. Örnek 1'in OSL büyüme eğrisi



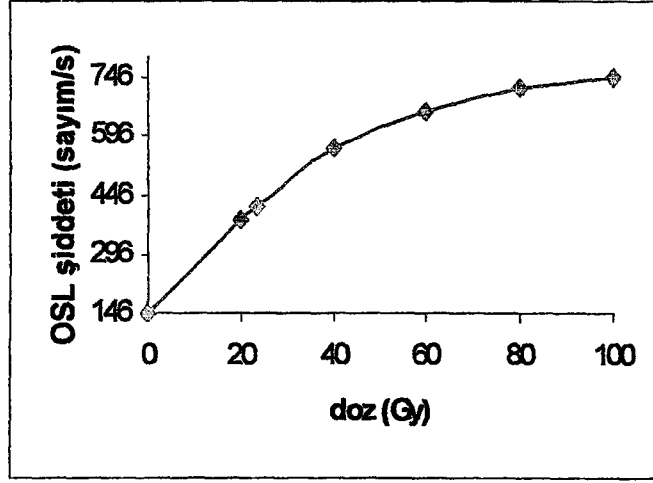
Şekil 4.22 Örnek 2'nin OSL büyüme eğrisi.



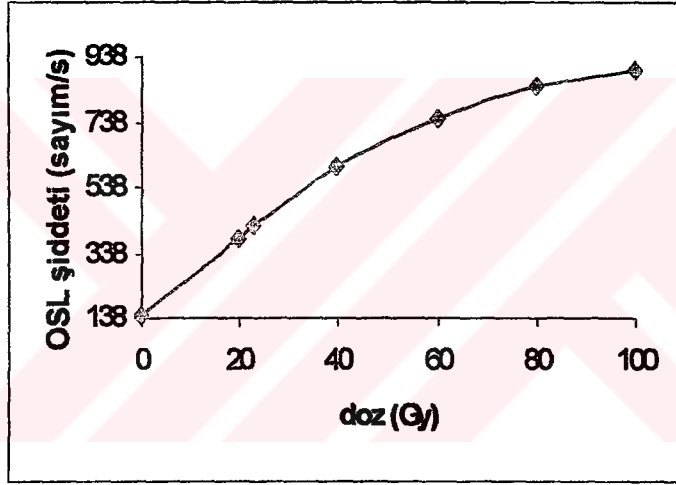
Şekil 4.23. Örnek 3'ün OSL büyüme eğrisi.



Şekil 4.24. Örnek 1 in OSL-SAR yöntemi ile büyüme eğrisi.



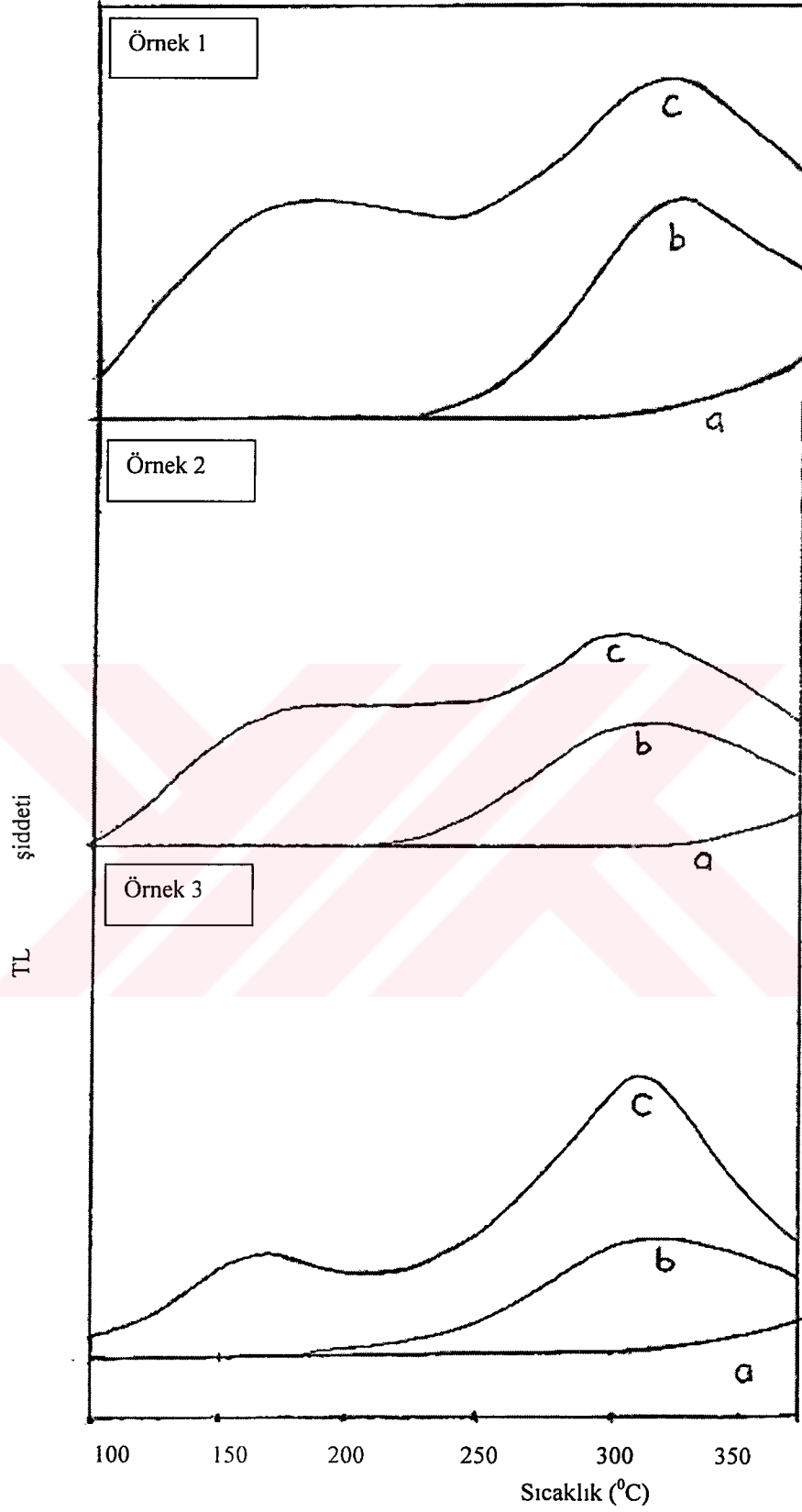
Şekil 4.25. Örnek 2'nin OSL-SAR yöntemi ile büyüme eğrisi.



Şekil 4.26. Örnek 3'ün OSL-SAR yöntemi ile büyüme eğrisi.

4.6.3. Termoluminesans ışınma eğrileri

Hazırlanan örneklerin doğal TL ışınma eğrileri, azot gazı ortamında ölçülmüştür. Çalışma süresince bütün ölçümlerde ısıtma hızı 5°C/s olarak ayarlanmıştır. Örneklerin doğal ışınma eğrilerinde, tarihleme için kullanılan 325°C civarındaki ışınma piki gözlenmiştir. Şekil 4.27'de örneklerin doğal TL ışınma eğrileri verilmiştir. Doğal örneklerin ANAEM'de bulunan ^{60}Co gama kaynağı (doz hızı 2.54 kG/sa , Gama CellPX- γ -30 model) ile ışınlanmasıyla doğal TL ışınma eğrilerindeki ışınma pikine ek olarak 160°C civarındaki bir pik daha gözlenmiştir. Şekil 4.27,

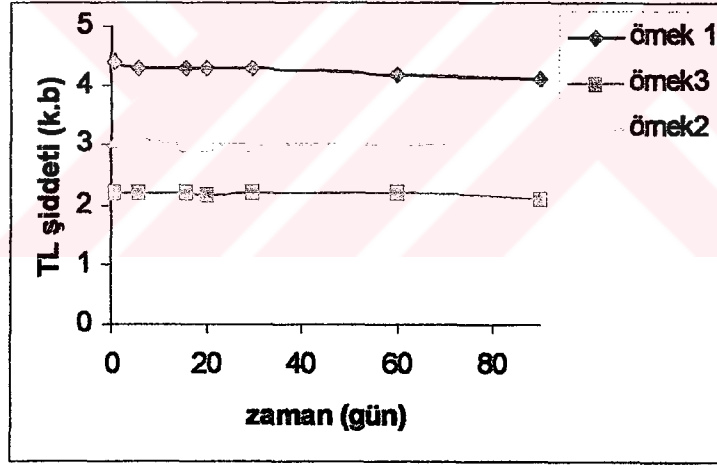


Şekil 4.27. Örneklerin a) siyah cisim ışıması, b) doğal, c) yapay TL ışıma eğrileri.

