

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cumhur ARIKAN

LİMYRA –FİNİKE (ANTALYA) SERAMİKLERİNİN
TERMOLÜMİNESANS (TL) VE OPTİKSEL UYARILMAYLA
LÜMİNESANS (OSL) YÖNTEMLERİYLE TARİHLENDİRİLMESİ

ARKEOMETRİ ANABİLİM DALI

gnbln

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULTAYI
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

A D A N A, 2000

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİMYRA –FİNİKE (ANTALYA) SERAMİKLERİNİN
TERMOLÜMİNESANS (TL) VE OPTİKSEL
UYARILMAYLA LÜMİNESANS (OSL)
YÖNTEMLERİYLE TARİHLENDİRİLMESİ

Cumhur ARIKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ARKEOMETRİ

Bu tez 29/ 05/2000 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği
İle Kabul Edilmiştir.

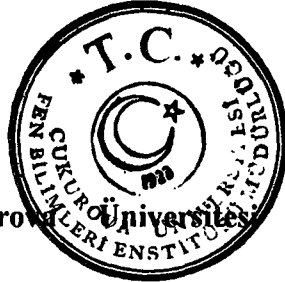
İmza.....
Pof. Dr. Zehra Yegingil
DANIŞMAN

İmza.....
Prof. Dr. Selim Kapur
ÜYE

İmza.....
Prof. Dr. Servet Yaman
ÜYE

Bu tez Enstitümüz ARKEOMETRİ Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No: 1734



Prof. Dr. Melih BORAL
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu Tarafından
Desteklenmiştir.

Proje No: FBE 98/YL22

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

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
SİMGELER VE KISALTMALAR	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
RESİMLER DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Limyra Antik Kenti	1
1.2. Termolüminesans Teosisi	3
1.3. Termolünesans Tarihlendirme Yöntemi	7
1.4. Optiksel Uyarılma ile Lüminesans (OSL) Tarihlendirme Yöntemi..	13
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	20
3. MATERYAL VE METOD	23
3.1. Materyal	23
3.2. Metod	24
3.2.1. TL Ölçüm Sistemi	28
3.2.2. OSL Ölçüm Sistemi	29
3.2.3.. Alfa Sayıcısı	30
3.2.4. Çevre Dozunun (Yıllık Doz) Hesaplanması	30
3.2.4.1. Alfa Sayımı ve Beta Analizi	31
3.2.4.2. Nemlilik Oranının Belirlenmesi	32
3.2.4.3. Potasyum Analizi	32
3.2.5. İç Dozun (Eşdeğer Doz) Hesaplanması	33
3.2.5.1. İnce Tanecikler Yöntemi	34
3.2.5.2. Kuartz Katkı Tanecikler Yöntemi	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5- SONUÇLAR VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	48

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LİMYRA –FİNİKE (ANTALYA) SERAMİKLERİNİN
TERMOLÜMİNESANS (TL) VE OPTİKSEL UYARILMAYLA
LÜMİNESANS (OSL) YÖNTEMLERİYLE
TARİHLENDİRİLMESİ**

CUMHUR ARIKAN

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

Danışman : Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL

Yıl: 2000, Sayfa: 50

Jüri : Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL

: Prof. Dr. Selim KAPUR

: Prof. Dr. Servet YAMAN

Yapılan çalışmada Antalya’da bulunan antik yerleşim Limyra’dan alınan keramik örneklerine Termolüminesans. (TL) ve Optiksel Uyarılmayla Lüminesans (OSL) tarihlendirme yöntemleri uygulanmıştır. Bu amaçla kazı yerinden alınan keramik parçaları ve onları çevreleyen toprak örnekleri kullanılmıştır. Tarihlendirilen örnekler, bu bölgedeki 9 farklı noktadan toplanmıştır. Yaşların dağılım diyagramına bakınca, elde edilen farklı yaşların günümüzden önce 2016 yıl ile 2286 yıl arasında değiştiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Seramik, Termolüminesans (TL) Yöntemi, Optiksel

Uyarılmayla Lüminesans (OSL) Yöntemi.

ABSTRACT

MSc. THESIS

**THE DATING OF LIMYRA –FİNİKE (ANTALYA)
CERAMICS BY USING THERMOLUMINESCENCE (TL)
AND OPTICALLY STIMULATED LUMINESCENCE
(OSL) METHODS**

Cumhur ARIKAN

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

Supervisor : Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL

Year: 2000 , Pages: 50

Jury : Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL

: Prof. Dr. Selim KAPUR

: Prof. Dr. Servet YAMAN

In this study, Thermoluminescence (TL) and Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating have been carried out on ceramic samples from ancient village Limyra which is located in Antalya. For this purpose, the sherds and the surrounding soil from the excavation site have been taken into account. The samples dating were collected from 9 different points in this area. In the frequency diagram of these ages, distinctive results which range from 2016 years BC to 2286 years BC are recognized

Key Words: Ceramic, Thermoluminescence (TL) method , Optically Stimulated Luminescence (OSL) method.

TEŞEKKÜR

Bu konuyu bana yüksek lisans çalışması olarak veren yönlendiriciliğinden ve çalışmalarım sırasında karşılaştığım sorunların çözülmesinde yardımını esirgemeyen sayın danışman hocam Prof.Dr. Zehra Yeğingil'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım süresince önemli yardımlarını gördüğüm arkadaşlarım Doç.Dr.Vedat Peştemalcı, Yrd.Doç.Dr. Mehmet Karakılçık, Uz. İsmail Ukav, Kasım Kurt, Zeynep Atay ve Murat Süslü'ye teşekkür ederim. Ayrıca, sabır ve hoşgörüsünü hiç bir zaman esirgemedi gösteren eşim Serpil Arıkan'a ve oğullarım Necip ve Gökhan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



SİMGELER VE KISALTMALAR

TL	: Termolüminesans
OSL	: Optiksel Uyarılmayla Lüminesans
TLD	: Termolüminesans Dozimetresi
ED	: Eşdeğer Doz
YD	: Yıllık Doz
BB	: Kara cisim ışıması
PD	: Paleodoz
PSL	: Foto Simülasyon Lüminesans
LiF	: Lityum Florür
U	: Uranyum
Th	: Toryum
K	: Potasyum
β	: Beta parçacığı (örnek içinden gelen)
β_T	: Toplam beta parçacığı
α_{Th}	: Toryum içinden gelen alfa parçacığı
α_U	: Uranyum içinden gelen alfa parçacığı
f_w	: Örneğin kuru ağırlığı
f_s	: Örneğin yaş ağırlığı
N	: Doğal Işıma Değeri
Δ	: Grafik üzerindeki eşdeğer doz karşılığı
LED	: Işık yayan diyot.
G.Ö.	: Günümüzden Önce
M.Ö.	: Milattan Önce
M.S.	: Milattan Sonra

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge-1 : Roma Caddesi üzerinde yapılan sondaj kazı çalışmalarından çıkarılmış seramik ve toprak örneklerinin envanter numaraları...	24
Çizelge-2 : Yıllık dozun hesaplanmasında kullanılan değerler	37
Çizelge-3 : Uygulanan doz sürelerine karşılık gelen ısıma yoğunluğu değerleri	38
Çizelge-4 : Tarihlendirilmesi yapılan seramik örneklerinin eşdeğer doz (ED) ve yıllık doz (YD) değerleri	43
Çizelge-5 : Örnekler için bulunan tarihler, kapsadığı dönemler ve sondaj kazı çalışma noktaları	44



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil-1 : Lüminesansın soyağacı	4
Şekil-2 : Radyasyon soğurumu ve floresans, fosforesans, termolüminesans yayılımı arasındaki ilişki	5
Şekil-3 : Termolüminesansın açıklaması ve band modeli	6
Şekil-4 : Temel tuzak ve merkez model	8
Şekil-5 : TL ışıma eğrisi	10
Şekil-6 : Supralineer, lineer, ve sublineer bölgelerin gösterildiği termolüminesans eğrisi	11
Şekil-7 : Optiksel tarihlendirme için OSL ölçüm seti	13
Şekil-8 : Doğal optik uyarımlı lüminesans yayılımı (OSL)	15
Şekil-9 : Kuartzın OSL sinyali	17
Şekil-10 : Kuartz için lazere maruz kalmanın fonksiyonu olarak eşdeğer doz miktarı	18
Şekil-11 : (TL)'de doğal ışıma eğrisi.....	29
Şekil-12 : Eşdeğer doz Q ara kesitinin belirlenmesi	34
Şekil-13 : Eşdeğer doz I ara kesitinin belirlenmesi	34
Şekil-14 : A örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği	39
Şekil-15 : B1 örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği	39
Şekil-16 : B2 örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği	40
Şekil-17 : C1 örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği	40
Şekil-18 : C2 örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği	41
Şekil-19 : D örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği	42

1.GİRİŞ**1.1. Limyra Antik Kenti**

Antalya'nın Finike ilçesinde denizden yaklaşık 3 km kadar içeride, Turunçova yakınında yer almaktadır .Karasu, Yaşgöz (Arykandos)ve Alakır(Limyros) adlı üç akarsuya ve zengin ormanlara sahip Doğu Lykia'nın önemli kentlerindendir. Antik çağda "Zemuri" olarak tanınmaktadır.

Limyra'nın ilk kültür katları, coğrafi çöküntü nedeniyle günümüzde su altındadır. Kentin batısındaki yüksek kesimde yapılmış saray sondajlarında ele geçen seramik buluntular en eski uygarlığın Arkaik döneme ait olduğunu göstermiştir. V. yüzyılda Zemuri Lykia'nın en büyük kentlerinden Ksanthos'taki Kuprilli Sülalesi'nin yönetimindeydi. Kesin kanıt olmamakla beraber bu sülalenin bir evlilik ya da bir istila sonucu gelmiş olabileceği düşünülmektedir. Bu döneme ait herhangi bir sikke bulunamamıştır. Tüm Anadolu'nun Pers istilasında olduğu yıllarda, M.Ö. 4.yüzyılda Zemuri,tüm Lykia'yı egemenliği altında birleştiren Kral Perikle'nin yönetim merkezi olmuştur.Limyra'nın nekrapolünde 3 No'lu kaya mezarda Perikle'nin adı geçmekte, sikkelerde de Perikle'nin portrelerine rastlanmaktadır.

Bir yönetim merkezi olarak Zemuri'nin nitelikleri hakkında fazla bilgi yoktur. Kuzeyde bir çok terastan oluşan "yamaç evler " bölümü bulunmaktadır. Büyük olasılıkla Hipodamos sisteminde bir plana oturan yerleşme birimlerinin her biri 400 metrekairelik alanlar kaplamakta ve her birimin belirgin bir kült mekanı bulunmaktadır.

Phoinikous ile birlikte köyleri mezraları ve garnizon tipi yerleşmeleri ile birlikte 140 kilometrekarelik bir alanı kaplamaktadır. Batıda en yüksek noktası 500m olan Beymelek Dağı kuzeydeyse Toçak Dağı ile tarıma elverişli yaklaşık 69 kilometrekarelik alan bulunmaktadır. Finike kıyılarında Alakır Çayı'na uzanan bereketli ova yaklaşık 34 kilometrekarelik bir alanı kapsamaktadır. Tüm yerleşim alanı 315m yükseklikteki bir kaleden yapılıyordu. Kalede iki sarnıcın yanında kayaya oyulmuş basamaklı sunaklar yer almaktadır. Güneye doğru, ortada tüm çevreye egemen bir konumda bulunan ve temenosu derince kayaya oyulmuş olan

anıtmezar Ksanthos'daki Nereidler Anıtı'nı ve Atina Akropolisi'ndeki Erechteion'un mimari özelliklerini tekrarlamaktadır.

Limyra'da J.Borchhardt başkanlığında sürdürülen araştırmalara göre beş nekropolis tespit edilmiştir. Arykandos Vadisi'nin doğu yakasında yer alan 1 nolu nekropolisteki kaya mezarlar ve kalker bloklardan inşa edilmiş mezar anıtı Lykia'nın görkemli anıtları arasındadır. Burada Lykia ovasına girişi denetleyen bir kule bulunmakta, güney yamaçtaki kalıntılarsa bir yerleşmeye işaret etmektedir. Kentin batısında kaya mezarlar ve lahitlerden oluşan II Nolu Nekropolis'te Sidarios mezarı bulunmaktadır. Burada Tebursseli'nin anıtı da ilginçtir. Mezar sahibi ile Kral Perikle'yi sırt sırta gösteren ve silah arkadaşları adına Lysandros'un yedi düşmana karşı savaşını betimleyen kabartmalar ustalıkla işlenmiştir.

Kentin doğusundaki giriş kapısı önünde akropolis eteğinde yayılan tek mezar anıtından oluşan III nolu Nekropolis'te önemli bir anıt olarak dikkate değer Xntabura Mezarı bulunmaktadır. Bu iki katlı yapı yazıtına göre Tebursseli'ye aittir.

Limyra'nın yaklaşık 1 km. doğusunda, Modern Zengerler yerleşmesinin ilkokulu arkasında yer alan IV Nolu Nekropolis, toplu kaya mezarlarından oluşmaktadır.

Antik Lymiros Çayı yakınında, ovanın güneyinde V nolu nekropolis bir köy yerleşmesine aittir.

Satrap isyanlarından sonra bazıları kaya mezarlardan, bazıları kabartmalı ve yazıtlı mezar anıtlarından oluşan geniş nekropolislerin bulunduğu Zemuri'nin zenginlik dönemi sona ermiştir. Lykialılar arasındaki isyancıların yardımı ile Perikle'nin egemenliğine son vermiş, Lykialılar Hekatomnoslar'a yenik düşmüştür. Ayrıca Kariyalı beylerin ,V No'lu Nekropolis'te ve Delice Dere mevkiinde bulunan tümölüs mezarları, bu beylerin Büyük İskender'in gelişine değin varlığını koruduklarını vurgulamaktadır.

Anadolu, MÖ.309'dan başlayarak Makedonyalı Kral I.Ptolemaios'un (MÖ. 323-285) yönetimindedir.

Bu dönemin sonlarında Lykia Birliği'ne katılan Limyra'da, MS.4 'te bu kentte ölen Gaius Caesar'ın hem manevi oğlu, hem de yerini almasını düşündüğü kişi

için Roma senatosu ile İmparator Augustus'un ve Limyra Senatosu'nun onayı ile görkemli bir anıt inşa edilmiştir.

Roma İmparatorluk Dönemi'nde zengin binalarla donanan Limyra nekrapollele onurlandırılmıştır. Yamaçta yer alan tiyatro gerek boyut gerekse biçim açısından Aspendos'tan esinlenmiştir. Yapının son evresi, mimari bezemelerine göre MS 2.yy.'ın sonlarına tarihlenmektedir. Kentin doğusunda henüz araştırılmamış olan kalıntılar bir hamam kompleksine aittir.