örneklerin doğal ve yapay (60 Gy) ışınlanmasından sonra elde edilen TL ışımaya eğrilerini göstermektedir. Örneklerdeki 160°C ve 325°C civarındaki piklerin radyasyon dozuna duyarlı oldukları ve artan ışınım dozuyla şiddetlerinin arttığı görülmektedir.

4.6.3.1. TL ışımaya piklerinde anormal sönüm

Bazı maddelerin, radyasyona maruz kaldıklarından bir süre sonra 200°C den büyük ışımaya piklerinde, sıcaklığa bağlı olmayan bir azalma gözlenmiştir (Wintle 1977, McKeever 1985). Bu çalışmada kullanılan örneklerin böyle bir azalmayı gösterip göstermediğini anlamak için, örnekler 80 Gy'e dozlanmış, 3 ay süreyle TL ışımaya piki şiddetlerindeki değişim gözlenmiştir. Sonuç Şekil 4.28'da gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi TL şiddetlerinde zamanla belirgin bir azalma gerçekleşmemiştir.

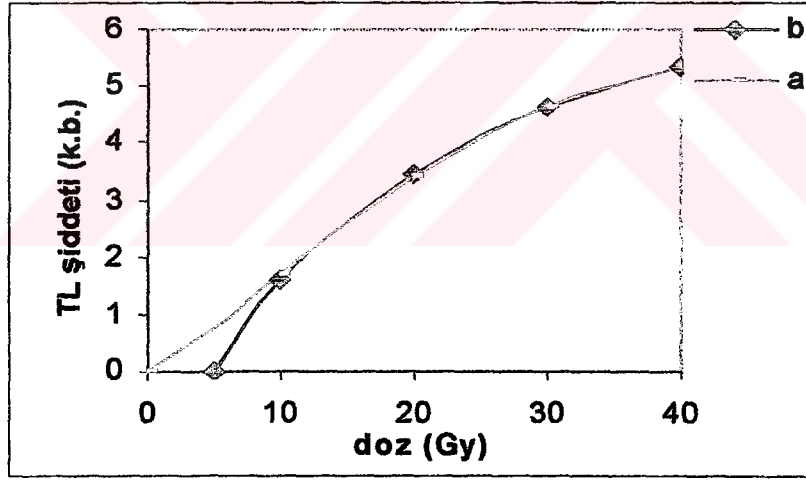


Şekil 4.28. Örneklerde 80 Gy lik yapay ışınlama sonucu TL ışımaya piki şiddetinin zamanla değişimi.

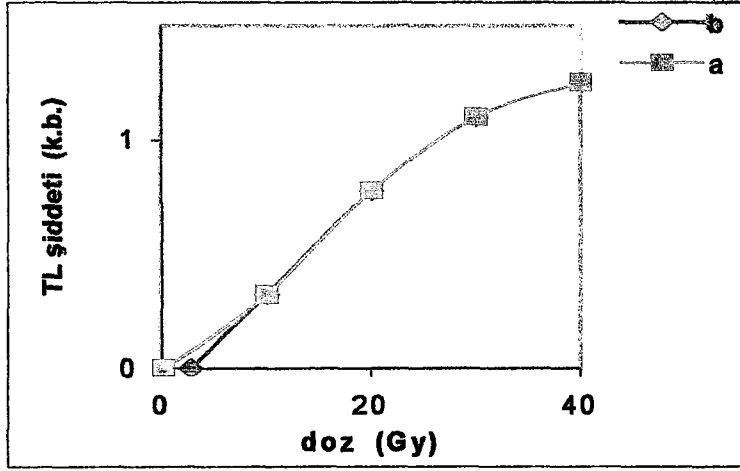
4.6.3.2. TL büyüme eğrilerinde doğrusallıktan sapma (Supralinearity)

Termoluminesans yöntemi ile tarihlemeye karşılaşılan en önemli zorluklardan birisi TL ışımaya şiddetinin radyasyon dozu ile doğrusal değişmemesidir. Bazı minerallerde oldukça düşük dozlarda TL ışımaya şiddetinin doz ile büyümesinde gözlenen

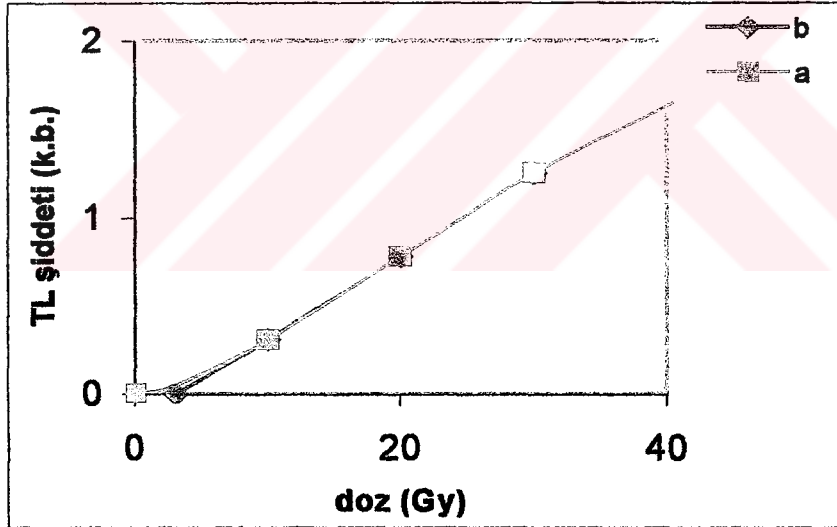
doğrusallıktan sapma durumu daha önce Şekil 3.2 de gösterilmiştir. Bölüm 3.2.1.1'de belirtildiği gibi TL ışın şiddeti radyasyon dozuyla doğrusal olarak artıyorsa eşdeğer doz paleodoza eşittir (Şekil 3.1). Düşük doz değerlerinde TL ışın şiddetindeki artış Şekil 3.2 deki gibi doğrusal değilse paleodoz eşdeğer dozdan büyük olacaktır. Bu durumda eşdeğer doza Şekil 3.2 de gösterildiği gibi I kadarlık bir düzeltme faktörü eklenerek paleodoz değeri elde edilir (Aitken 1985). Bu durumda örneklerin yaşı hesaplanırken sadece eşdeğer dozu kullanmak yaşın beklenenden küçük olmasına neden olacaktır. Bu nedenle de I değerinin hesaplanması zorunludur. Bu amaçla, doğal ışınmadan kaynaklanan TL sinyallerini sıfırlamak için örnekler, 2 saat 500°C de tavlama işleminden sonra örnekler soğutulmuş, ikinci büyüme eğrilerini oluşturmak üzere 10, 20, 30, 40 Gy'e dozlanmışlardır. İkinci büyüme eğrileri Şekil 4.29, 4.30 ve 4.31 de gösterilmiştir. Bu eğrilerden de görüldüğü gibi düşük dozlarda doza karşı TL şiddetlerinin doğrusallıktan saptığı belirlenmiştir. Bu nedenle TL ile yaş tayini yapılırken, I kadarlık düzeltme faktörü eklenerek paleodozu hesaplamak doğru olacaktır.



Şekil 4.29. Örnek 1 için düzeltme faktörünün bulunması, a) TL büyüme eğrisindeki sapma, b) düzeltilmiş TL büyüme eğrisi



Şekil 4.30. Örnek 2 için düzeltme faktörünün bulunması, a) TL büyüme eğrisindeki sapma, b) düzeltilmiş TL büyüme eğrisi

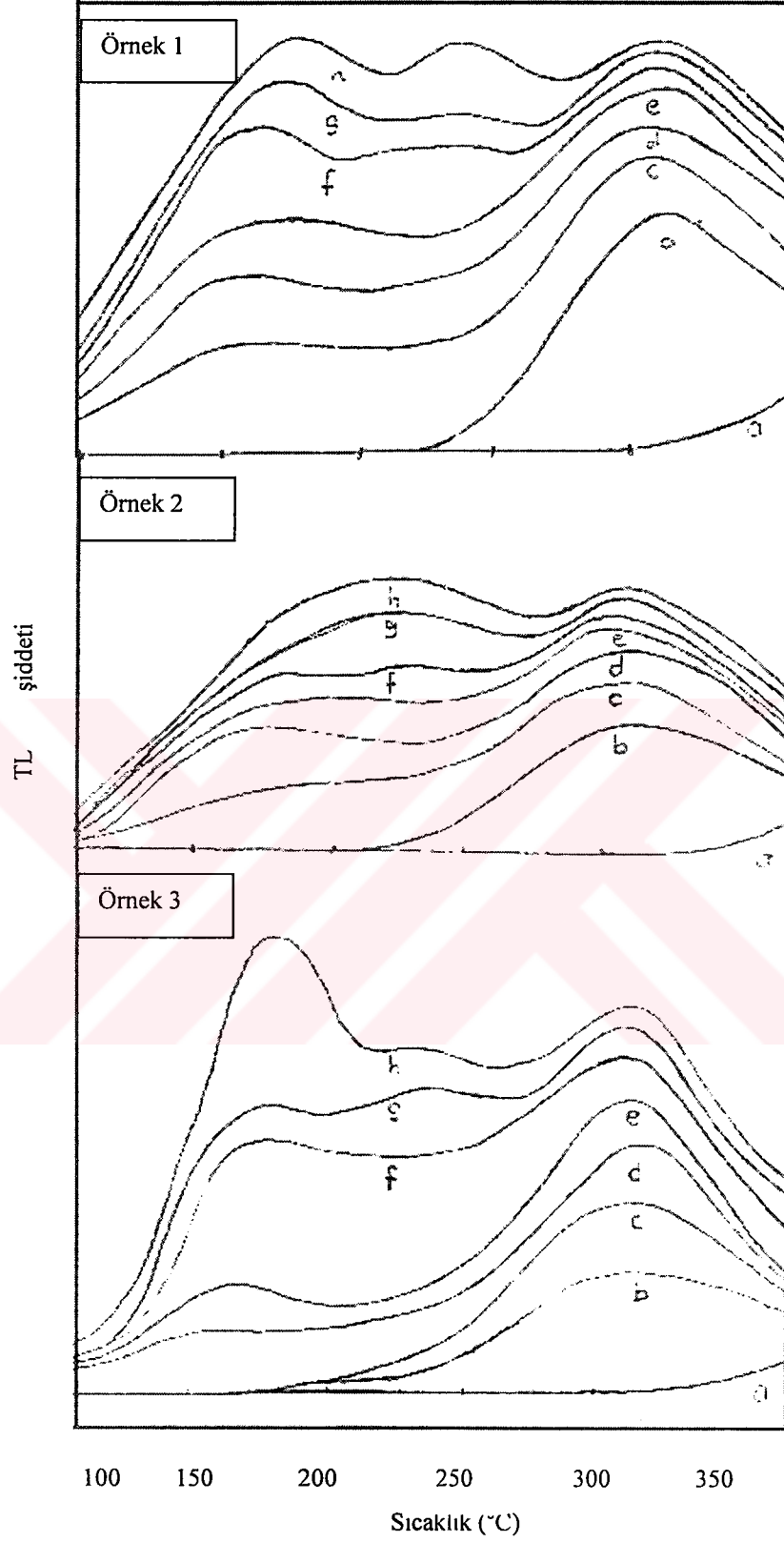


Şekil 4.31. Örnek 3 için düzeltme faktörünün bulunması, a) TL büyüme eğrisindeki sapma, b) düzeltilmiş TL büyüme eğrisi

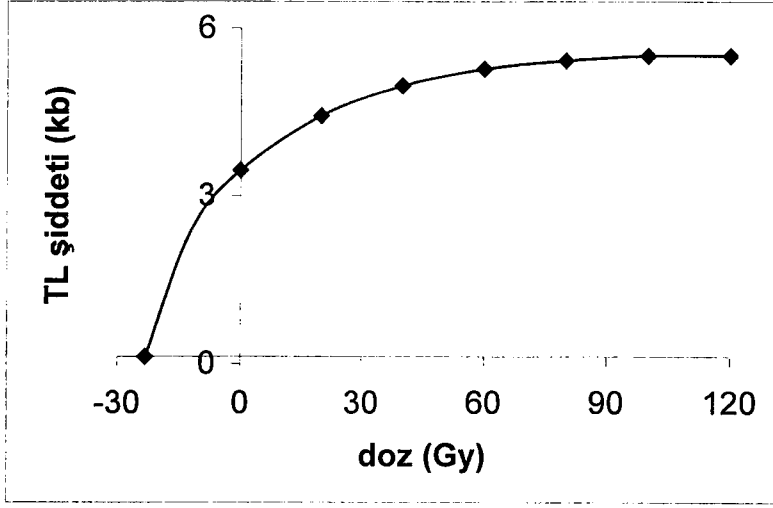
4.6.3.3. TL büyüme eğrileri

Şekil 4.27’de görüldüğü gibi örneklerin yapay olarak ışınlanmış TL ışıma eğrileri, doğal TL ışıma eğrilerinden farklılıklar göstermektedir. Doz yükseldikçe 220⁰C civarındaki pikin de belirginleştiği görülmektedir. Düşük sıcaklıklardaki ışıma pikleri, doğal ışıma eğrilerinde görülmemektedir. Bu durum, düşük sıcaklıklardaki ışıma piklerine karşılık gelen tuzaklardaki elektronların ısıl yaşam sürelerinin kısa olduğunu göstermektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklık pikine sahip kararlı tuzakların, tarihleme için kullanılması uygundur.

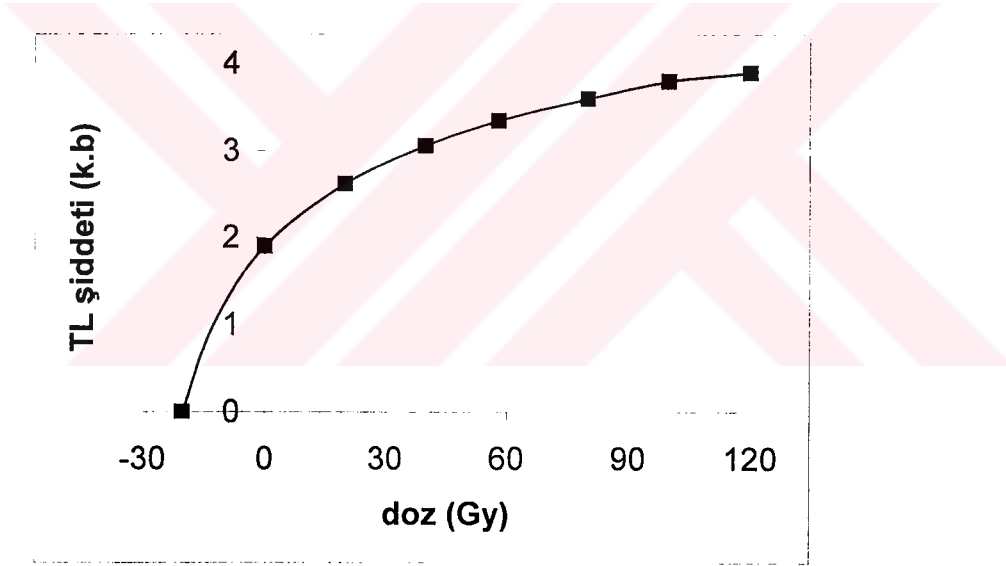
Örneklerin doza karşı büyüme eğrilerini elde etmek amacıyla çalışılan her örnek için 7 grupta 21 örnek hazırlanmıştır. Birinci gruptaki üç örnek doğal sayım almak üzere alınmış geriye kalanlar ⁶⁰Co-γ kaynağı ile 20, 40, 60, 80, 100, 120 Gy’e dozlanmışlardır. Doza karşı sıcaklık piklerindeki artış Şekil 4.32’de gösterilmiştir. Bu piklerden tarihleme için kullanılan 325⁰C civarındaki pikin yüksekliğinin doza karşı artışı, TL büyüme eğrisi olarak alınmış ve sonuçlar Şekil 4.33, 4.34 ve 4.35’de gösterilmiştir. Büyüme eğrilerinin oluşturulması sırasında bütün veriler kullanılarak Mejdahl (1988) tarafından geliştirilen eksponansiyel büyüme modeli kullanılmıştır (bölüm 3.2.1.1). Bu eğrilerin x-eksenini kestiği nokta eşdeğer doz miktarını göstermektedir. Örneklerdeki doğrusallıktan sapma nedeniyle oluşan düzeltme faktörleri (I) eklendikten sonra paleodoz değerleri bulunmuştur.