Limyra'da sürekli meydana gelen kıyı çöküntülerinin yanı sıra MS 7.yy.'dan başlayarak artan Arap ve Pers akınlarının başlattığı korku yüzünden yerleşme sınırları belirgin bir biçimde küçülmüştür. Bugün kentin doğusunu ve batısını çevreleyen kent suru MS 7.yy.'a tarihlenmektedir (Borchhardt, 1997).

1.2. Termolüminesans Teorisi

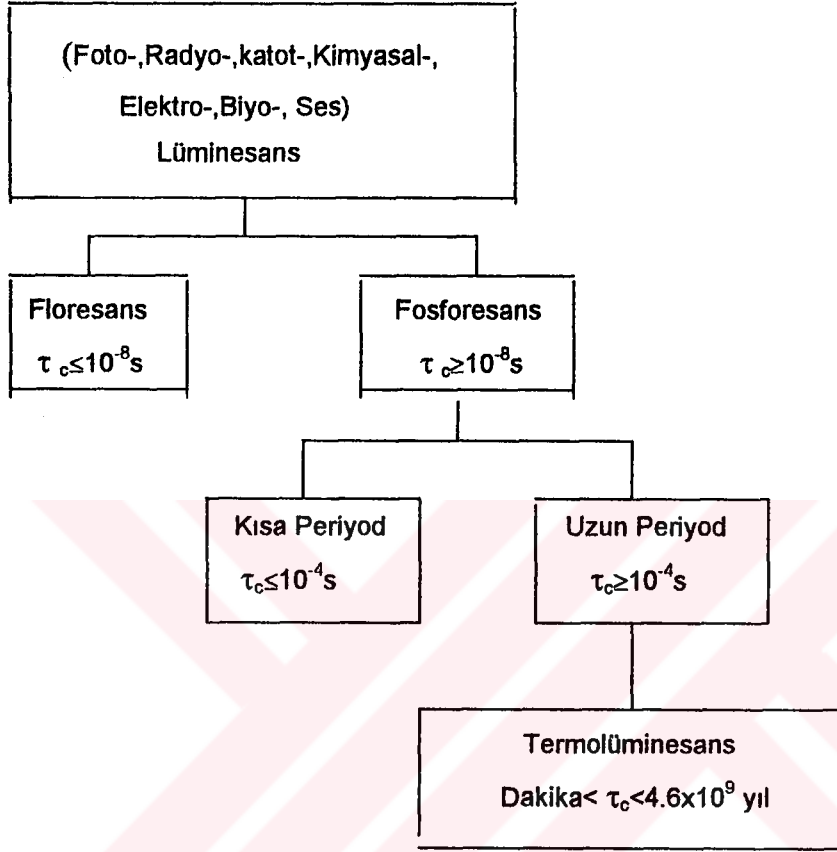
Termolüminesans olayının oluşumuna hükmeden ana prensipler, bütün ışıma olaylarına hükmeden temel olaylar ile aynıdır. Termolüminesans geniş ışıma olayı topluluğunun sadece bir tanesidir.

Bir materyal, radyasyona maruz kaldığı zaman enerjinin bir kısmı soğurulur ve daha uzun dalga boylu ışık olarak tekrar yayılır (Stoke's yasası). Bu bir ışıma olayıdır. Yayılan ışığın dalga boyu ışıma yapan maddenin karakteristiğidir, gelen radyasyonun karakteristiği değildir. Genellikle, ışıma olayları ile ilgili çoğu çalışma görünür bölgedeki ışık yayılımı ile ilgilidir. Fakat morötesi ve kızılötesi gibi diğer dalga boylarında da yayılım yapılabilir.

Değişik ışıma olaylarına , yayılımı başlatmak için, kullanılan radyasyonun tipini yansıtan isimler vardır: Fotolüminesans (optiksel veya ultraviyole ışıkla uyarılma), Radyolüminesans (nükleer radyasyon yani gama ışınları, beta parçacıkları, X ışınları vb.) ve Kathodolüminesans (elektron hüzmeleri) gibi. Radyasyonla uyarılmaya ilave olarak kimyasal enerji (chemilüminesans), mekanik enerji (elektrolüminesans), biyokimyasal enerji (biolüminesans) ve hatta ses dalgaları (sonolüminesans) ile de oluşturulabilir.

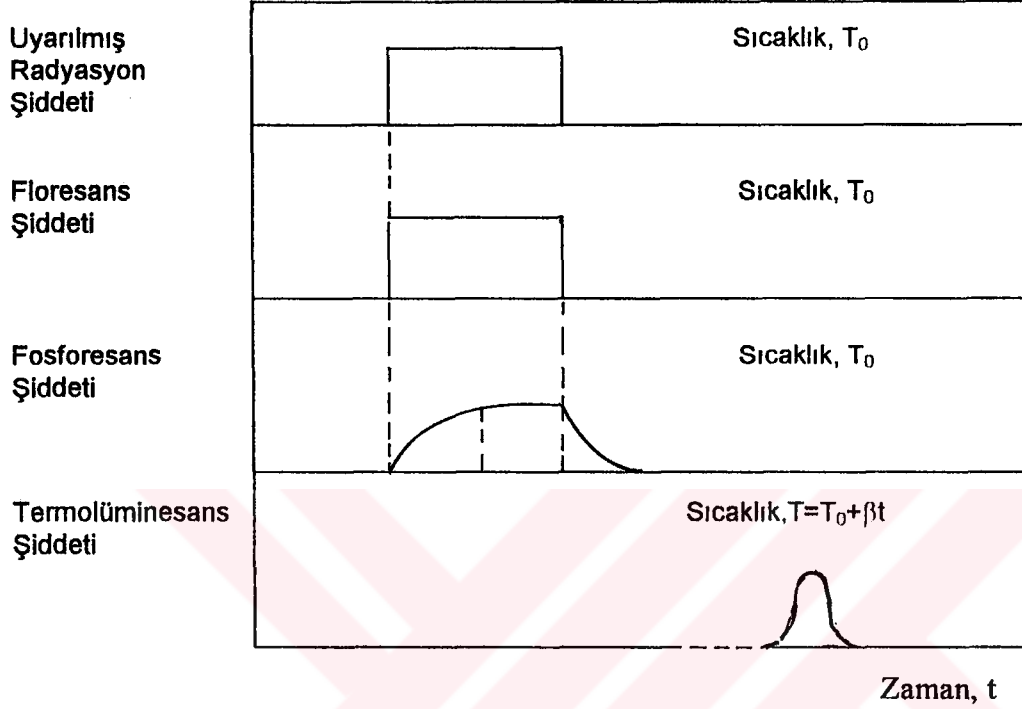
Işığın yayılımı radyasyonun soğurulmasından sonra Tc karakteristik zamanı kadar zaman alır. Bu zaman parametresi bize ışıma olayını sınıflamak için yardımcı

olur. Bunun sonucunda $\tau_c < 10^{-8}$ s olan floresans ile $\tau_c > 10^{-8}$ s olan fosforesans arasındaki farkı ayırt edebiliriz (Garlick, 1949; Curie, 1960) (Şekil-1).



Şekil-1. Lüminesansın Soyağacı (Mc.Keever, 1985).

$\tau_c < 10^{-8}$ s değeri kendiliğinden (spontaneous) floresans yayınımlı olayının tanımını sağlar. Böylece Şekil-2' de görüldüğü gibi floresans yayınımlı radyasyon soğurulması ile aynı anda oluşmakta ve radyasyon durduğunda aniden durmaktadır. Diğer taraftan fosforesans, soğurulan radyasyon ile maksimum yoğunluğa ulaşılan T_{max} zamanı arasındaki bir gecikme ile karakterize edilir, ayrıca fosforesansın uyarılma durdurulduktan sonra da bir süre devam ettiği görülmektedir. Açıkta ki, eğer gecikme zamanı τ_c 1s mertebesinde ise fosforesansın yayınımlı sınıflamak kolaydır. Buna rağmen çok daha küçük gecikme zamanları için floresans ile fosforesansı birbirinden ayırt etmek çok daha zordur. Fosforesansın kendisi iki ana tipe bölünebilir. Başlıca kısa periyot ($\tau_c < 10^{-4}$ s fosforesans) ve uzun periyot ($\tau_c > 10^{-4}$ s fosforesans) tır.

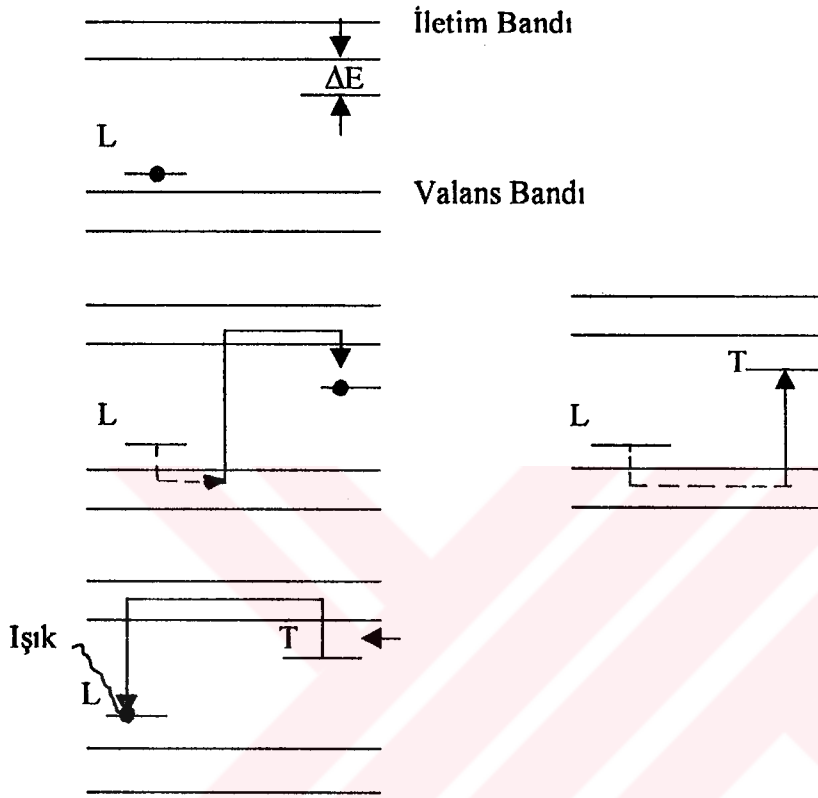


Şekil-2. Radyasyon soğurumu ve floresans, fosforesans, termolüminesans yayınımları arasındaki ilişki (Mc. Keever, 1985).

Termolüminesans; bir yalıtkan veya yarı iletken ısıtıldığında meydana çıkan ışığın yayılma olayıdır. Bu olay, akkor haline gelene kadar ısıtılan bir maddeden yayılan ışık ile karıştırılmamalıdır. Daha önce, radyasyon sonucunda soğurulmuş olan enerjiyi takiben, ısısal olarak uyarılmış ışık yayınıdır. Bu tanımlardan sonra termolüminesansın teorisini açıklamak için bant teorisinden söz etmek gerekir:

Şekil-3’de görüldüğü gibi, yarı iletkenler veya yalıtkanlar bant modelinde gösterilen şartlar altında termolüminesans açığa çıkarılır. Bu etkiye ortaya çıkarabilmek için bütünüyle dolu bir bant (valans bandı), ona bitişik, yukarıda olan ve bütünüyle boş olan bir bant (iletim bandı) ile bu iki bant arasında yer alan iki tip kusur düzeyi gerekmektedir. Bu kusur düzeylerinden valans banda yakın olana “ışınma merkezi” denir (Şekilde L harfiyle gösterilmektedir); bir elektron ile dolu olmak zorundadır. İkinci kusur bölgesi iletim bandına yakındır (Şekilde T harfiyle

gösterilmektedir); bunlara “tuzak” denir ve boş olmak zorundadır. İkinci tip kusur bölgesi ile üzerindeki bant arasındaki enerji farkı ΔE 'dir. Çeşitli mineraller bu



Şekil-3. Termolüminans'ın açıklaması ve bant modeli (Leute, 1987).

koşulları sağlarlar; bunların arasında elmas, flourspar (CaF_2) ve keramik, çanak-çömlek, tuğla içerisindeki minerallerin çoğu sayılabilir.

Orijinal durum, iyonlaşma radyasyonu tarafından değiştirilmektedir. İyonlaşma radyasyonu, bir elektronun bantlar arasındaki yasak bölgeyi geçmesi için gerekli enerjiyi sağlar. Şimdi iletim bandında bir elektronumuz ve valans bandında terkedilmiş bir deşğimiz olsun. Doğadaki her şey minimum enerjiye ulaşmak isteyeceğinden ısıma merkezi, deşği doldurmak için ve aşağıdaki bandı tekrar tamamlamak için elektronunu serbest bırakır. Bu nedenle, radyasyon tarafından yukarıdaki banda yükseltilmiş olan birinci elektronun, aşağıdaki, tamamen dolu banda tekrar düşmesi engellenir. Sonunda, iletim bandındaki bazı difüzyondan sonra, içine düşeceği tuzak ile karşılaşacaktır. Tuzağın çok sığ

olmaması koşulu ile ΔE , orta sıcaklıklarda, yukarı banda kaçıışı engelleyecek kadar büyüktür (ısısal hareket, sıcaklıkla orantılı olan kinetik enerji kazancına neden olur); elektron sürekli tuzaklanmış olarak kalır. Örnek olarak, kuartzda, 1,66 eV derinliğindeki dolu bir tuzakın 20°C' deki kararlılığı 40 milyon yıl sürer. Buna alternatif olarak tuzaklar doğrudan valans banttan gelen, iletim bandından geçmeyen bir elektronla da doldurulurlar.

Tuzaktan serbest bırakılmak, ΔE 'yi geçecek bir enerji kaynağı gerektirir. Tuzaklanmış elektron tekrar iletim bandına yükselir, boş ışıma merkezini bulur ve aşağı düşer. Bu kusur düzeyi ile üstteki bant arasındaki enerji farkı görünür ışık olarak yayılır. Buradaki enerjinin kaynağı ısısal olduğu için bu olaya termolüminesans (TL) denir. Bu ışıma, bütün sıcak cisimlerin verdiği ısısal radyasyonla karıştırılmamalıdır.

Termolüminesans olayında:

- 1- Materyal, yalıtkan veya yarı iletken olmak zorundadır.
- 2- Materyal, radyasyona maruz kaldığı zaman içerisinde, bir süre enerji soğurmuş olmak zorundadır.
- 3- Işıma yayılımı, ısıtılan materyal tarafından tetiklenir. Bu termolüminesansın özel bir karakteristiğidir. Materyal, termolüminesans özelliği vermek üzere bir kez ısıtıldıktan sonra soğutulup, tekrar ısıtıldığında termolüminesans yaymaz. Isımanın tekrar yaratılması için materyal, tekrar radyasyona maruz kalmalıdır. Bu durumda sıcaklığın artırılması tekrar ışık yayılımını sağlayacaktır.