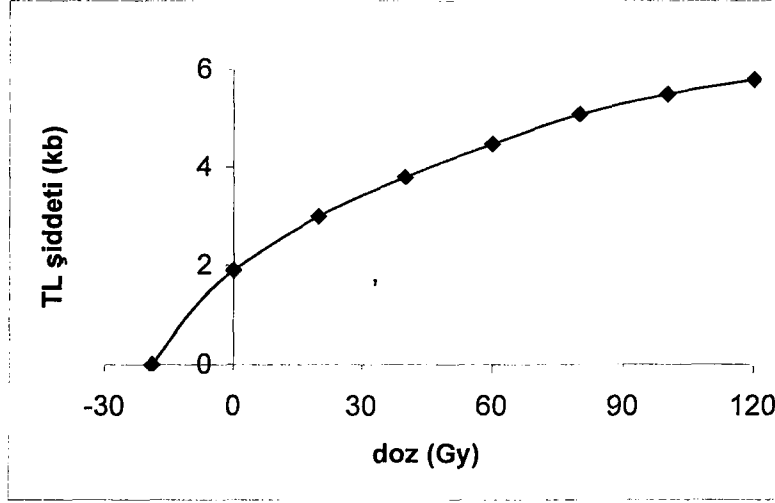
Şekil 4.32. TL ışıma eğrileri ; a) siyah cisim ışıması b) doğal c) doğal+20 Gy d) doğal+40Gy e) doğal+60 Gy f) doğal+80 Gy g) doğal+100 Gy h)doğal+120Gy



Şekil 4.33. Örnek 1'in TL büyüme eğrisi.



Şekil 4.34. Örnek 2'nin TL büyüme eğrisi.



Şekil 4.35. Örnek 3'ün TL büyüme eğrisi.

4.6.3.4. OSL ve TL yöntemleri ile paleodozun ve yaşın bulunması

Örneklerin OSL büyüme eğrileri, çok sayıdaki diskler üzerine örnek hazırlanarak doz ekleme ve tek bir disk üzerine yenileme yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu büyüme eğrilerinin x eksenini kestiği noktalar örneklerin paleodoz değerlerini göstermektedir. Bu bulunan paleodoz değerleri yıllık doz değerine bölünerek örneğin yaşı hesaplanmıştır. Örneklerin MAAD ve SAR yöntemleri kullanılarak bulunan paleodoz değerleri ile hesaplanan yaşlar Tablo 4.8 de verilmiştir.

Örneklerin TL ile büyüme eğrilerini oluştururken MAAD yöntemi ile elde edilen TL şiddetleri kullanılmıştır. Düşük dozlarda TL büyüme eğrilerinde doğrusallıktan sapmanın belirlenmesiyle I düzeltme faktörü elde edilerek eşdeğer dozlara eklenip paleodoz değerleri bulunmuştur. TL yöntemi ile bulunan eşdeğer doz ve düzeltme faktörü I değerleri ile bu ikisinin toplamından oluşan paleodoz değerinin yıllık doza bölümüyle elde edilen TL yaşları Tablo 4.8 de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Örneklerin paleodoz , yıllık doz hızı ve yaş değerleri.

örnek	OSL yöntemiyle (MAAD) paleodoz (Gy)	OSL yöntemiyle (SAR) paleodoz (Gy)	TL yöntemiyle (MAAD) paleodoz (Gy)	Yıllık doz (Gy/ky)	OSL yöntemiyle (MAAD) yaş (yıl)	OSL yöntemiyle (SAR) yaş (yıl)	TL yöntemiyle yaş (yıl)
1	28.607	29.2	23.11+5	2.529	11311	11546	11115
2	23.055	23.5	20.23+2.7	2.489	9263	9441	9213
3	22.650	23	19.04+3	2.756	8218	8345	7997

4.6.3.5. Hata hesapları

Lüminesans yöntemleriyle yapılan yaş tayinlerinde hata sınırları % 5 ile % 15 arasında değişmektedir. Tablo 4.10 bu çalışmada tarihlendirmeyi yapan cihazın bulmuş olduğu hata yüzdelere göstermektedir. Bu hatalar aşağıdaki denklemlerden yararlanılarak bulunmuştur (Aitken 1985, 1976). Hatalar hesaplanırken kullanılan yıllık doz bileşenlerinden kaynaklı tipik değerler tablo 4.9 da verilmiştir.

a) Rastgele (random) hata (σ_r)

$$\sigma_r^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$$

σ_1 eş değer dozdan gelen hata miktarını ve α - sayma, K analizi ve TLD'den gelen hata miktarını göstermektedir.

$$\sigma_1^2 = \left\{ 100(1 - f_\alpha) \frac{\delta Q}{Q} \right\}^2 + \left\{ 100 f_\alpha \frac{\delta a}{a} \right\}^2$$

$$\sigma_2^2 = 25 \left\{ (f_\alpha + f_{\beta, Th, U})^2 + f_{\beta K}^2 \right\} + \left\{ 100 f_\gamma \frac{\delta D_p}{D_p} \right\}^2$$

Burada Q eşdeğer dozu, a alfa zayıflatma katsayısını, D_p dozimetrelerden gelen yıllık doz miktarını, δQ , δD_p ve δa ise bu miktarlardaki belirsizlikleri gösterir.

b) sistematik hata

$$\sigma_s^2 = \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2$$

Burada σ_3 kalibrasyon işlemlerinden, σ_4 radon kaybından, σ_5 ise nem miktarından kaynaklanan hataları göstermektedir.

$$\sigma_3^2 = 25 \left\{ f_\alpha^2 + (1 - f_\alpha - f_\beta)^2 + (f_\alpha + f_{\beta, Th, U})^2 + f_{\beta K}^2 + f_\gamma^2 \right\}$$

$$\sigma_4^2 = 15 f_{\beta, Th, U}^2$$

$$\sigma_5 = (\delta F/F) \left\{ w(1.5 f_\alpha + 1.25 f_\beta) + w(1.15 f_\gamma) \right\}$$

Burada W örnekteki nem miktarını, F örneğin gömü sırasında suyu tutma oranını, δF ise bu miktardaki belirsizliği göstermektedir.

Yukardaki denklemlerde kullanılan belirsizlikler cihaz tarafından bulunmaktadır.

$$\sigma_{\text{toplam hata}}^2 = \sigma_r^2 + \sigma_s^2$$

Tablo 4.9. Yıllık doz bileşenleri ile ilgili tipik değerler (Aitken, 1985)

Bileşenler	İnce tanelerde tarihleme	İri tanelerde tarihleme
f_{α}	0.45	0
f_{β}	0.30	0.56
$f_{\beta K}$	0.16	0.30
$f_{\beta, Th, U}$	0.14	0.26
f_{γ}	0.22	0.39
$f_{\gamma K}$	0.05	0.08
$f_{\gamma, Th, U}$	0.17	0.31

Tablo 4.10. Bulunan OSL ve TL yaşlarında hata analizi

Rastgele (random) ölçüm hataları	%
	2.91
Eşdeğer doz ve lineerlikten sapma	
α - sayma ve K analizi	3.50
Toplam random hata	4.55
Sistematik hata	
α ve β kalibrasyonu α - sayma ve K analizi	5.55
TLD hesaplamaları	1.42
Radon kaybı	0.15
Nem	1.47
Toplam sistematik hata	5.91
Toplam hata	7.46

TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, Kocaeli depreminin oluşturduğu fayın Kullar-Yaylacık bölümünde açılan bir hendekten çıkarılan sedimandan, örnek ayırma işlemi sonucunda elde edilen kuvars örneklerinin OSL ve TL yöntemleriyle tarihlendirilmesi yapılmıştır. Jeolojik örneklerin yaşı hesaplanırken dikkate alınan iki bileşenden biri yıllık doz, diğeri paleodoz miktarıdır. Paleodoz çalışmalarından önce, örneklerin OSL özellikleri incelenmiş, bu özelliklerin tarihlendirmede etkileri araştırılmış ve bu etkilerin ortadan kaldırılması ya da en aza indirilmesi için çalışılmıştır. Daha sonra da OSL ve TL yöntemleriyle paleodoz bulunarak karşılaştırma yoluna gidilmiştir.

Yıllık doz miktarı hesaplanırken,

- örneklerin yıllık doz değerlerinin onların binlerce yıllık geçmişinde aynı kaldığı,
- uranyum ve toryum ana çekirdekleri ile bunların ürün çekirdekleri arasında radyoaktif dengenin bulunduğu,
- yapıya sıkıca bağlı olan ve ısıtma ile kolaylıkla çıkarılamayan nemden dolayı, yıllık doza % 5 civarında bir hatanın gelebileceği ve bunun kolaylıkla ortadan kaldırılamayacağı (Aitken 1998)

varsayılmıştır.

Bu varsayımların ışığında yıllık doz hesaplanırken göz önüne alınan faktörler,

- örneklerin farklı derinliklerden alınmış olması,
- örneklerin orta büyüklükteki tanelerden oluşması,
- radon gazı kaçağı,
- topraktaki nemin etkisi

olarak sıralanabilir.

Yıllık doz, örneğin içinde ve dışında bulunan radyoaktif maddelerden (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K içeren maddeler) gelen alfa ve beta parçacıkları ile gama ışınlarının ve atmosferden gelen kozmik ışınların katkılarının belirlenmesi ile hesaplanmıştır. Sabit kabul edilmesi varsayımıyla yıllık dozun örnekler için bir kez hesaplanması yeterliyken, bu çalışmada örneklerin farklı derinliklerden çıkarılması nedeniyle, her örnek için ayrı ayrı yıllık doz hızı bulunmuştur. Ayrıca tarihlemeye kullanılacak örneklerin orta büyüklükteki tanelerden oluşması nedeniyle alfa katkıları ihmal

edilmemiş, alfa, beta ve gama katkılarının herbiri ayrı yöntemlerle bulunmuştur. Uranyum ve toryum zincirlerinde radyoaktif denge olduğu sürece doz hızında önemli bir değişme gözlenmez. Ancak bazı durumlarda uranyum zincirinden radon'un gaz halinde kaçtığı bilindiği için (Aitken 1976, 1985), bu çalışmada kullanılan alfa kaynağı radon gazı kaçacağını da tesbit edecek şekilde düzenlenmiştir. Böylelikle, doz hızını belirlerken önemli bir hata olmadığı düşünülebilir. Doz hızını belirlerken ihmal edilmemesi gereken diğer bir nokta da topraktaki nemin etkisidir. Yaz mevsiminde toprağın daha kuru olması nedeniyle artan radyasyon dozu, kış mevsiminde azalma gösterir. Su ile doyurulmuş toprakta soğurulan gama radyasyonu enerjisinde % 10-15 oranında azalma olabileceği göz önüne alınarak (Mejdahl 1970), örneklerin doz hızı bileşenleri hesaplanmadan önce nem miktarları tespit edilerek bu hata ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

Örneklerin yıllık dozlarına en büyük katkıyı gama ışınları yapmaktadır. Gama ve kozmik ışıklardan gelen yıllık doz bileşenini bulmak amacıyla, örneklerin alındığı bölgeye dört adet $Al_2O_3:C$ dozimetreleri gömülmüştür. Örneklerin gömülü bulunduğu süre içindeki çevre koşulları ve mevsimsel değişiklikleri dikkate almak açısından dozimetrelerin uzun bir süre sonunda (8 ay) topraktan çıkarılması, sözü edilen değişikliklerden kaynaklanan etkileri olabildiğince azaltmıştır.

Güneşdeki patlamalar, astronomik olaylar ve örneklerin mikro gözenekleri içine girmesi olası su nedeniyle oluşacak değişmeler yıllık dozlarda önemli bir değişme yaratabilir. Bu etkilerin tümünün yıllık doza yansıtılması sonucunda bulunacak bir yaş, elbetteki daha doğru olacaktır.

Paleodoz hesabında örneklerin OSL ölçümlerine,

- ◆ gün ışığının,
- ◆ anormal sönümün,
- ◆ ön ısıtma sıcaklığının,
- ◆ tanecik büyüklüğünün
- ◆ yapay radyasyon doz artışının

etkileri incelenmiş ve paleodoz hesabı bu etkilerden kaynaklanan olumsuz koşulların en aza indirilmesiyle yapılmıştır.

Örneklerin OSL duyarlılığına gün ışığının etkisi bu yöntemin en önemli parametresidir. Gün ışığının hazırlanan örneklerdeki OSL sinyalini bir kaç dakika içinde yok etmesi sinyalin gün ışığına ne kadar duyarlı olduğunu göstermiştir (Bölüm 4.6.2.1). Tüm çalışma boyunca örneklerin gün ışığına veya ona yakın ışıklara maruz kalmaması için gereken titizlik gösterilmiştir. Örnekler, bu amaçla hazırlanmış metal silindirelerle alınmış, siyah kalın poşetlere konulmuş ve laboratuvara getirilerek karanlıkta korunmuştur. Örnekler ölçüm için hazırlanırken kısa bir süre de olsa gün ışığına maruz kaldığı düşünülerek, dış yüzeyleri kazınmıştır. Bütün çalışmalar kırmızı ışık altında gerçekleştirilmiştir.

Örneklerin tarihsel süreç içinde ve laboratuvarında bekletildikleri süre içinde lüminesans sinyallerinde anormal bir sönme olup olmadığını anlamak amacıyla bölüm 5.2.2 ve 5.3 1'de belirtildiği gibi, örnekler yapay olarak ışınlanmış ve oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 3 ay gibi bir süre bekletilmiştir. Bu arada çeşitli zaman aralıklarında OSL ve TL şiddetleri ölçülmüş, belirgin bir azalma olmadığı gözlenmiştir. Bu durumda anormal sönümden kaynaklanan hatanın önemsenecek boyutta olmadığı düşünülmüştür.

Örneklerin OSL sinyalini etkileyen faktörlerden biri de ön ısıtma işlemidir. OSL ile kararlı ve kararsız lüminesansı ayırt edebilmek, TL deki gibi bir ısı eğrisine sahip olmadığı için, mümkün değildir. Bu nedenle de kararsız lüminesansla ortaya çıkan yapay sinyalin etkisi ön ısıtma işlemi ile ortadan kaldırılması gerekli olduğundan ön ısıtma işlemi kararlı tarihleme sinyalini veren 325⁰C civarındaki pike zarar vermeden bunun dışındaki sıcaklık piklerini de ortadan kaldırmak üzere yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan örneklerle elde edilen ön ısıtma sıcaklığı ve süresi 220⁰C ve 5 dakika olarak uygulanmıştır. Bu da literatürle uygunluk göstermektedir (Rhodes 1988, 1990).

Optik uyarmalı lüminesansın verimliliğini etkileyen bir diğer faktör, örneklerin tanecik boyutlarıdır. Örneklerin bir fay oyuğundan alınması ve fay hareketleri ile

ortaya çıkan enerjinin örneklerin küçük tanelerini daha çok etkileyerek lüminesansı sıfırlaması ve bu nedenle küçük tanelerin daha yüksek lüminesans duyarlılığına sahip olması, tanecik boyutunun önemini göstermektedir. Bu çalışmada üç ayrı boyut aralığı (60-90, 90-250, 250-355) μm kullanılarak çeşitli denemeler yapılmış ve en yüksek verimin alındığı tanecik boyutunun (60-90) μm olduğu görülmüştür. Bu tane boyutu ise literatürde orta büyüklükte tanecikler grubuna girmektedir (Aitken 1998).