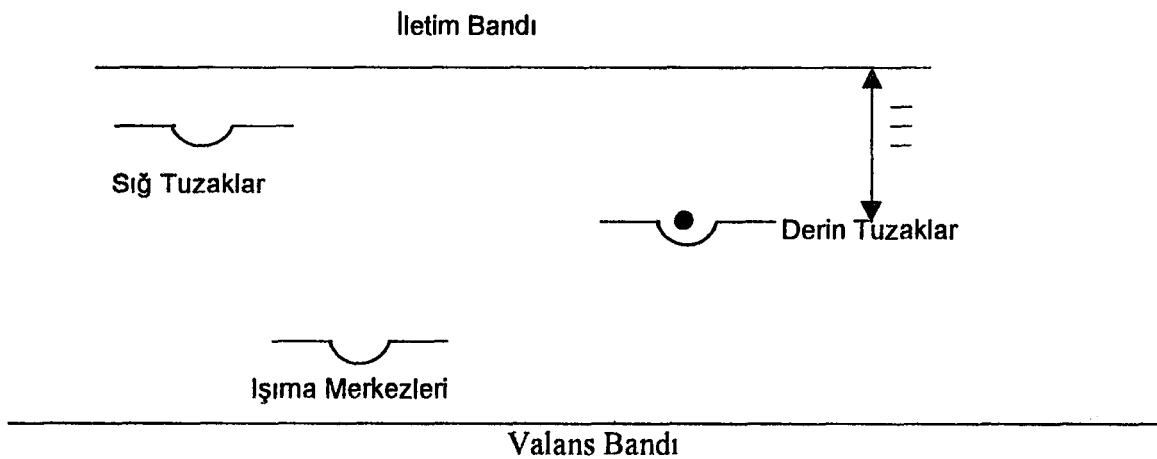
1.3. Termolüminesans İle Tarihlendirme Yöntemi.

Termolüminesans tarihlendirmesi çok sayıda örnek tipine uygulanabilir: Çanak çömlek , tuğla, yanmış taş ve sarkıt-dikit bunlardan bazılarıdır. Rüzgar tarafından ve bazı şartlarda su tarafından biriktirilen yanmamış sedimanlar (örneğin verimli ince topraklar, kum yığınları) da tarihlendirilebilir. Termolüminesans tarihlendirmesi, 1960'ların sonlarından itibaren ilk önce çanak çömlek ve fırınlanmış kilin diğer şekillerine uygulanmıştır. TL sinyali kuartz, feldspat, zirkon ve diğer birkaç mineralden gelmektedir. Bunların hepsi kilin kendi içerisinde bulunan ince

taneciklerdir veya daha büyük tanecikler çanak çömleğin yansıma özelliklerini arttırmak için ilave edilmiştir. İlk uygulamalar sanat seramiklerinedir. Bu müzelerde geniş yankı uyandırmıştır. Bu yankı bugün hala TL test raporları şeklinde devam etmektedir. 1970'lerde arkeolojik çanak çömleğe uygulama geliştirilmiştir. Böylece teknik problemler de daha çözülebilir bir hale gelmiştir. Bu on yılın sonuna doğru yanmamış sarkıt ve dikitlere ve yanmış çakmak taşlarına uygulama, TL tekniğini, radyo karbon limitinin (50.000 yıl) üzerine çıkartmıştır.

Lüminesans tarihlendirmesi her ne kadar son yıllarda gelişme sağladıysa da lüminesans çalışmaları 300 yıldan beri yapılmaktaydı. İlk gözlemler 1964'de R. Boyle tarafından yapılmıştır. Mineralin ayırt edilmesinde (tanınmasında) 19.yy ve sonraları kullanılmıştır. Bu arada TL tarihlendirmesi çalışmaları da bunu paralel olarak sürdürmüştür. Bu arada termolüminesans dozimetresinin (TLD) çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Bu iş için çok hassas doğal ve yapay mineraller kullanılarak nükleer radyasyona maruz kalma miktarı belirlenmiştir. Bu yöntem film dozimetrelerine bir alternatif oluşturmaktadır.

Şekil-4'de TL olayının basit bir modeli görülmektedir. Elektron tuzakları ve lüminesans merkezleri ilgilenilen minerallerin kristal örgülerindeki bozukluklardan oluşmaktadır. Bu bozukluklara örnek olarak yerinde olmayan bir atomu veya konumunda olmayan bir atomu gösterebiliriz. Başlangıçtaki TL' in nasıl oluştuğu



Şekil-4. Temel tuzak ve merkez model (Aitken, 1985).

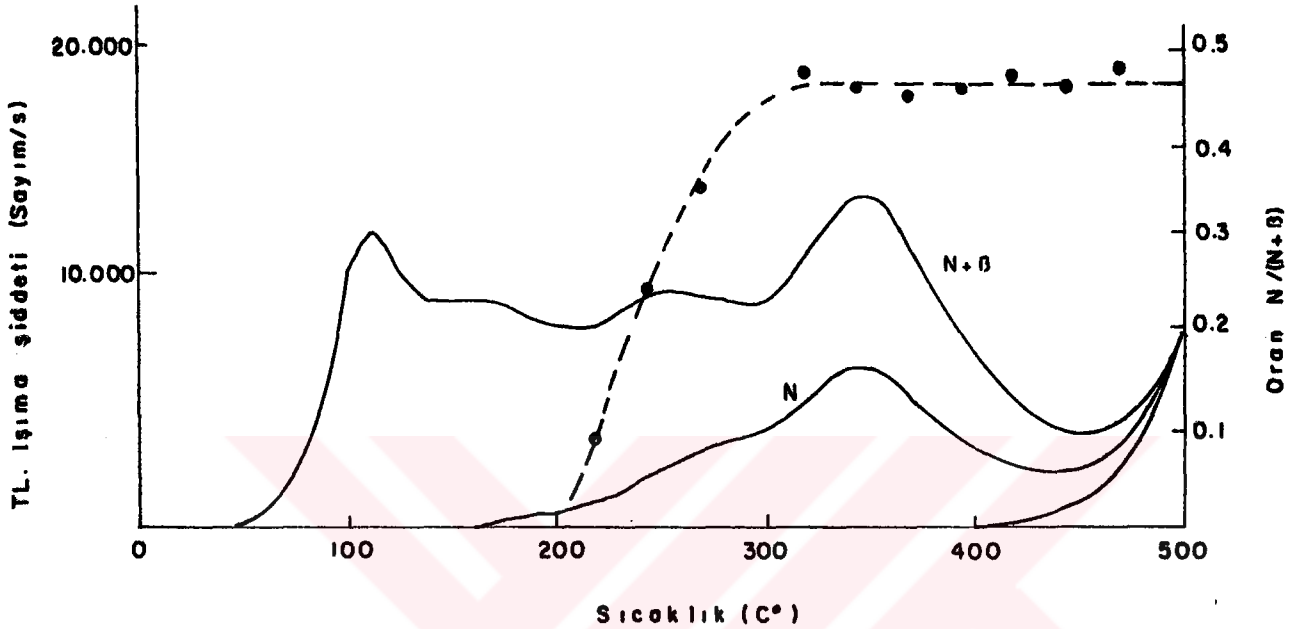
düşünüldüğünde bu bozukluklar kristal için önem taşımaktadır ve tarihlendirmenin temelini de bunların arasındaki elektronların hareketleri oluşturur. Eski insanlar tarafından ısıtma jeolojik zamanlar boyunca birikmiş olan elektron tuzaklarını boşaltır. Bu boşalma artan sıcaklıkta kristal örgünün ısısal titreşiminin gittikçe artmasından olmaktadır. Bunu takiben tuzaklar bir kez daha nükleer radyasyonun etkisi nedeni ile elektronlarla dolmaya başlar. Isıtıldıktan sonra yerleştikleri merkezlerden ve diğer kararlı konumlardan ayrılırlar ve bir süre için kristal içinde dağılırlar. Bu dağılım sırasında bazıları tuzaklara yakalanırlar, kalanlar da kararlı konumlarına dönerler. Nükleer radyasyona maruz kalma süresi arttıkça tuzaklanan elektron sayısı da artar.

Ölçüm için örnek ısıtılır. Bu yolla tuzaklar boşaltılır ve bazı serbest elektronların luminesans merkezlerine gelmeleri ile ışık yayınımlı olur. Bu yayınımlı yeterli ölçüde hassas bir fotokatlandırıcı tüp ile ölçülür. TL, tuzaklanan elektron sayısı ile orantılı olan yoğunluğa sahiptir. Bu nedenle ısıtılmadan bu yana kadar geçen yıllar yaş eşitliği ile belirlenir.

Bundan önceki söylediklerimizden elektronların yakalandıkları tuzaklarda belirsiz bir süre kaldıkları anlaşılmaktadır. Gerçekte, bir tuzak içerisindeki elektronun ömrü sonsuz değildir ve tuzakın tipine bağlı olan bir değere sahiptir. Bir başka karakteristik de sıcaklıktır. Bu sıcaklıkta ölçüm için ısıtılma sırasında TL yayılmaktadır. Sığ tuzakların ömürleri çok kısadır, daha erken boşalırlar. Bu arada (derin tuzaklar) kristal titreşimlerine dayanıklılık gösterirler. Bu yüksek bir sıcaklığa ulaşılan kadar devam eder. Kuartzlarda, 100°C civarında elde edilen tepe, oda sıcaklığında, ömrü birkaç saat olan tuzakların boşalması ile oluşmaktadır. Bu arada, 350°C civarındaki sıcaklıklardan sorumlu olan tuzaklar bir milyon yıl civarında ömre sahiptirler. Şekil-5’de TL ısıma eğrisi görülmektedir.

Doğal ısıma eğrisinde 200°C kadar TL ısıması gözlenmemektedir. Çünkü düşük sıcaklıklara karşılık gelen sığ tuzaklarda elektronun ömrü herhangi önemli bir elektron birikimine izin vermeyecek kadar kısadır. Doğal TL’ in bir radyoizotop kaynaktan nükleer radyasyona tutulmuş diğer bir örnek parçasından gelen TL’e oranı 200°C civarında 0’dan itibaren gittikçe artmaktadır. 300°C’den sonra düzenli bir plato seviyesine ulaşmaktadır. Bu plato, bu sıcaklık aralığında TL’ i oluşturan

tuzakların yarı ömürlerinin doğal TL' in birikimini sağlayan tuzakların yarı ömürlerinden çok daha fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil-5. TL ışıma eğrisi (Aitken,1985).

Yani burada göz önüne alınan tuzaklardan ihmal edilebilir kaçaklar olmaktadır.

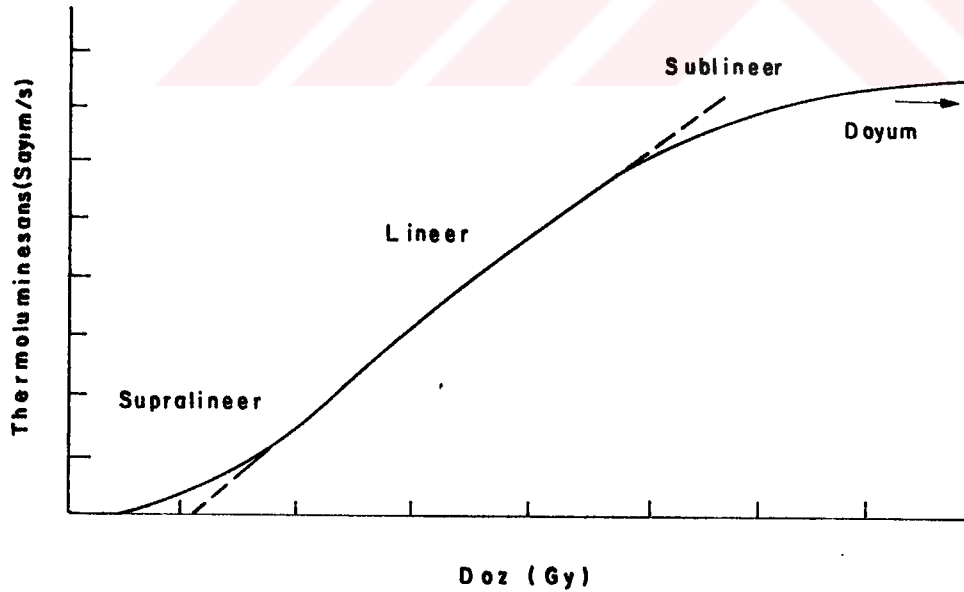
Bir plato düzeyi daha başka özelliklere de sahiptir. Bunlardan biri, seramiğin antik dönemde ısıtılması ile tüm tuzakların yeterince boşalıp boşalmadığını göstermesidir. TL gözlemlerinin bir başka özelliği ise, pürüzlü yüzey etkilenmelerinden kaynaklanan sahte TL' den başka gerçek radyasyonun oluşturduğu TL' i ortaya koymasındır. Bugüne kadar bu konular çok iyi anlaşılmamıştır.

Yaş hesaplamasındaki gerekli işlem, örneğin hassasiyetinin ölçülmesidir. Görülmeyen ışıma, nükleer radyasyonun verilen dozundan elde edilir. Bu ölçümün ilk adımı kalibre edilmiş radyoizotop kaynağının (beta kullanımı için Stronsiyum-90/Lityum-90, gamma için Kobalt-60 veya Sezyum-137) örneğin bir kısmını ışınlamasıdır. Görülmeyen ışımanın elde edilmesi ise ancak bundan sonra ölçülebilmektedir.

Beta radyasyonunun gray başına elde edilen lüminesansı, gamma radyasyonunun gray başına elde edileni ile aynıdır. Bununla beraber, doğal olarak U, Th, K radyoizotopları tarafından yayınlanan nükleer radyasyon alfa parçacığı içerir. Radyasyonun bu tipi için gray başına lüminesans diğer iki tipten daha az olup, ilgili minerale bağlıdır. Bunun için tekrar kalibre edilmiş radyoizotop kaynağı (genellikle Amerisiyum-241 veya Curium-244) kullanılır. Alfa parçacığının etkisi beta veya gamma radyasyonu ile ilgili olarak a, b veya k değeri gibi ifade edilir.

Doz oranı duyarlılık ölçümünde, örnekten çok daha fazla gerekli olan, doğal olarak onun maruz kaldığı ışımanın derecesidir. Bununla birlikte özel tuzaklar için birkaç doz oranı bağımlılığı açıklanmış olmasına karşın, burada diğer yöntemlerle ışıma yaşının uyumu tarafından da kanıtlandığı gibi, genelde herhangi bir önemli bağımlılık görülmemektedir (Şekil-6).

Genellikle hassasiyet, doz oranına bağlı olmamasına rağmen, Şekil-6'da gösterildiği gibi toplam doza bir miktar bağımlılığı vardır.



Şekil-6. Supralineer, lineer ve sublineer bölgelerinin gösterildiği termolüminesans eğrisi (Aitken, 1985).

Şekilde farklı doz seviyelerinin ölçüm serilerinin gerekliliği açıkça görülmektedir. Eski örnek doyuma yaklaştığında exponansiyel eğriye odaklanmasına karşın, genç örnek için supralineer tür bir dağılıma görülmektedir. Katkı tanecikleri tekniğinde doğal olarak alınmış örneklerin bir kısmı farklı şekilde laboratuvar dozuna maruz bırakılarak ısıtma işlemi uygulanır. Bu işlemin sonucunda ısıtma eğrileri elde edilir. Buradan eşdeğer doz (ED) için gerekli hesaplamalar yapılarak örneğin yaşı, eşdeğer dozun yıllık doza bölünmesi ile bulunur.

$$YAŞ = \text{Eşdeğer Doz} / \text{Yıllık Doz} \quad (1)$$

Bazı yazarlar bu değer için ED lineerliğinin kabulünü temel alırlar. Eğer doğrulamayı doğrusallıktan sapma kabul edilirse paleodoz için (P) terimi kullanılır. Diğer terminolojiler paleodozu, “accured dose”, “accumulated dose”, “archae dose” ve “total dose” olarak da tanımlarlar.

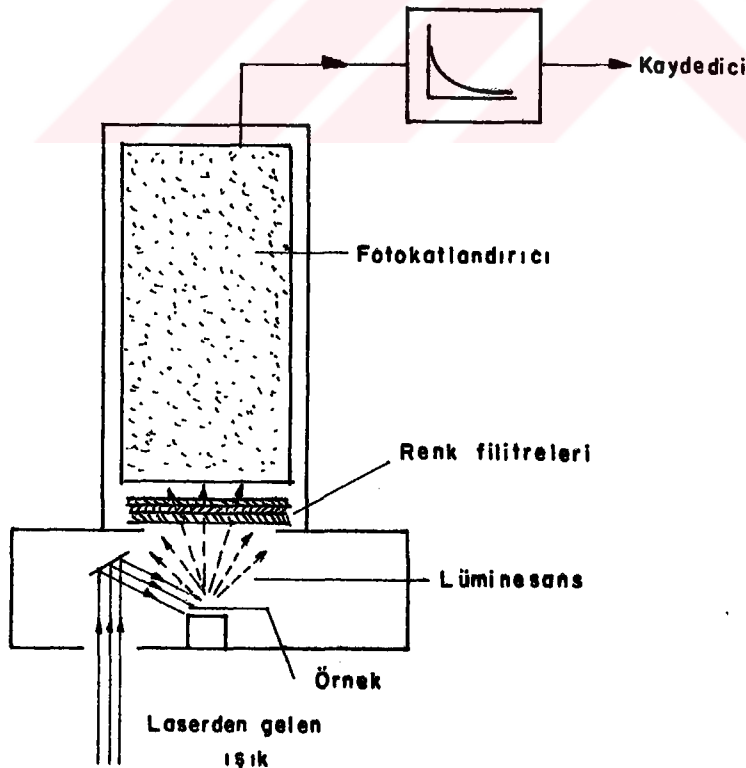
Kil, taş ve kayalarda doğal olarak baş gösteren radyoaktif safsızlıklar, genellikle uranyum, toryum ve potasyum-40’dan gelmektedir. Bu maddeler yaklaşık olarak yıllık doza eşit oranda katkıda bulunurlar. Buna ek olarak Rubidyum-87 ve kozmik ışınların da yıllık doza küçük katkıları vardır. Radyoaktif safsızlıklar tarafından yayılan ışımlar alfa parçacığı, beta parçacığı ve gamma ışıması içerir. Bu parçacıklar sırasıyla 0.02 mm, 2 mm ve 20 cm düzeyinde menzil uzaklıklarına sahiptirler. Bu yüzden yaklaşık 10 mm’den daha kalın bir örnek için yıllık doz alfa ve beta parçacıklarının hakim olduğu bir iç bileşeni içerir. Aynı zamanda bir dış bileşen olan gama ışınları ve kozmik ışınla gömülü toprak yada kayanın 20-30 cm etrafında çevrelenirler. Dış bileşenin ilgili boyutu ve buradan onu doğru değerlendirmenin bir önemi de koşullara bağlıdır. Örneğin, seramikler için bu değer %20 kadar küçük olabilir, fakat radyoaktivite düzeyi düşük olan değişik yanmış çakmak taşlarında ise bu değer %80 kadar büyük olabilir.

Yıllık doz miktarını bulmak için, örneğin bulunduğu toprağın içeriği, Uranyum, Toryum, Potasyum değerlerinin belirlenmesi gereklidir. Yıllık dozun bulunmasında Flemen fotometresi, alfa sayıcısı, beta sayıcısı ve gama

spektrometresinden yararlanılır. Ayrıca nükleer zararları da birlikte ölçebilen fosforlu lüminesans dozimetreleri de geliştirilmiştir. Uygun dozimetreler kazı alanları içerisinde yaklaşık bir yıl süre kadar toprak içerisine gömülü bırakılırlar. Yıllık doz ölçümüne ilişkin çevre şartları da hesaplamalarda göz önünde bulundurulmalıdır. Bünyesindeki su miktarı uzaklaştırılarak kurutulmuş bir topraktan hesaplanan yıllık doz ölçüm değerleri, bünyesinde su içeren toprak ölçülmüş olan değerden daha küçüktür. Su içeriğinin yanında diğer etkenler ise bu ölçümleri etkileyen iklim değişiklikleri ve insan etkileridir. Bu etkenlerin yıllık doz ölçümlerini %10-20 kadar azalttığı kabul edilmektedir.

1.4 Optiksel Uyarılmayla Lüminesans (OSL) Tarihlendirme Yöntemi

Bir ışık kaynağının yardımıyla uyarılarak tuzaktan koparılan bir elektronun ışıma yapması sonucunda açığa çıkardığı enerjiye optiksel uyarılmayla lüminesans (OSL) denir. Aynı zamanda bu olaya foto uyarımlı lüminesans (PSL) de denilmektedir. Şekil-7’de OSL deney düzeneği görülmektedir (Huntley ve ark.,1985).



Şekil-7. Optiksel tarihlendirme için OSL ölçüm seti (Aitken, 1985)

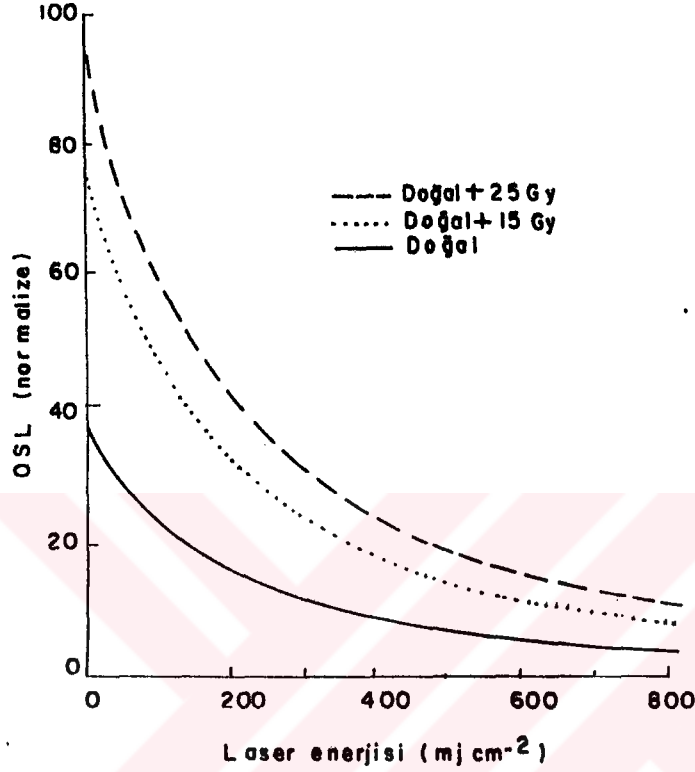
Bu yöntemin en önemli özelliği fotokatlandırıcı önüne yerleştirilen renkli filitrelerdir. Bu ölçüm sistemiyle kuartz, feldspat, zirkon,... vb gibi minerallerin tarihlendirmesi yapılabilir.

Optiksel tarihlendirme, termolüninesans tarihlendirmesiyle (TL) yakından ilgilidir ve TL’de olduğu gibi sedimentten ayrılan mineral taneciklerinin son kez ışığa maruz kaldığı andan itibaren geçen zamanı belirlemek için kullanılabilir.

Yöntem ilk kez Huntley ve ark. (1985) tarafından bir argon iyon lazerinden yayılan parlak yeşil ışığa (514.5 nm) maruz bırakılan kuartz taneciklerinden yayılan mavi/mor ışımaya sinyalinin ölçümü ile gösterilmiştir. Işıma, kristal örgü içerisindeki yarı-kararlı bölgelere gelen yükün tekrar birleşmesinden oluşmaktadır ve mineral taneciklerinin aldığı radyasyon dozu ile orantılıdır. Bu ışımaya yayılımı (optiksel uyarılma ile ışımaya (OSL) diye adlandırılır) lazere maruz kalındığı süre içerisinde düşük bir seviyeye kadar aşağı doğru azalmaktadır (Şekil-8). Aynı “sönüm” güneş ışığına maruz kalma sırasında da oluşur, bu nedenle taşınma sırasında, tanecik içerisindeki OSL sinyali hızlıca sıfıra gider. Tanecikler bir kez onu takip eden sedimentasyon ile örtülürse, önceki OSL sinyali büyür, büyüme oranı çevrenin doğal radyoaktivitesine ve mineralin radyasyona tepkisine bağlıdır. Doğal OSL’ in (bulunduğu gibi) ölçümü ve ilave radyasyon dozuna tepki örneğin, OSL son olarak sıfırlandığı andan itibaren, aldığı toplam radyasyonun hesabını mümkün kılar; buna eşdeğer doz denir (ED). Eşdeğer dozun, yıllık radyasyon dozuna bölünmesi, sedimentin son olarak ışığa maruz kaldığı andan itibaren geçen zamanı verir (Aitken, 1989).

Optiksel tarihlendirmenin temeli, TL tarihlendirilmesinin temeli ile aynıdır ve herbirinde kullanılan ışımaya sinyalleri birbirleriyle yakından ilgilidir. Bir kuartz örneği ışığa maruz kaldığı zaman, TL bir düşük “artık” değere kadar iner, bu değer in düzeyi şartlara ve ışığa maruz kalma süresine bağlıdır. Antik devirlerdeki örneklerin sönüme uğradığı “artık” düzeyin belirlenmesi, doğru TL tarihlendirmesi için gereklidir ve bunu belirlerken karşılaşılan güçlükler, küçük yaşlar için büyük belirsizliklere yol açabilmektedir. Optiksel tarihlendirmenin büyük avantajı OSL sinyalinin son derece sönümlü olması ve güneş ışığına maruz kaldıktan birkaç dakika sonra neredeyse sıfırlanmasıdır. OSL sinyali, bu özelliği ile, TL, sinyali ile arasında

bir bağıntı taşımaktadır. Kuartz için OSL sinyali, 325°C'deki TL peak'i ile ilgilidir (Smith ve ark.,1986).



Şekil-8.Doğal optik uyarımlı lüminesans yayılımı (OSL) (Smith ve ark,1990).

OSL, uyarmak amacı için kullanılan değişik ışık kaynakları ile ölçülebilir. Burada ana gereksinim, ölçülen OSL yayılım dalga boyunun, uyarılma amacıyla kullanılan küçük olmasıdır. Oxford' da kullanılan en önemli ışık kaynağı 2W argon iyon lazerinden (Caherent Innova 70/2) elde edilen 514.5 nm' lik ışık hüzmesidir. Bu ışık, bir disk üzerine depolanmış, bir tek örnek tabakası üzerine gönderilir. Ölçüm boyunca, örnek üzerine gönderilen ışık hüzmesinin gücü sabit tutulur ($\pm 1/2\%$) ve genellikle $5-10 \text{ mW.cm}^{-2}$ aralığında uzanmaktadır. Alternatif bir ışık kaynağı 1 kW'lık Xenon Arc lambasıdır (Oriel 66021); bu lamba ultraviyoleyle kızılötesine yakın aralıkta dalga boyuna sahip uyarılma ışınları yayılmaktadır (Spooner ve Questiaux, 1989). Son zamanlarda, dışarıdan kontrollü LED dizilerinden oluşan kızılötesi ışık yayan diyodlar (LED) geliştirilmiştir. Bunlar örnek üzerinde

parlamaktadır ve kızılötesi uyarılda kuvvetli bir ışıma yayılımı gösteren feldspatik mineralleri ölçmek için kullanışlıdır (Hütt ve ark., 1988).

Bunun tersi olarak, kuartz, kızılötesi (>850 nm) ile uyarıldığı zaman OSL yayılımı göstermez, herhangi bir yayılımın olmaması saf kuartz taneciklerinin kontrolü için son derece yararlı bir yöntemdir.

OSL yayılımı, bir fotokatlandırıcı tüp (EMI 9635Q) kullanılarak ölçülür; bu tüp uyarılmış dalgaları atmak için kuvvetlice filtre edilmektedir. Kuartz için ölçülen yayılım 380 nm civarındadır ($FWHM \approx 60$ nm). Fotokatlandırıcıdan gelen pulsar bir çok-kanallı ölçüm sistemini besler. Son zamanlarda direk olarak analiz için pulsar bir bilgisayara gönderilmektedir.

Minerallerdeki bazı tuzaklanmış yükler ısıya duyarlı iken, bazıları da ışığa oldukça duyarlıdır. Radyasyona maruz kalan kuartz veya feldspat kristalleri görünür bölgede ve infrared fotonlarıyla ışımlandığında, elektronlar bu fotonlar tarafından tuzaklardan çıkartılırlar. Tuzakdan çıkan bu elektronlar görünür bölgede foton yayınlırlar. Örnek tarafından yayınlanan fotonların filtre edilmesiyle birleştirilen bu yayılan ışığın dalga boyu, birleşme lüminesansının bulunmasına olanak sağlar. Yayınlanan ışığın miktarı mineral saflığının radyasyona duyarlılığı ve soğurulan radyasyon enerjisinin toplam miktarı ile orantılıdır.

Karşılaştırma, doğal bir örnek tarafından yayınlanan ışığın oluşturulması ve radyasyon dozuna bilinen dozların ilavesiyle mümkün olur.

Optiksel tarihlendirmede sıfırlama zamanı, tortu işlemi ve taşınım sürecinde çökelmiş parçaların güneş ışığına maruz kalmasıyla ilgilidir. Optiksel tarihlendirme son 500.000 yıla uzanan örneklerin tarihlendirmeleri için uygundur.