Örneklerin OSL sinyallerinin dozla artış göstermesi onların tarihlendirmeye uygunluğunun göstergesidir. Araştırmada kullanılan örneklerin paleodoz değerlerini belirlemekte kullanılan dozla artış eğrileri, iki ayrı yöntemle bulunmuştur. Bunlardan birincisi, MAAD diğeri ise SAR yöntemidir. Her iki yöntemde de dozla doyuma ulaşan OSL şiddet değerlerinden oluşan büyüme eğrileri kullanılmıştır.

Örneğin paleodoz değerini MAAD yöntemiyle belirlerken örneğe verilecek her bir doz için çok sayıda disk hazırlanır. SAR yönteminde ise tek bir disk üzerinde doz vererek ölçümler alınır. OSL ölçümleri alınırken normalizasyon yapılmasına rağmen farklı diskler üzerindeki tanelerin yaydıkları OSL sinyalleri farklı olabilir. Bu da bulunan paleodoz değerlerinde az da olsa bir farklılığa yol açabilir. OSL yöntemi kullanılarak iki ayrı şekilde bulunan paleodoz değerlerinin farklı çıkması nedeniyle, bulunan yaşlar da farklılık göstermiştir. Örneklerin yaşları; MAAD yöntemi ile 11311 ± 843 , 9263 ± 691 ve 8218 ± 613 yıl, SAR yöntemi ile 11546 ± 861 yıl, 9441 ± 704 yıl ve 8345 ± 622 yıl olarak bulunmuştur. Değerler arasındaki farklılık yöntemin hata sınırları içinde olmakla beraber SAR yönteminden elde edilen sonuçların daha güvenilir olduğu söylenebilir.

Lüminesans sinyalinin OSL de 325°C pikine ayarlanmış olması nedeniyle TL ısı eğrilerinde de sadece 325°C civarındaki pik gözlenmiştir. Bu sıcaklık piki, doğal örneklerde bile net olarak gözlemlendiğinden ve radyasyon dozuna karşı duyarlı olduğundan, tarihllemeye en uygun pik olarak kabul edilir (Aitken and Smith 1988). Örneklerin lüminesans eğrilerinin 325°C civarındaki pikinin radyasyon dozuyla artışı ile elde edilen TL büyüme eğrilerinde doğrusallıktan sapma tesbit edildiği için, paleodoz değerlerine düzeltme faktörü bulunarak eklenmiş ve bundan sonra yaş

taini yapılmıştır. TL yaşları 11115 ± 829 , 9213 ± 687 ve 7997 ± 596 yıl olarak hesaplanmış ve her iki doz işlemiyle bulunan OSL yaşlarına yakın çıktığı görülmüştür. Buna göre, lüminesans yöntemi üç ayrı işlemle karşılaştırmalı olarak kendi içinde bir tutarlılık göstermiştir.

Aynı hendekten S.Pavrides⁽¹⁾ tarafından alınan organik örneklerle radyokarbon yöntemi kullanılarak elde edilen yaşlar, 1.örnek için 11800 ± 40 ve 3.örnek için de 120 ± 40 yıl olarak bulunmuş (Radiocarbon Analysis of the University of Georgia-Stable Isotope Ratio Analysis d13 C) ve bu çalışmada bulunan üç ayrı yaş ile karşılaştırılmıştır. Değerler incelendiğinde örnek 1'in sonucunun hata sınırları içinde olduğu görülmüştür. Örnek 2'nin alındığı yerden ^{14}C ile bir sonuç elde edilemediğinden, karşılaştırma yapılamamıştır. Örnek 3 için ise ^{14}C 'le bulunan değer çok küçük olduğu görülmektedir. ^{14}C yöntemi ile tarihleme yapılırken en önemli faktör malzemenin organik olmasıdır. Örnek 2 de olduğu gibi bazan tesbit edilen yerde organik malzeme bulunmadığı zaman o yerin tarihlemesi yapılamadığı gibi, bazan da o bölgeye dışardan organik bir malzemenin taşınma olasılığı yüksektir. Örnek 3'de de tarihlerin bu kadar farklı olması ^{14}C için kullanılan malzemenin alındığı noktaya farklı bir zamanda taşınmış olma olasılığını güçlendirmektedir.

Yapılan tüm çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- ◆ Termolüminesans sinyali sıcaklığa karşı elde edildiğinden sıcaklık arttıkça sinyalde termal sönmeden kaynaklanan bir azalma meydana gelebilir. OSL ölçümleri ise oda sıcaklığında alındığından örnekler böyle bir işlemde etkilenmezler. Bu nedenle TL de oluşabilecek termal sönme olasılığının örneklerin yaşlarında, OSL ye göre bir azalma göstermesi mümkündür. Dolayısıyla, bu çalışmada elde edilen TL yaşlarının OSL'ye göre az da olsa küçük çıkmasının nedenlerinden biri termal sönme olarak kabul edilebilir.

¹Yazılı görüşme, 2002. Prof. of Geology (Neotectonics and Palaeoseismology) Dept.of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Thessalonik ,GREECE

- ◆ Aynı örnekten bir kaç kez üst üste OSL sinyali almak mümkündür. TL da ise örnekten bir kez ölçüm alındıktan sonra ikinci bir ölçüm alınamaz. Bu nedenle OSL ölçümlerinde örneklere kısa ışık normalizasyon işlemi uygulanabilirken TL'de uygulanamaz. Lüminesansın örnekten örneğe değişeceği gibi, taneden taneye de değişeceği düşünülürse normalizasyon işleminin tarihleme için ne kadar önemli olduğu anlaşılabilir ve bu, OSL'nin TL'ye göre bu üstünlüğü olarak kabul edilebilir.
- ◆ Örneklerin OSL ve TL yaşları bulunurken her iki yöntemle elde edilen büyüme eğrilerinin, dozla doyuma ulaşan üstel büyüme eğrileri şeklinde birbirine benzerlik gösterdiği görülmüştür.
- ◆ OSL ve TL yaşlarının, radyokarbon yöntemiyle bulunan yaşlarla karşılaştırılabilmesi için kullanılan inorganik ve organik örneklerin geçmişlerini aynı koşullarda geçirmiş olmaları gerekir.
- ◆ Çalışılan 3 örnekten elde edilen değerler, günümüzden yaklaşık 8, 9 ve 11 bin yıl önce bu örneklerin TL ve OSL sinyallerini sıfırlayacak şiddetli bir ışığa ya da ısıya maruz kaldıklarını göstermektedir. Böyle büyük bir enerjinin fayın hareketlenmesi ile ortaya çıkacağı varsayımıyla bu tarihlerde depremlerin olduğu düşünülebilir.
- ◆ Bu çalışmada tek bir hendekten alınan örnekler değerlendirilmiştir. Oysa fay hareketliliği hakkında daha kesin bir sonuca varmak için fay boyunca açılacak bir çok hendeğin stratigrafisi çıkarılarak tesbit edilen noktalardan alınan örneklerin yaşlarının bulunması gerekir. Böylece fayın geçmiş hareketliliği ve o bölgedeki depremlerin geçmişi (hikayesi) hakkında bir fikir elde edilebilir. Bunun sonucu olarak da şimdiye kadar fay hareketliliğinin incelenmesinde kullanılan Potasyum-Argon, fizyon izleri ve ESR tarihleme yöntemlerine OSL ve TL yöntemlerinin de katılabileceği ve farklı tarihleme yöntemlerinin aynı örneklerde kullanılmasının, güvenilirlik açısından, önerilmesi gerekir.

Böyle geniş bir çalışmaya başlangıç olmak üzere, çalışılan fayın Kavaklı bölgesinde daha büyük ve derin bir hendek açılmış, buradaki stratigrafiye uygun 6 noktadan örnekler alınmış ve tarihleme çalışmalarına başlanmıştır. Örneklerin hazırlanma ve ölçüm işlemleri oldukça uzun sürdüğünden sonuçları burada değerlendirilememiştir. Bu çalışma devam etmektedir.