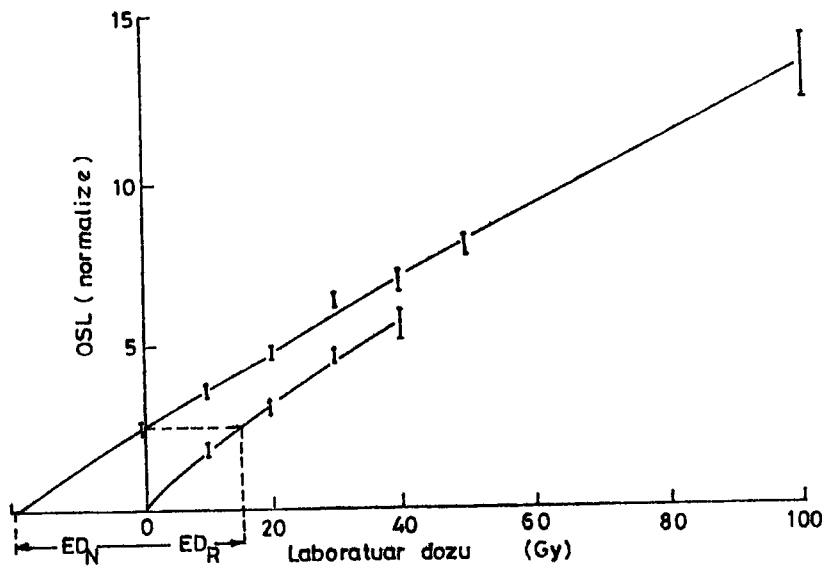
Örneklerin hepsi güneş ışığı almayacak şekilde dikkatlice toplanmalıdır. Bunun için sediment içerisine bir metal veya plastik silindirik boru yardımıyla girilir. Sediment örneği, kontrol edilen ışık şartlarında laboratuarda işlem görür (Smith, 1988). Bu ışık şartlarının ışıma üzerine çok az etkisinin olduğu belirlenmiştir. Örnekler, TL' de değişik mineral bileşenlerini seçmek için uygulanan standart yöntemler kullanılarak hazırlanır (Aitken, 1985). Kuartz için (90–125 μ m veya 125–180 μ m) aralığı elenerek ayrılır; HC ve HF ile muamele edilir, eleme tekrarlanır ve Sodyum polytungsten solüsyonu kullanılarak kristallerin 2.7 g.cm^{-3} 'lik yoğunluktan

az olan kısmı ayrılır. Kuartz kristallerinin saflığı, yukardan aydınlatmalı bir mikroskop yardımıyla, TL ölçümüyle ve 880 nm' lik uyarımda herhangi bir OSL sinyali gözlenmemesiyle test edilebilir.

Tarhlendirilecek her seramik için 25 ile 52 adet arasında değişen örnek seti hazırlanır. Genellikle, her disk, uyarıcı ışık kaynağına kısa bir süre maruz kalır, bu normalizasyon faktörünü hesaplamak için yeterli miktarda OSL sayımını sağlar; bu örneğin bir diskten diğer diske değişen parlaklıklarının olabileceğinin düşünülmesi için gereklidir. Buradaki ışığa maruz kalma, OSL sinyalinde önemli ölçüde azalmaya neden olmayacak kadar küçüktür ($< \%1$). Çok genç örneklerin böyle kısa süreli bir ışığa maruz kalma sonucunda sıklıkla, yeteri kadar sayım elde edilemez. Böylece diskler onun yerine standart bir dozun uygulanmasıyla ve onu takip eden OSL ölçümleriyle normalize edilirler.

TL' de olduğu gibi, disklerin bazılarında, örneğin radyasyona tepkisini ölçmek için, belli bir aralıkta laboratuvar radyasyonu verilir. Radyasyondan sonra, artık doğal sinyalde gözlenmeyen, OSL sinyalinin kararsız bileşenlerini silmek gerekir. Bunun için, daha önce açıklanan, önceden ısıtma işlemleri yapılır. Karşılaştırma için, bütün diskleri ısıtmak gerekmektedir, buna laboratuvar radyasyonu almayanlar da dahildir.

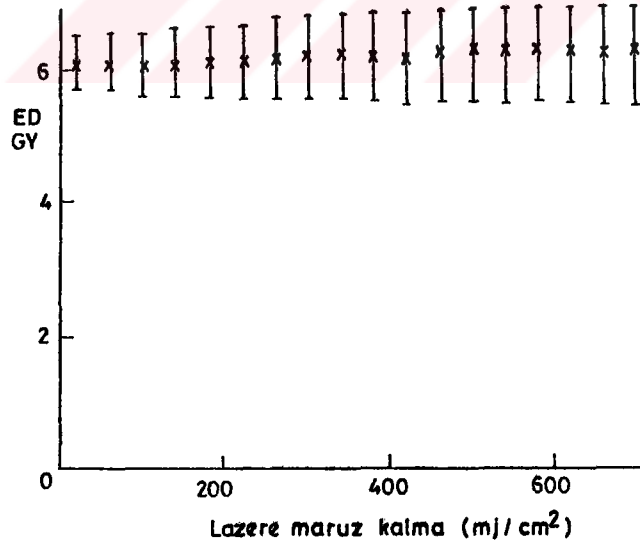
Kuartz mineralinde OSL sinyalinin doz ile büyümesi Şekil-9'da verilmektedir.



Şekil-9. Kuartzın OSL sinyali (Smith ve ark., 1990).

Eşdeğer dozun hesaplanabildiği iki yol vardır. Doğal örneklerle laboratuvar radyasyonları uygulandığı zaman, sonuçtaki büyüme eğrisi, sıfırdan OSL eksenine doğru uzatılır ve (doğal + beta) yöntemiyle ED elde edilir. Ya da, bir grup doğal örnek, güneş ışığı veya bir güneş simulatörü yardımıyla sıfırlanarak ve sıfırdan itibaren artan bir büyüme eğrisi vermesi için radyasyona tutulur. Sonuçta Şekil-9'da görüldüğü gibi “yeniden yaratılma” yöntemiyle ED hesaplanmış olur.

Tarihlendirme amacıyla $ED \geq 500 \text{ mJ.cm}^{-2}$ 'lik bir ışığa maruz kalma sonucunda görülen toplam OSL yayılımından hesaplanır. Işığa maruz kalma süresini arttırmak, 500 mJ.cm^{-2} ile OSL düşük bir seviyeye indiğinden ve temel düzeltmeler büyük hatalara neden olacağından, genellikle bir avantaj sağlamaz. Eşdeğer doz (ED), ışığa maruz kalma sürelerinin her bir parçasından hesaplanabilir. Şekil-10' da görüldüğü gibi, ED' yi lazere maruz kalmanın bir fonksiyonu olarak verir.



Şekil-10. Kuartz için lazere maruz kalmanın fonksiyonu olarak eşdeğer doz miktarı (Smith ve ark., 1990).

Artan ışığa maruz kalma süresi ile eğride hafif bir artış beklenirse de şeklindeki eğri hemen hemen düzdür (Huntley ve ark., 1985; Rhodes, 1988).

Bunun olmaması, antik devirlerde, örneğin saatinin tamamıyla sıfırlanmadığını göstermektedir. Buradan çıkarılan bilgi şöyledir: ED' in artan ışığa maruz kalma süresi ile sabit kalması, bir tarihin anlamlı olabilmesi için gereklidir, fakat bu bulunan tarihin geçerliliğinin ispatı değildir.

Bir kez ED hesaplandıktan sonra, TL tarihlendirmesinde olduğu gibi (Aitken, 1985) yaş, dozimetre ölçümleri yapılarak da hesaplanır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Termolüminesans olayı ilk olarak Boyle (1663) tarafından elmas kristalinde fark edilmiştir. Boyle karanlık bir odada elinde tutarak ısıttığı elmasın verdiği parıltıdan görünür ışık yaydığını gözlemlemiştir.

İlk radyo termolüminesans deneyi kalsiyum florit ve lityum florit kristallerinin ultraviyole ışın flaşlarına tutulması ile Oldenberg (1676) tarafından gerçekleştirilmiş olup uygun bir ısıtma işlemi ile kristalin tekrar renksizleştiğini yine aynı araştırmacı gözlemlemiştir.

Termolüminesans kelimesi ilk olarak Wiedeman ve Schmidt (1895) tarafından kullanılmıştır. Termolüminesans yöntemini kullanarak elektronların tuzak derinlikleri dağılımlarının hesaplanabilmesini ilk kez Urbach (1930) ortaya koymuştur. Randan ve Wilkins'e (1945a,b) göre tuzaktan kurtulan bir elektron yeniden tuzaklanmak yerine birleşme merkezlerine gidecektir. Böylece ışıma yoğunluğu serbest kalan elektronların sayısı ile orantılı olacaktır:

$$I(t) = - Cdn / dt = Cn / \tau \quad (2)$$

C = orantı sabiti

n = bir tuzaktaki elektron sayısı

τ = elektronun tuzakta geçirdiği süre

Garlich ve Gibson (1948) tarafından tuzak parametrelerinin hesaplanması için gerekli olan termolüminesans mekanizmalarının geliştirilmesi sonucunda bu dönemlerde birçok TL uygulama alanları ortaya çıkarılmıştır.

Daniel ve ark. (1953) ısıtılan bir materyalin yaptığı ışımanın, soğurulan radyasyon ile orantılı olabileceğini fark etmiş olup, bu materyallerin dozimetre olarak kullanılabileceğini ilk defa ortaya atmışlardır. Termolüminesans dozimetresinin ilk uygulamaları 1953'te LiF'ü kullanarak atomik silahlardaki radyasyonun ölçülmesidir. LiF aynı zamanda tıp alanında da kullanılmıştır. Daha sonraları kayalardaki doğal radyasyonun direk olarak uranyum, toryum, potasyum gibi radyoaktif elementlere bağlı olduğunu yine ilk olarak onlar açıklamışlardır. Kayalardaki hesaplanan radyoaktivite miktarı jeolojik doz olarak adlandırılmıştır.

Materyalin radyasyona maruz kaldığı süre jeolojik yaş veya arkeolojik yaş olarak ifade edilir.

1950'lerde kayaların jeolojik yaşını kesin olarak bulmak için birçok çalışmalar yapılmıştır. Kenndy ve Knopft'un (1960) kayalar üzerinde yaptıkları termolüminesans çalışmaları bizi arkeolojik tarihlendirme çalışmalarına götürmektedir. Çanak, çömlek gibi malzemelere ilk termolüminesans uygulamaları Bern Üniversitesinde yapılmıştır (Grögler ve ark., 1960). 1960'lı yıllarda arkeolojik termoluminesans çalışmaları Aitken ve ark. (1964) , Aitken ve ark. (1968b) tarafından daha da geliştirilerek dünyanın bir çok bölgesinde 40'a yakın laboratuarda yapılmıştır. Örneğin, Kyoto'da Ichikawa (1965), Wisconsin'de Mazess ve Zimmerman (1966), Philedelphia'da Ralph ve Han (1966), Danimarka'da Mejdahl (1969) tarafından TL çalışmaları yürütülmüştür.

Termolüminesans ile tarihlendirme çalışmaları 1960 ve 1970'lerde daha da geliştirilmiştir. Arkeolojik eserlere kuartz büyütme yöntemi (Fleming 1966), ince-tanecik yöntemi (Zimmerman 1967) de ilk kez uygulanmıştır. Bu yöntemler Zimmerman (1971) ve Fleming (1979) tarafından daha da geliştirilmiştir.

Yıllık doz ölçümlerinde kullanılan dozimetreler sözü edilen önceki yıllardan sonra daha da geliştirilerek arkeolojik ve coğrafik alanlarda daha iyi sonuçlar alınması sağlanmıştır (Mejdahl ve Wintle, 1983).

OSL tarihlendirmesi için ilk deney düzeneği çalışmaları Huntley ve ark. (1985) tarafından gerçekleştirilmiş olup ilk ölçümler alınmıştır. OSL cihazlarında kullanılan laser ışığı yerine yüksek güçteki ksenon ark lambalarından Hüt ve ark. (1988) tarafından yararlanılmıştır.

Fosfor katkılı ender toprak elementlerinin OSL çalışması Missous ve ark. (1991) tarafından yapılmıştır.

Kırmızı kuartz tanecikleri TL yönteminde kullanılarak, volkanların yaşlarının tayini Pilleyre ve ark. (1992) tarafından yapılmıştır.

Standart TL tarihlendirme teknolojisinin kritiği üzerine bir çalışma Shlukov ve ark. (1993) tarafından yürütülmüştür.

Yıkıcı yangınlara maruz kalmış neolitik dönem kalıntılarının TL tarihlendirilmesi Buschbeck ve ark. (1994) tarafından yapılmıştır.

Stokes (1994), tarafından yapılan bir çalışmada “Bir doğal kuartzda OSL hassasiyet değişimlerinin zamanlanması” incelenmiştir.

Radyasyona maruz kalmış granit parçalarının OSL ve bazı ışıma görüntüleri isimli çalışma Hashimoto ve ark. (1995) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Parçalanmış çökel merkezlerinin yaşla ilgili lüminesansını ölçmek için bir tarama sistemi başlıklı çalışma Poolton ve ark. (1996) tarafından yapılmıştır.

TL tarihlendirmesi için seçilmiş uygun minerallerden (quartz, feldspar, zircon, volkanit, seramik vb gibi) elde edilen spektral (yayınım, soğurma, optisel) konular adlı çalışma Krbetschek ve ark. (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir.

TL için geliştirilmiş teknik cihazlar ve yöntemler Botterjensen (1997) tarafından uygulamaya geçirilmiştir.

Işınım modelleri hakkında çalışma Mckeever ve ark. (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Kuvarterner çökellerinin TL tarihlendirilmesindeki yeni tekniklerinin ve çeşitli uygulamalarının ele alındığı bir çalışma Duller (1998) tarafından yapılmıştır.

Kuartzda OSL bozunum eğrisini kontrol eden faktörler Murray ve ark. (1998) tarafından incelenmiştir.

Kuartz minerallerinin OSL ile tarihlendirilmesinde ön ısıtma işleminin geliştirilmesi adlı çalışma Wintle ve ark. (1998) tarafından yapılmıştır.

Optik ve ısısal uyarılmayla lüminesans temeline dayalı dozimetre çalışmaları Larsen (1999) tarafından yapılmıştır.

İyon ile katkılanırılmış AL_2O_3 'in ısısal ışımasının incelenmesine ait çalışma Kim ve ark. (1999) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Dozimetre uygulamaları için lityum-alüminyum, beta-kuartz serisi elementlerinin TL çalışmaları Sanchezmunoz ve ark.(1999) tarafından yapılmıştır.

Geçmişe ait olan dozu belirlemek amacıyla kullanılan dozimetrik malzemeler içindeki Kuartz minerallerinin 210°C ısıtılmasıyla TL tepelerine bakılması adlı çalışma Bailiff ve ark. (1999) tarafından gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD**3.1. Materyal**

Antik devirlerde, kil malzemeler yeterli sıcaklıklara (450°C ve üstü) kadar ısıtıldıkları için TL saatinin yeniden kurulmasına izin vermekte ve TL tarihlendirme yöntemi için uygun materyalleri oluşturmaktadırlar. Bunlar kap-kacak parçaları, tuğla ocaklarının ve maden arıtma ocaklarının kil ile kaplanmış iç yüzeyleri ve benzer materyallerdir.

Bir arkeolojik tabakanın tarihlendirilmesi için o tabakadan alınmış birkaç örnek gerekmektedir. Çanak-çömlek parçaları durumunda her tabakadan 6-12 örnek gereklidir. Bu örneklerden her birisi en az ~10g ağırlıkta ve ~5-6mm kalınlıkta olmalıdır. Mümkünse daha büyük örnekler ve üretim tipi farklı olanlar seçilmelidir. 30cm veya daha derinden örnek alınmalıdır. İdeal olan, örneklerin herhangi bir sınırdan (çukurun kenarından, toprak tipinin değiştiği yerlerden, duvardan, tabandan, kaya yüzeyinden) 30cm ilerden alınmasıdır.

Örneklerin uzun süre güneş ışığına ve fazla ısıya maruz kalmasından kaçınılmalıdır. Maruz kalınan sıcaklıklar, suyun kaynama noktasını geçmemelidir. Örnekler ultra-viyoleye, kızılötesi ışınlara, x-ışınlarına, beta-ışınlarına veya gamma-ışınlarına maruz kalmamalıdır. Örnekler yıkanmamalı, topraktan çıkarıldıktan sonra birkaç dakika içerisinde bir toprak parçası içerisine konulmalıdır ve torbanın ağzı sıkıca kapanmalıdır. Bu, örneklerin güneş ışığına maruz kalmalarını önler ve TL laboratuvarının örneğin su muhteviyatını topraktan çıkarıldığı andaki gibi ölçmesini sağlar. Eğer örneklerin tanınması için yıkanmaları gerekiyorsa, o zaman herhangi bir deterjanın ve katkı maddesinin ilavesine izin verilmemesi gerekmektedir. Bundan sonra çanak-çömlek parçaları kurutulmamalıdır ve TL laboratuvarlarına örneklerin yıkanıp yıkanmadığı söylenmelidir.

Örneklerin içinde bulunduğu topraktan bir miktar alınıp, örneklerde olduğu gibi torba içerisine konulup ambalajlanmalıdır. Böylece, güneş ışığından korunmuş olur. Örneğin 30cm civarındaki bölgede değişik yapıda malzemeler varsa, bunların ayrı ayrı örneklenmesi gerekmektedir. Bölgenin özellikleri hakkında bilgi verilmelidir. Bunun için, örneğin alındığı yerin kesitinin çizimi yapılabilir. Bölgenin

fotoğrafi çekilebilir. Örnek alınan bölgenin yakınlarında su birikimi olup olmadığı da önemlidir. Eğer bölge hakkında, mevsimsel veya uzun süreli yağış değişimleri hakkında bilgi varsa TL laboratuvarına rapor edilmelidir.

Bu çalışmanın materyalleri, 'Limyra-Finike-ANTALYA' antik şehrinin güney doğusunda yer alan Roma caddesi üzerinde yapılmış antik şehir sondaj kazı çalışmalarından çıkarılan seramik ve toprak örnekleridir. Bu örnekler kazı başkanı Avusturyalı klasik Arkeolog Borchhardt tarafından çıkarılmış ve envanter çalışması yapılmış örneklerdir (Çizelge 1).A,B1,B2 numaralı örnekler 1993 yılında, C1,C2, C3, C4, C5 numaralı örnekler 1994 yılında ve D numaralı örnek ise 1996 yılında çıkarılmıştır. Örneklerin çıkarıldığı yerlerin Limyros akarsuyundan dolayı sulu ve çamurlu bölgeler olduğu ve bu nedenle de kazı çalışmalarının, sular motopomplarla çekildikten sonra yapıldığı bildirilmiştir (Resim 1).C3, C4 ve C5 numaralı örneklerin kazıdan çıkarıldıktan sonra yıkanmış ve güneş altında bekletilerek kurutulmuş oldukları, A, B1, B2, C1, C2 ve D numaralı örneklerin ise ıslak ve çamurlu bir şekilde, güneş ışığına fazla bırakılmadan siyah torbalar içerisine konularak saklandığı bildirilmiştir. Ayrıca çevre dozu hesaplamalarında kullanılmak üzere seramik örneklerin bulunduğu yerin en az 30 cm. çapındaki bölgeden de toprak örnekleri alınmıştır. Daha sonra toplanan örneklerin buluntu yerleri fotoğrafla (Resim.1,2,3) görüntülendirilmiştir.

Çizelge. 1. Roma Caddesi üzerinde yapılan sondaj kazı çalışmalarından çıkarılmış seramik ve toprak örneklerinin envanter numaraları.

ÖRNEK	ENVANTER NUMARASI
A (Seramik)	L1-93- 5016
B ₁ (")	L1-93-5016
B ₂ (")	L1-93-5016
C ₁ (")	L1-94-KE.311
C ₂ (")	L1-94-KE.311
C ₃ (")	L1-94-KE.311
C ₄ (")	L1-94-KE.311
C ₅ (")	L1-94-KE.311
D (")	L1-96-KE.312
Toprak	S ₀ 16
Toprak	C ₀ 18

3.2. Metod

Tez ile ilgili laboratuvar çalışmalarında örnek hazırlama işlemlerinden, ölçüm alma işlemlerine kadar birçok malzeme ve cihazlardan yararlanıldı.

Örnek hazırlamada kullanılan aletler:

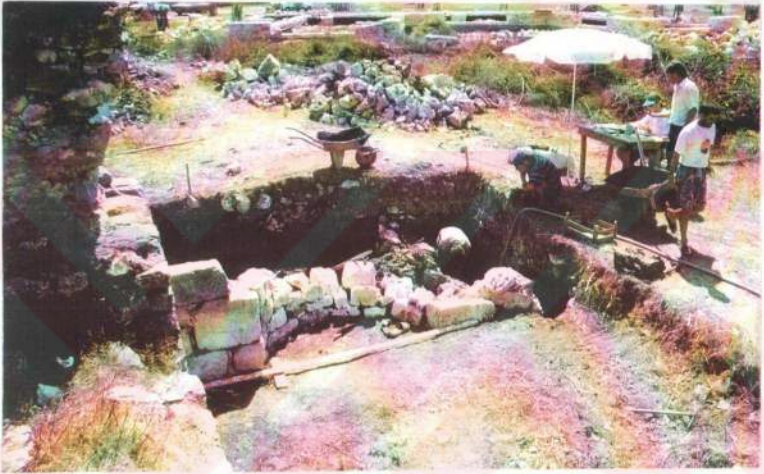
- Örnekleri kırmada kullanılan alüminyum levhalar,
- Yıkama işlemlerinde 4 tüp kapasiteli 5000 devir/dak.' lık santrifüj cihazı,
- Ultrasonik banyo,
- Örnekleri kurutma ve ön ısıtma işlemlerinde kullanılan etüv (ısıtma fırını),
- Tartım işlemlerinde kullanılan hassas terazi.

Ölçüm esnasında kullanılan cihazlar:

- TL ölçüm sistemi (Resim-4),
- Bilgisayarlı 9010 OSL cihazı (Resim-5),
- Aktivitesi 200 mCuri olan Am241 β kaynağı,
- Aktivitesi 0.055 gray olan SR-90 β kaynağı,
- “Low Level Alpha Counter 7286” cihazı,
- İnce tanecikler yönteminde kullanılan Eppendorf aleti.



Resim-1. Limyra kazı alanı (I).



Resim-2. Limyra kazı alanı (II).



Resim-3. Örneklerin alındığı bölgenin görünümü.

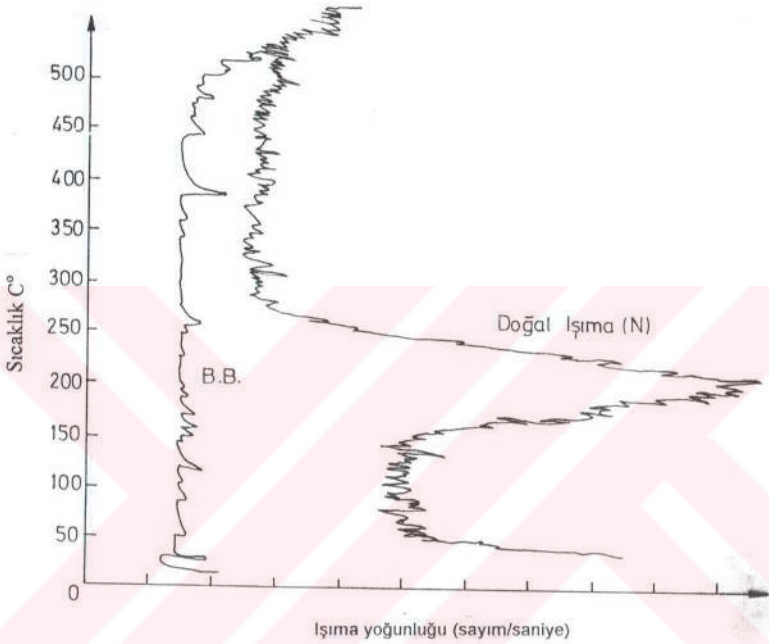
3.2.1. TL Ölçüm Sistemi

Resim-4'de TL ölçüm sistem görülmektedir. Sistem bir yüksek voltaj kaynağı, foto-katlandırıcı, ısı kontrol ünitesi ve bir kaydediciden oluşmaktadır.

Örnek, foto-katlandırıcının altında bulunan tungsten teli üzerindeki bir tablaya yerleştirilip gerilim uygulayarak ısıtılır. Isıtılma işlemi, ısı kontrol ünitesi tarafından sıcaklığın lineer olarak artması sağlanarak yapılır. Sıcaklık arttıkça örnekteki tuzaklanmış elektronlar tuzaklardan kurtularak ışıma yaparlar. Bu ışımanın şiddeti çok küçük olduğundan foto-katlandırıcı tarafından mV mertebesinde kaydediciye aktarılır ve mV değerindeki bu sinyaller büyüklüklerine göre kaydedici tarafından grafiğe dönüştürülür (Şekil-11).



Resim-4. Termoluminesans ölçüm sistemi.

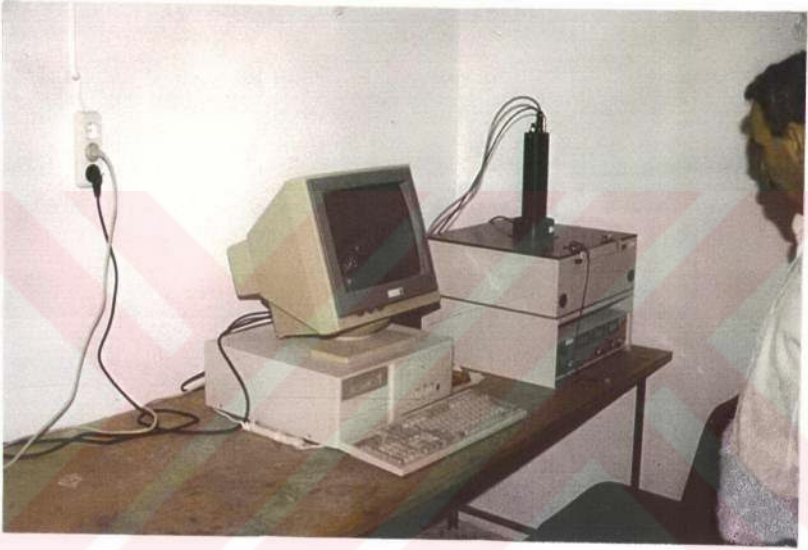


Şekil 11. (TL)'de doğal ışıma eğrisi.

3.2.2. OSL Ölçüm Sistemi

Ölçüm sistemi, 9010 sistemli ve IBM uyumlu bir bilgisayar, ara birim ünitesi, örnek konulan tabla, foto-çoklandırıci, kızılötesi ışık veren bileşen, ışık filtreleri, güç kaynağı ve beta kaynağından oluşmaktadır. Ayrıca bilgisayardaki ara birim kartlarına adım sürücü kartı, sayıcı kartı ve zaman kartı da ilave edilmiştir.

Sistemin çalışması; tablaya yerleştirilmiş seramik örneğin üzerine gönderilen kızılötesi ışık tuzaktaki elektronları uyarak yayınım yapmasına neden olur. Daha sonra fotokatlandırıcı üzerinden bu ışınlımlar bilgisayara kaydedilir (Resim-5).



Resim-5. 9010 OSL cihazı.

3.2.3. Alfa Sayıcısı

Sistem bir yüksek voltaj kaynağı, fotokatlandırıcı ve örneğin konulduğu kısımdan oluşmuştur. Sistemin çalışması; örneğin içerisinde bulunan (Uranyum, Toryum ve Potasyum) dan gelen alfa ışımları yüksek voltaj kaynağı ile yükseltilerek fotokatlandırıcı tüp tarafından toplam sayım ve çift sayım değerleri elde edilir. Bu değerlerden gerekli hesaplamalar yapılarak, örneği etkileyen alfa dozu miktarı hesaplanır.

3.2.4. Çevre Dozunun (Yıllık Doz) Hesaplanması

Yıllık doz iki ana bileşenden oluşur. Bunlardan biri maddenin kendi içinde bulunan U,Th, ve K⁴⁰ gibi radyoaktif elementlerden kaynaklanan "iç doz", diğeri ise maddenin çevresindeki toprakta bulunan U, Th ve K⁴⁰'dan ve kozmik ışınlardan kaynaklanan "dış doz"dur. Dış doz, çevre toprağının analizinden U, Th, K⁴⁰ oranlarının saptanması ve bunların çevreye saldıkları α , β parçacıkları ve γ ışınlarının ölçümleri sonucu bulunabileceği gibi, örneğin kendi çevresindeki toprak içersine (6-12 ay) süre kadar gömülü bırakılan dozimetreler sayesinde de dış doz bulunabilir (Mejdahl ve Wintle, 1983). Bu çalışmada yıllık doz çevre toprağının analizi sonucunda elde edilmiştir. Diğer taraftan yeryüzüne ulaşabilen kozmik ışınların yaydıkları radyasyon miktarı da yılda (15-18 mrad) civarında olduğundan bu değer dış doz hesaplamalarında ihmal edilebilir.

3.2.4.1. Alfa Sayımı ve Beta Analizi

Örnek içinden gelen betaları hesaplamak için hazırlanmış olan örneklerden 2 gr kadar tartılıp α sayıcısının detektörü içine yerleştirilir. Alfa sayıcısından saat başları toplam ve çift sayım değerleri alınır. Buradan gerekli hesaplamalar yapılarak gerçek çift sayım değeri bulunur:

$$\text{Gerçek çift} = (\text{çift sayım}) - (\text{toplam sayım})^2 \times 0.23 \times 10^{-3} \quad (3)$$

eşitliği ile bulunur. Buradan da

$$\alpha_{Th} = 33 \times \text{gerçek çift sayım} - 1/10 \times (\text{toplam sayım}) \quad (4)$$

ve

$$\alpha_U = \text{toplam sayım} - \alpha_{Th} \quad (5)$$

eşitliklerinden α_{Th} ve α_U değerleri hesaplanır. Sonra

$$\beta = \alpha Th \times 5.77 + \alpha U \times 8.60 \quad (6)$$

eşitliğinden β değeri hesaplanır.

β_{net} değeri daha sonra nemlilik, kuruluk (fw-fs) ve potasyum analizlerinin sonucu bulunan değerler aşağıdaki eşitlikte yerine konularak;

$$\beta_{net} = \beta / 1 + 1.25 (\%fw \times \%fs) \times 10^{-5} \quad (7)$$

elde edilir.