KAYNAKLAR

1. AITKEN, M. J., TITE, M. S., and REID, J., 1964. Thermoluminescent Dating of Ancient Ceramics. *Nature* 202, 1032-1033.
2. AITKEN, M. J., 1968. Evaluation of Effective Radioactive Content by Means of Thermoluminescent Dosimetry. In *Thermoluminescence of Geological Materials*, edited by D.J. Mc Dougall, 463-470. Academic Pres, New York.
3. AITKEN, M. J., 1976. Thermoluminescent Age Valuation and Assessment of Error Limits: Revised System. *Archeometry* 18, 233-238.
4. AITKEN M.J., 1985. *Thermoluminescence Dating*. 118 London.
5. AITKEN, M. J., and SMITH, B. W., 1988. Optical Dating: Recuperation After Bleaching. *Quat. Science Rev.*, 7, 387-394.
6. AITKEN, M. J., SMITH, B. W., and RHODES E. J., 1989 Optical Dating: Recapitulation on Recuperation. *Synopses from a Workshop on Long and Short Range Limits in Luminescence Dating*. The Research Laboratory for Archaeology and the History of Art, Oxford University, Occasional Publication no. 9, 1-6.
7. AITKEN, M. J., 1990. *Science-Based Dating in Archaeology*. Longman, London.
8. AITKEN, M.J., 1992. Optical Dating, *Quat. Science Rev.*, 11, 127-131
9. AITKEN M.J., 1998. *An Introduction to Optical Dating* Oxford University Press, London. P.37-50, 61-69, 87-102.
10. AKPİNAR S., 1971. *Katıhal Fiziğinden Seçme Konular*, 10-18.
11. AKPİNAR S., 1972. *Katıhal Fiziğinden Seçme Konular*, 2-5.
12. BANERJEE, D., SUNGHVI, A. K., KANCHAN PANDE, GOGTE, V. D. and CHANDRA B. P., 1999. Towards a Direct Dating of Fault Gouges Using Luminescence Dating Techniques- Methodological Aspects.
13. BARABAS, M., BACH, A. and MANGINI, A., 1988. An Analytical Model for the Growth of ESR Signals, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 14, ½, 231-235.
14. BERGER, G.W., 1986. Dating Quaternary Events by Luminescence-Recent Advances. *Geoscience Canada*, 13, 15-21.

15. BLAIR, I. M., EDGINGTON, J.A., CHEN, R. and JAHN, R.,1972. TL of Apollo 14 Lunar Samples Following Irradiation at -196C.Third Lunar Science Conference,Vol.3, 2949-2953.
16. BLACK, C. A., 1965. Method of Soil Analysis (part2) Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agromony.
17. BOTTER-JENSEN, L., BUNDGAARD, J., MEJDAHL, V., 1983. An HP-85 Microcomputer-Controlled Automated Reader System for TL Dating. PACT 9, 343-350.
18. BOTTER-JENSEN, L., 1988. The Automated Riso TL Dating Reader System. Nucl. Tracks and Radiat. Meas., 14, 177-180.
19. BOTTER-JENSEN, L., DITLEFSEN, C. and MEJDAHL, V., 1991. Combined OSL (infrared) and TL Studies of Feldspars. Nucl. Tracks and Radiat. Meas., 18, 257-263.
20. BOTTER-JENSEN, L. and DULLER, G.A.T., 1992. A New System for Measuring. OSL from Quartz Samples. Nucl. Tracks and Radiat. Meas., 20, 549-553.
21. BOTTER-JENSEN, L. and DULLER, G.A.T. and POOLTON, N. R. J., 1994. Excitation and and Emmision Spectrometry of Stimulated Luminescence from Quartz and Feldspars. Radiat. Meas., 23,613-616.
22. BOTTER-JENSEN, L and MC KEEVER, S.W.S., 1996. Optically Stimulated Luminescence Dosimetry Using Natural and Synthetic Materials. Radiat. Prot. Dosim., 65, 273-280.
23. BOTTER-JENSEN, L., 1997, Luminescence Techniques:Instrumentation and Methods, Radiat. Meas.27, No.5/6, 749-768. Great Britain.
24. BOTTER-JENSEN, L., 2000. Development of Optically Stimulated Luminescence Techniques Using Natural Minerals and Ceramics, and Their Application to Retrospective Dosimetry. Unpublished Doctorate Thesis P., 9-25, Riso Natural Lab., Roskilde.
25. BULUR, E., 1996. An Alternative Technique for Optically Stimulated Luminescence (OSL) Experiment. Radiat. Meas., 26, 701-709.
26. BULUŞ-KIRIKKAYA, E. and ÖZER, A..M., 2001. Investigation of Effect of Grain Size and Storage Time at Some Preheat Temperatures on Equivalent Dose (ED) for Sediment Samples in Fault Gouge by Optically Stimulated Luminescence (OSL) Technique. International Symposium on New Prospect of Dosimetry and Dating. Osaka, Japon.
27. CHEN, R. and MCKEEVER, S.W.S., 1997. Theory of Thermoluminescence and Telated Phenomena. World Scientific, London.

28. DANIELS, F., BOYD, C. A. and SOUNDERS, D. F., 1953. Thermoluminescence as a Research Tool. *Science*, 117, 343-349.
29. DEMİRTAŞ, R., ERKMEN, C., 2000. Kuzey Anadolu Fayı Sapanca –Gölcük Segmentinde Paleosismolojik Çalışmalar. Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı. Ankara, 149.
30. DULLER, G. A. T., 1991. Equivalent Dose Determination Using Single Aliquots. *Nucl. Tracks and Radiat. Meas.*, 18, 371-378.
31. DULLER, G. A. T. and BOTTER-JENSEN L., 1993. Luminescence from Potassium Feldspars Stimulated by Infrared and Green Light. *Radiat. Prot. Dosim.*, 47, 683-688.
32. DULLER, G. A. T., 1995. Luminescence Dating Using Single Aliquot: Methods and Applications. *Radiat. Meas.*, 24, 217-226.
33. DULLER, G. A. T., 1996. Recent Developments in Luminescence Dating of Quaternary Sediments. *Progress in Physical Geography*, 20, 133-151.
34. DULLER, G. A. T., BOTTER-JENSEN L. and KOHSIEK, P. and MURRAY A. S., 1999. A High-Sensitivity OSL Scanning System for Measurement of Single Sand Sized Grains. *Radiat. Prot. Dosim.* 84, 325-330.
35. ENGİN, B., 1996. Doğal Kalsit Minerallerinin Termoluminesans ve ESR Yöntemleri ile İncelenmesi ve Tarihlenmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bil. Ens., Doktora Tezi, Ankara.
36. FRANKLIN, A. D., PRESCOTT, J. R. and SCHOLEFIELD, R. B., 1995. The Mechanism of Thermoluminescence in an Australian Sedimentary Quartz. *J. Luminescence*, 63, 317-326.
37. FUKICHI, T., 1988. Application of ESR Dating Using Multiple Centers to Fault Movement; the Case of the Itagawa-Shizuoka Tectonic Line, A Major Fault in Japan. *Quat. Science. Rev.* 7, 509-514
38. GARLICK, G. F. J. and ROBINSON, I., 1972. The Thermoluminescence of Lunar Samples. In *The Moon*, International Astronomers Union Dordrecht. 324-329.
39. GEZGİ, S., 1992. Katıhal Fiziği, İTÜ yayınları, 503-510, İstanbul.
40. GODFREY-SMITH, D. I., HUNTLEY, D. J. and CHEEN, W., H., 1988. Optical Dating Studies of Quartz and Feldspar Sediment Extracts. *Quat. Science Rev.*, 7, 373-380.
41. GÖKSU, Y., 1982. Arkeolojide Bilimsel Tarihlendirme Yöntemleri ve Analiz Teknikleri. *Çağdaş Fizik*, 14, 19-26.

42. HUNTLEY, D. J., GODFREY-SMITH, D. I. And THEWALT, M. L. W., 1985. Optically Dating of Sediments. *Nature*, 313, 105-107.
43. HUNTLEY, D. J., HUTTON, J. T. and PRESCOTT, J. R., 1993. The Strandet Beach-Dune Sequence of South-East Australia: a Test of Thermoluminescence Dating, 0-800 ka. *Quat. Science Rev.*, 12, 1-20.
44. HUNTLEY, D. J., AND CLAGUE, J.J., 1996. Optical Dating of Tsunami-laid Sands. *Quaternary Research*, 46, 127-140.
45. HUTT, G., JACK, I. and TCHONKA, J., 1988. Optical Dating: K-Feldspars Optical Response Stimulation Spectra. *Quat. Science Rev.*, 7, 381-386.
46. ICHIKAWA. Y., 1965. Dating of Ancient Seramics by Thermoluminescence. *Bulletin of the Institute of Chemical Research, Kyoto University* 43, 1-6.
47. IKEYA, M., MIKI, and T. TANAKA, K., 1982. Dating of a Fault by Electron Spin Resonance on Intrafault Materials. *Science* 215, 1392-1393.
48. IKEYA, M., 1993. *New Applications Electron Spin Resonance, Dating Dosimetry and Microscopy*, World Scientific Pub. Co. Pte. Ltd.
49. KENNEDY, G. C., and KNOPFF, L., 1960. Dating by Thermoluminescence. *Archaeology* 13, 147-148.
50. LEE, H.K. and SWARCZ, E.P., 1993. An Experimental Study of Shearing Induced Zeroing of ESR Signals. *Applied Radiation and Isotopes*. 44 (1-2) 191-195.
51. MAZESS, R. B., and ZIMMERMAN, D. W., 1966 Pottery Dating from Thermoluminescence. *Science* 152. 347-348.
52. MEJDAHL, V., 1969. Thermoluminescence Dating of Ancient Danish Ceramics. *Archeometry* 11, 99-104.
53. MEJDAHL, V., 1970. Measurement of Enviromental Radiation at Archeological Excavation Sites . *Archeometry*, 12, 147-159.
54. MEJDAHL, V., 1988. Long-term Stability of the TL Signal in Alkali Feldspars. *Quat. Science Rev.*, 7, 357-360.
55. MOORE D.M., 1977. *X-ray Analysis of the Identification of Clay Minerals*.
56. MCKEEVER, S., 1985. *Thermoluminescence of Solids*. Cambridge U.P., London.

57. MCKEEVER, S., W. S., AGERSNAP LARSEN, N., BOTTER-JENSEN, L., and MEJDAHL, V. 1997. OSL Sensitivity Changes During Single Aliquot Procedures: Computer Simulations. *Radiation Measurements*, 27, 75-82.
58. MURRAY, A. S. and ROBERTS, R. G., 1997. Determining the Burial Time of Single Grains of Quartz Using Optically Stimulated Luminescence. *Earth and Planetary Science Letters*, 152, 163-180.
59. MURRAY, A. S., and WINTLE A.G., 1998. Factors Controlling the Shape of OSL Decay Curve in Quartz. *Radiat. Meas.* 29. 65-80.
60. ONARAN, K., 1993. *Malzeme Bilimi. Bilim Teknik Yayınevi. İstanbul.*
61. POOLTON, N. R. J. and BAILIFF I. K., 1989. The use of LEDs as an Excitation Source for Photoluminescence Dating of Sediments. *Ancient TL* 7, 18-20.
62. PRASAD, S., 1998. HF Treatment for the Isolation of Fine Grain Quartz for Luminescence Dating. *Ancient TL* 18, 15-17.
63. RALPH, E.K., and HAN, M. C., 1966. Dating of Pottery by Thermoluminescence. *Nature* 210. 245-247.
64. RINK, W.J., TOYODA, S., REES-JONES, J., SCHWARTZ, H.P., 1999. Thermal Activation of OSL as Geothermometer for Quartz Grain Heating During Fault Movements, *Radiat. Meas.*, 30, 97-105.
65. RHODES, E. J., 1988. Methodological Considerations in the Optical Dating of Quartz. *Quat. Science Rev.*, 7, 395-400.
66. RHODES, E.J., 1990. Optical Dating of Quartz from Sediments. Unpublished D.Phil. Thesis. Oxford University.
67. ROBERTS, R. G., SPOONER, N. A., and QUESTIOUX, D. G., 1994. Paleodose Underestimates Aused by Extended Duration Preheats in Optical dating of quartz. *Radiat. Meas.*, 23, 647-653
68. SPOONER, N. A. and FRANKS, M., 1990. Some Characteristics of Infrared Emitting Diodes Relevant to Luminescence Dating. *Ancient TL*, 8, 16-19.
69. SPOONER, N. A. and QUESTIOUX, D. G., 1990. Optical Dating. In *Synopsis from a Work on Long and Short Range Limits in Luminescence Dating*, Oxford, RLAHA Occasional Publication No.9, 97-103.
70. STOKES S., 1992. Optically Dating of Young (modern) Sediments Using Quartz: Result from a Selection of Depositional Environments. *Quat. Science Rev.*, 11, 153-159.

71. TUTKUN, Z., and PAVLIDES, S., 2001. Small Scale Contractional-Extentional Structure and Morphotectonics Along the Fault Traces of İzmit (Turkey). *Bull. Geol. Soc. Greece*, 34/1 345-532.
72. VISOCEKAS, R., CEVA, T., MARTI, C., LEFAUCHEUX, F. and ROBERT M. C., 1976. Tunneling Prosses in Afterglow of Calcite. *Physica Status Solidi A* 35. 315-327.
73. WINTLE, A. G., AITKEN, M. J., and HUXTABLE, J., 1971. Abnormal Thermoluminescence Fading Characteristics. *Proceedings of the 3rd International Conference on Luminescence Dosimetry*, Riso, Denmark, pp. 105-131
74. WINTLE, A. G., 1973. Anomalous Fading of Thermoluminescence in Mineral Samples. *Nature* 245, 143-144.
75. WINTLE, A. G., 1975. Thermal Quenching of Thermoluminescence in Quartz. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 41, 107-113.
76. WINTLE, A. G., 1977. Detailed Study of Thermoluminescent Minerak Exhibiting Anomalous Fading. *Journal of Luminescence* 15, 385-393.
77. WINTLE, A. G., and HUNTLEY, D. J., 1980. Thermoluminescence Dating of Ocean Sediments. *Canadian Journal of Earth Sciences* 17, 348-360.
78. WINTLE, A.G., 1990. A Review of Current Researc on TL Dating of Loess. *Quat. Science Rev.*, 9,385-397.
79. WOLFE, S.A., HUNTLEY, D. J. and OLLERHEAD, J., 1995. Recent and Late Holocene Sand Dune Activity in Southwestern Saskatchewan. In *Current Research 1995-B*; Geological Survey of Canada, pp. 131-140.
80. ZELLER, E.J., LEVY, P.W. and MATTERN, P. L., 1967. Geologic Dating by Electron Spin Resonance. *Proceedings of the Symposium on Radioactive Dating and Low-Level Counting*, 531-540. IAEA, Wein.

ÖZGEÇMİŞ

21 Kasım 1962 de Erzincan'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzincan'da tamamlandıktan sonra üniversite eğitimine ODTÜ Fizik bölümünde devam etti. Üniversite öğrenimini bitirdikten sonra 1 yıl Ankara'da 9 yıl Kocaeli'de olmak üzere 10 yıl özel öğretim kurumlarında fizik öğretmenliği yaptı. Bu sırada 1993- 94 öğretim yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsün Fizik Ana Bilim Dalında sürdürdüğü yüksek lisans programından 1995-1996 güz döneminde mezun oldu. Aynı dönem doktora programına devam etmeye hak kazandı. 1997 –98 öğretim yılında aynı enstitüde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2001 yılında yeni kurulan Eğitim Fakültesinde öğretim görevlisi olarak çalışmalarını sürdürdü.

On yıldan beri evli olup halen Eğitim Fakültesindeki görevini sürdürmektedir.



TC YÖNEKLEME VE KURUMSAL İZLENLER MERKEZİ
DOKÜMAN YÖNETİM MERKEZİ