3.2.4.2 Nemlilik Oranının Belirlenmesi

Örneklerden bir miktar alınıp tartılarak (N) normal ağırlık değeri bulunur. Ölçülen örnekler petri kutusu içerisine yerleştirilen filtre kağıdı üzerine konur, bu arada filtre kağıtlarının yaş ve kuru ağırlıkları not edilir. Petri kutusu içersinde bulunan örneklerin üzeri su ile doldurularak bir gece bekletilir. Bir gece bekleyen örnekler filtre kağıdı ile birlikte tartılıp daha önce not edilmiş yaş filtre kağıdı ağırlığından çıkarılarak (Y) yaş örnek ağırlığı bulunur. Bu yaş örnekler daha sonra 53°C'de etüv içersinde kurutulur. Kuruyan örnekler tartılarak daha önce not edilmiş olan kuru filtre kağıdı ağırlığından çıkarılarak (K) kuru örnek ağırlığı bulunur. Elde edilen bu değerler ;

$$\%fw = 100(N-K) / N \quad (8)$$

$$\%fs = 100(Y-K) / K \quad (9)$$

eşitliklerinden faydalanarak %fw ve %fs değerleri hesaplanır .

3.2.4.3. Potasyum Analizi

Teflon tüpler önceden reçineden geçirilmiş saf su ile iyice yıkanır. Elenmiş olan örneklerden 100 mg tartılıp teflon tüp içersine konur. Daha sonra (30 ml HCl + 70 ml HClO₄) seramik asidi karışımından 2 ml kadar alınarak örnekler içersine dökülür. Örnekler daha sonra 100°C deki kum banyosu içersinde 5-6 saat kadar bekletilir. Bu süre sonunda çözünen örnekler filtre kağıdından geçirilip süzildükten

sonra üzerleri saf su ile tamamlanır. Diğer bir taraftan ise 2.54 gr K alınarak atomik absorpsiyon aletinde karşılaştırılarak %K miktarları,

$$\beta_K = (\%K \times 0.85 \times 0.86) / (1 + 1.25 \times \%fw \times \%fs \times 10^{-4}) \quad (10)$$

eşitliği ile bulunur .

Kozmik ışınlardan yeryüzüne ulaşan radyasyon miktarı yılda 15-18 mrad civarında bulunduğundan bu değer yıllık doz hesaplamasında istenildiğinde ihmal edilebilir. Bu çalışmada çevre dozu 150 mrad olarak alınmıştır.

yıllık doz ise

$$\text{Yıllık doz} = \beta_{\text{net}} + \beta_K + \text{çevre dozu} \quad (11)$$

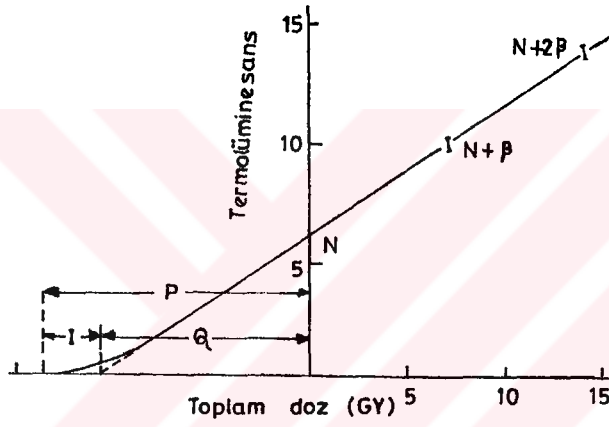
eşitliğinden hesaplanır.

3.2.5. İç Dozun (Eşdeğer doz) Hesaplanması

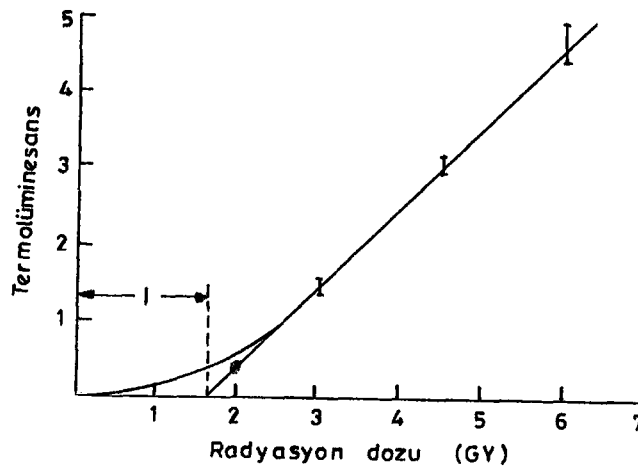
Paleodoz (Arkeolojik doz)'un varlığını anlamak için bir quartz parçasının doğrudan doğal TL (termoluminesans) ışımasını elde etmek ve sonra bir radyoizotop kaynaktan (Stronzyum-90, Sezyum-137, Kobalt-60 vb.) salınan bilinen bir radyoaktif doz miktarı ile örneği radyasyona tabi tutarak, aynı örnekten elde edilen yapay TL ışıması ile karşılaştırmak gerekir. Her ne kadar bu işlem genellikle yaklaşık bir değer verse de örneğin duyarlılığı ısıya maruz kaldığı süre boyunca değişecektir. Örneğin duyarlılığındaki bu değişim bütün örneklerde ortaya çıkar ve yapay doz metodunun kullanılmasını zorunlu kılar. Yapay doz metodundaki bütün ölçümler çok sayıdaki örnekler üzerinde (genellikle 5mg civarında) yapılır. Bu örneklerin aynı örneğin parçaları olup bir kısmı doğal TL' i ölçmede diğerleri ise yapay TL' i ölçmede kullanılır. Belli bir parçacık için ölçme yapıldıktan sonra TL yoğunluğu Şekil-12'de görüldüğü gibi bulunarak eşdeğer doz (Q) değeri elde edilir. Elde edilen bu Q değeri paleodoza eşit olmak zorunda değildir. Burada doza bağlı TL supralineerdir. Bu bize ilk doz verildikten sonra uyarılmış örnekten elde edilen TL ışımasını yani ikinci büyüme karakteristiğini (I' ı) verir (Şekil-13). Şekil-12'de görülen I ile işaretli

ara kesit için paleodoz miktarı ($Q+I$) şeklinde bulunur. Şekil-12’de eşdeğer dozun bulunmasına yardımcı olan Q ara kesiti, Şekil-13’de ise I ara kesitinin belirlenmesini sağlayan grafikler görülmektedir. Genellikle paleodoz değerleri her biri 25°C ısı aralıkları içinde elde edilmiştir. Böylece paleodoz değerleri her bir bölge için elde edilebilir. Bu elde edilen ışıma değerleri ile her sıcaklığa karşılık gelen paleodoz değerleri plato testi uygulanarak istenilen eşdeğer doz elde edilir.

Quartzlardan elde edilen ışıma eğrileri genellikle 325°C veya 375°C civarında birer tepe verirler. Ya da her iki tepenin bir kombinasyonu olarak görülebilir.



Şekil.12. Eşdeğer doz Q ara kesitinin belirlenmesi (Aitken, 1985).



Şekil.13. Eşdeğer doz I ara kesitinin belirlenmesi (Aitken, 1985).

3.2.5.1. İnce Tanecikler Yöntemi

Önce seramik örneklerinin dış yüzeyleri zımpara kağıdı ile iyice temizlenip, % 50'lik (50ml HCl + 50ml CH₃COOH + 100ml saf su) olarak hazırlanmış olan asit içerisine konularak ultrasonik banyoda 20 dakika yıkanır. Sonra hazırlanmış bu asit karışımı dökülerek örnekler saf su içerisinde 3 kez ultrasonik banyoda yıkanır. Bu yıkamanın amacı ortamdaki asidi iyice uzaklaştırmaktır. Daha sonra örnekler 50°C' de etüv içerisinde bir gece bekletilerek, kurumaları sağlanır. Ertesi gün kuruyan örnekler "V" şeklindeki alüminyum levha arasında iyice kırılarak %1' lik asetik asit içerisinde, ultrasonik banyoda 3 dakika yıkandı. Yıkamadan sonra büyük tanecikler beherin dibine çöker. Üstte kalan sıvı 4 tüpe eşit olarak bölünerek, 3500 devir/dak. santrifüj aletinde yıkanır. Daha sonra üstteki asit dökülerek, altta kalan tortulu kısmı asitten tamamıyla arındırmak için, 3'er dakika aralıklarla 4 kez saf su ile santrifüj yapılarak yıkandı. Ortamda asit kalıp kalmadığı turnusol kağıdı ile kontrol edildi. Sonra altta kalan örnekler aseton ile çözülerek bir beher içerisine yerleştirildi. Bu örnekler 50°C deki etüv içerisinde 1 gece bekletildi. Kuruyan bu örnekler ince tanecikler yöntemi uygulanmak üzere siyah plastik kaplar içerisine konuldu. İnce tanecikler yönteminin amacı, kimyasal yıkamalardan sonra parçacık büyüklüğü 2 ile 8 mikron arasında değişen taneciklerden oluşan örnek elde edebilmektir (Fleming, 1979). Bunu elde etmek için önce 24 küçük tüp alınarak içerisine küçük diskler yerleştirilir. Hazırlanan örneklerden 2'şer gram tartılır. Bunlar iki büyük tüpe eşit olarak bölüştürülür. Sonra tüpler üzerinde 1 cm boşluk kalacak şekilde üzerlerine aseton doldurulur. Bu tüpler iyice çalkalanıp ultrasonik banyoda 60 sn tutularak 2 dakika bekletilir. Böylece örneğin dibe çökmesi sağlanmış olur. Çöken kısmın üzerinde kalan sıvı başka iki tüpe alınıp 20 dakika bekletilerek tüplerin dibinde küçük parçacıkların kalması sağlanmış olur. Bu tanecikler yeterli gelmezse işlem tekrarlanır. 20 dakika bekletilen örnekler daha önceden hazırlanan küçük tüpler içerisine 'Eppendorf pipet' yardımıyla içerisinde diskler bulunan 24 cam tüpe eşit miktarlarda dağıtılır. Bu tüpler sonra 43°C' de etüv içerisinde 1 gece bekletilir. Kurutulmuş örneklerin bulunduğu cam tüpler içerisindeki diskler alınarak TL ve OSL ölçümleri yapılmak üzere örnekler hazır hale getirilir.

3.2.5.2. Kuartz Katkı Tanecikleri Yöntemi

Bu yöntem Fleming (1970) tarafından geliştirilmiştir. Amaç, kil içerisinde bulunan 5-150 mikron büyüklüğündeki kuartz parçacıklarını ayırmaktır.

Örneklerin yüzeyi 1-2 milimetre kadar temizlenip, “V” şeklindeki levha arasında kırılarak küçük parçalara ayrılır. Bu parçalar 85-150 mech’ lik elekten geçirilir ve arada kalan elenmiş örnekler alınır. Elde edilen bu örnekler %10’luk HCl içerisinde bir gece bekletildikten sonra asitten arındırılabilmesi için 5-6 kez saf su ile iyice yıkanır. Yıkanan örnekler 53 °C’ de etüv içerisinde bir gece bekletilerek kurutulur. Kuruyan örnekler düz bir yere yayılarak içerisindeki demirli mineraller mıknatıs yardımıyla alınır. Demiri alınmış bu örnekler 1 N’lik HF içerisinde 4 saat bekletilir. Bekleme süresinin sonunda asitten arıtmak amacıyla 5-6 kez saf su ile yıkanarak 53°C etüv içerisinde bir gece bekletilir. Daha sonra kuruyan örneklerin TL ışımlarına bakılır.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Limyra antik şehrinin güney doğusunda yapılan kazı çalışmaları sırasında toplanmış olan seramik ve toprak örneklerine TL ve OSL yöntemleri uygulanarak ısısal ışımaları ölçülmüştür.

Yıllık doz hesaplamalarında kullanılmak üzere önce envanter numaraları belirlenmiş seramik örneklerin alfa sayımı ve beta analizleri, toprak örneklerin de ayrıca nemlilik oranı ve potasyum analizleri yapılmış olup, sonuçlar Çizelge.2 'de verilmiştir.

Çizelge 2 . Yıllık dozun hesaplanmasında kullanılan değerler.

ÖRNEK	β (mrad)	$\beta_{net}(mrad)$	%fw	% fs	$\beta_K(mrad)$
A	85.29	85	1.997	3.239	47
B ₁	145.72	146	1.670	9.570	20
B ₂	156.60	157	1.502	9.336	15
C ₁	501.22	501	1.447	4.399	17
C ₂	460.88	461	1.470	4.522	14
C ₃	407.98	408	2.351	17.134	16.5
C ₄	404.91	405	1.053	21.655	16
C ₅	416.04	416	1.894	20.276	21
D	213.93	214	2.038	7.636	69
S0-16	29.72	29.27	4.459	68.604	26
C0-18	103.93	102.81	4.494	48.355	28.3

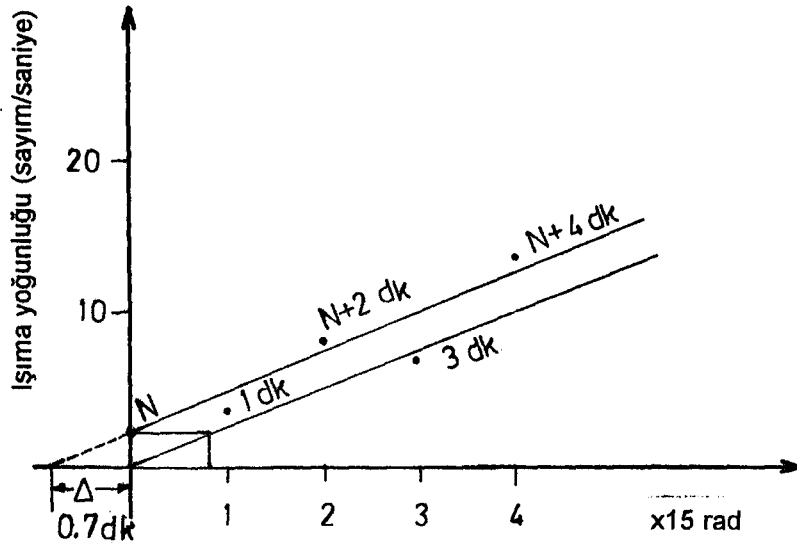
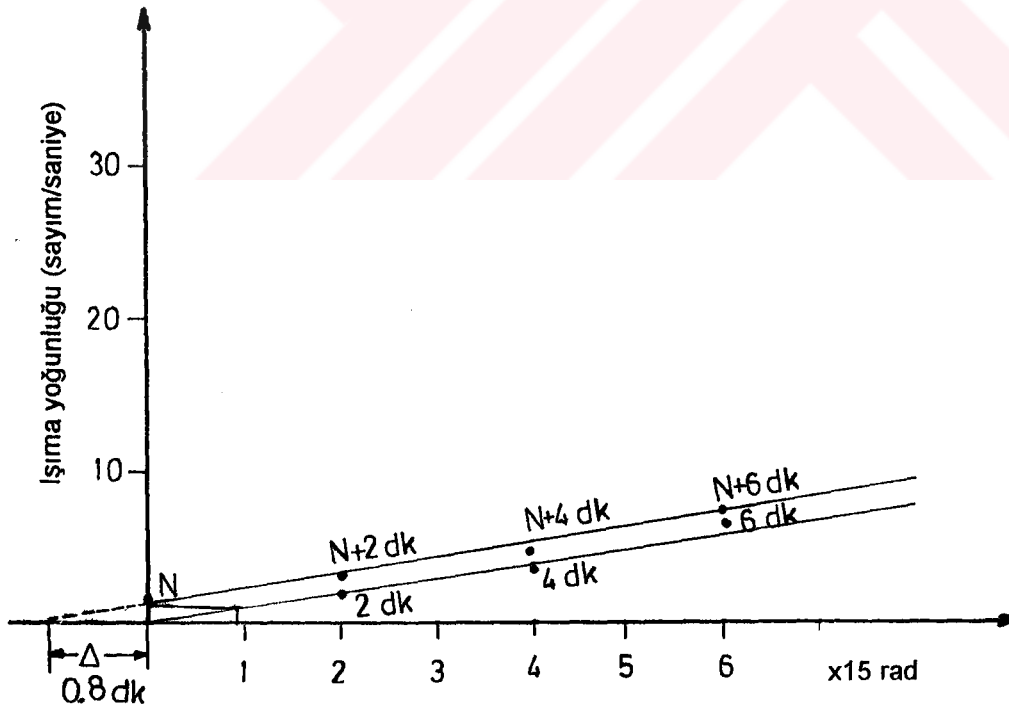
Eşdeğer doz hesabı için çalışılan her seramik örneğin önce doğal ışıma yoğunluğu(N) değerleri ölçülmüş olup, aynı örnekler daha sonra aktivitesi bilinen bir radyoaktif kaynaktan(SR-90, 15 rad/s beta kaynağı) farklı sürelerde radyasyona

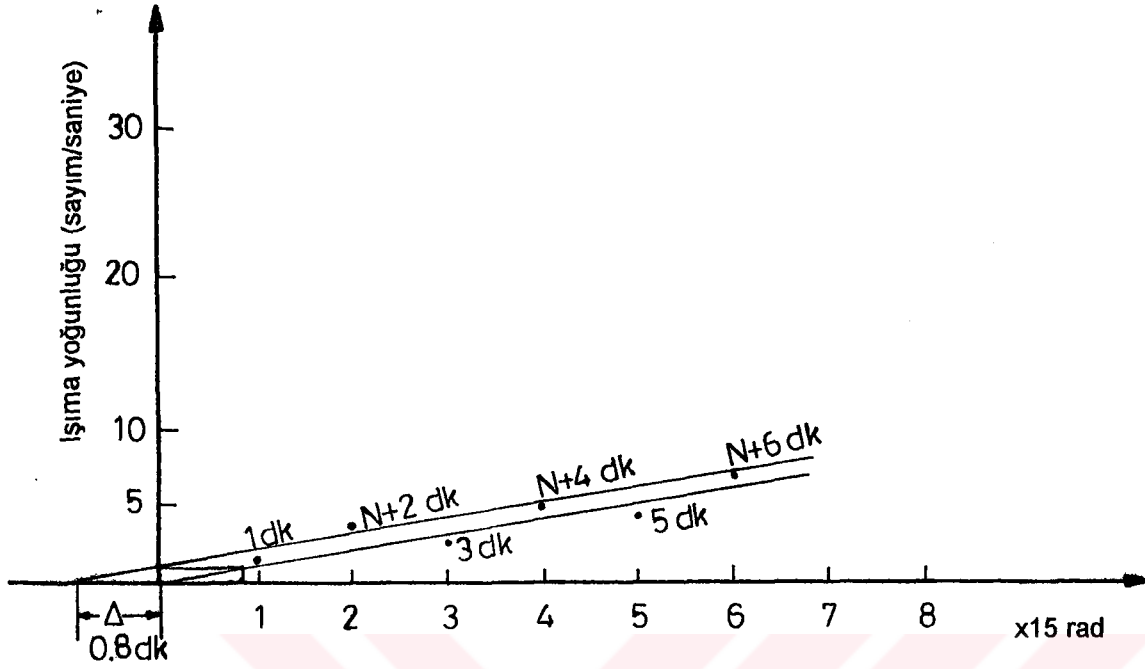
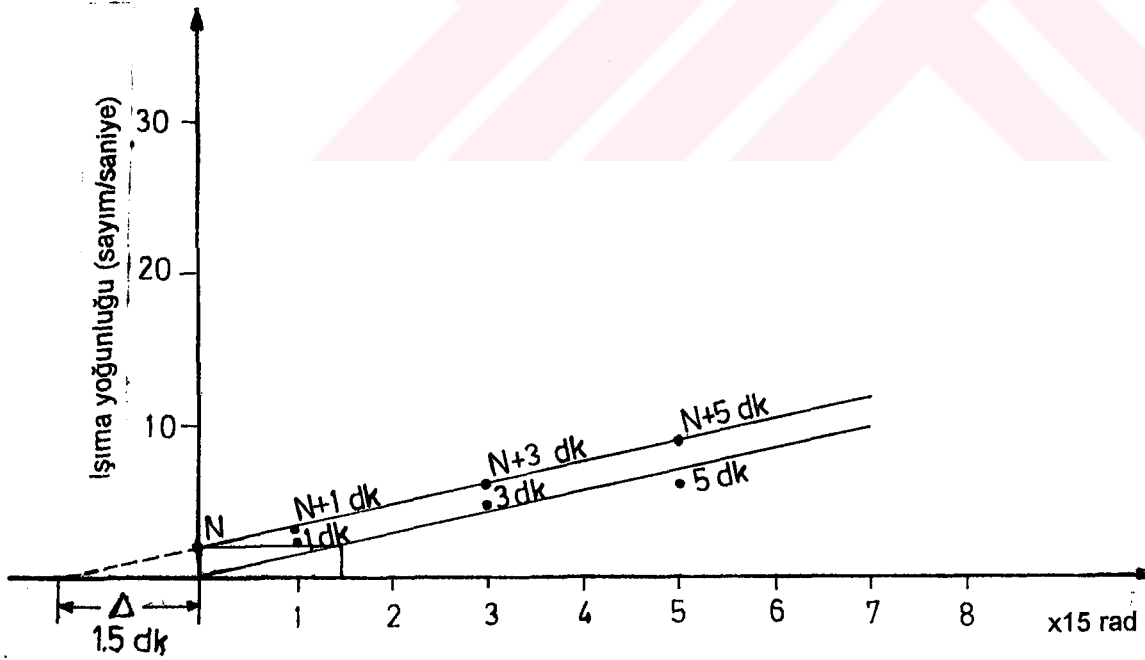
maruz bırakılarak ışıma yoğunluğu değerleri ölçülmüştür (Çizelge.3). Daha sonra bu ışıma yoğunluğu değerlerinin doz oranına karşılık gelen grafiği çizilmiştir. Çizilen bu

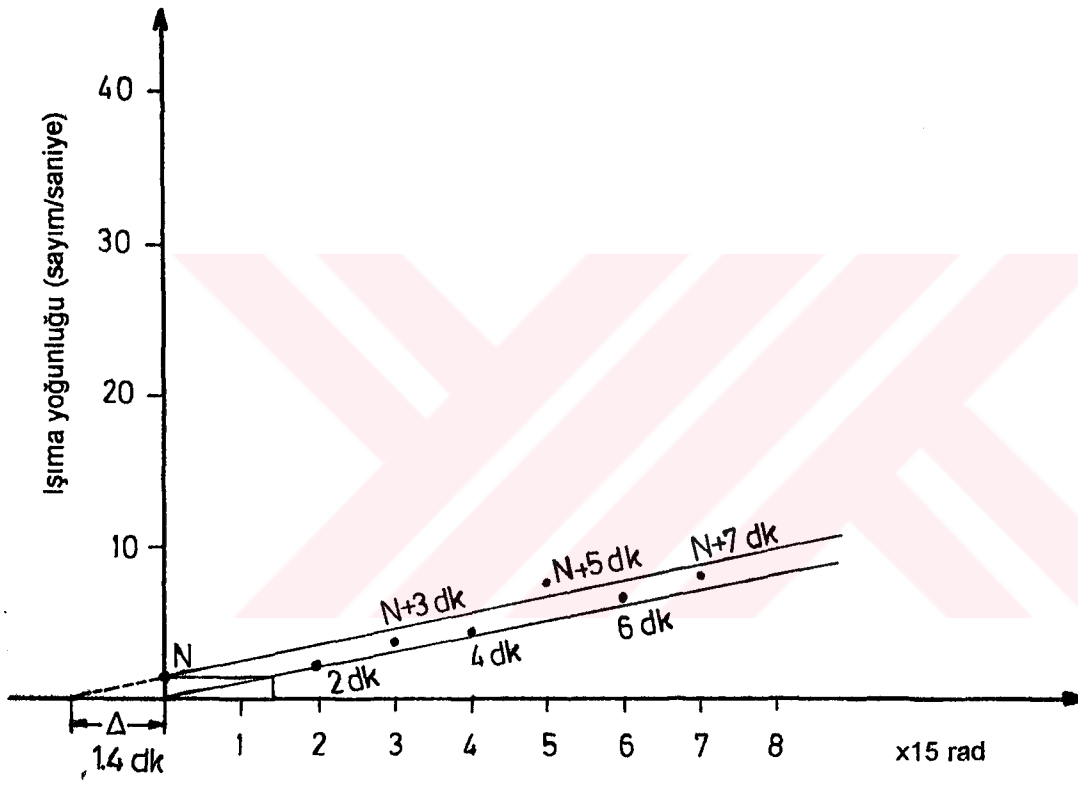
Çizelge 3. Uygulanan doz sürelerine karşılık gelen ışıma yoğunluğu değerleri

ÖRNEK	UYGULANAN DOZ SÜRELERİ (Dakika)														
	N	1	2	3	4	5	6	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	
A	2.0	3.5	-	7.0	-	-	-	-	8.0	-	13.5	-	-	-	
B ₁	1.5	-	2.0	-	3.5	-	6.5	-	3.2	-	4.6	-	7.0	-	
B ₂	2.5	1.2	-	2.6	-	3.8	-	-	3.8	-	5.0	-	7.0	-	
C ₁	1.5	2.5	-	5.0	-	6.0	-	3.0	-	5.6	-	9.0	-	-	
C ₂	1.6	-	2.5	-	4.5	-	7.0	-	-	2.8	-	6.0	-	7.8	
D	7.0	17.0	-	43.0	-	78.0	-	-	55.0	-	72.0	-	-	-	

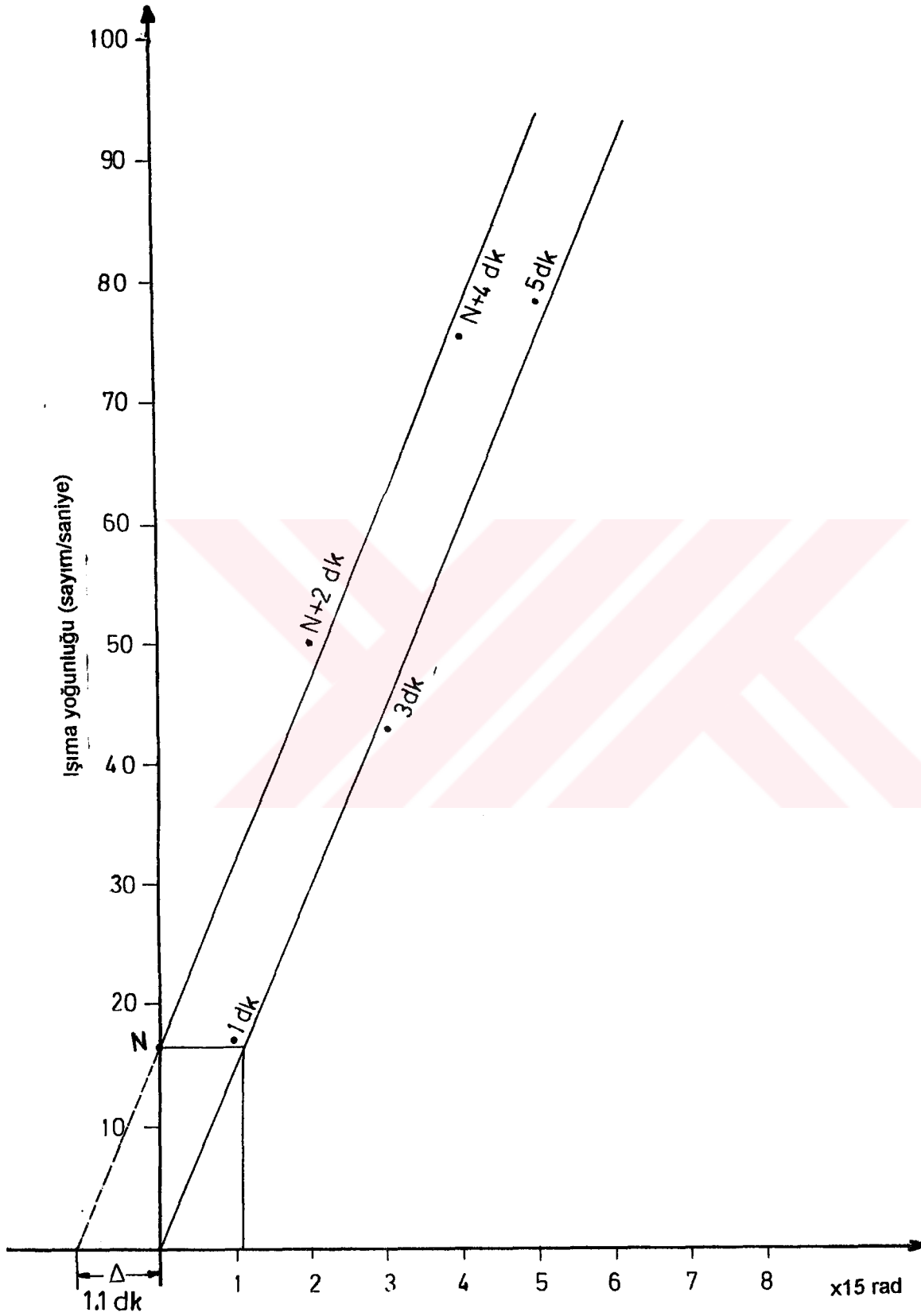
grafiğe paralel olacak şekilde bir doğru çizilerek, bu doğrunun doz eksenini kestiği nokta bulunmuştur. Bulunan bu noktanın ışıma yoğunluğu eksenine olan uzaklığı bize(Δ) eşdeğer doz değerini verir. Δ değeri: elde edilen zamanın, kaynağın birim zamandaki yaymış olduğu radyasyon değeri ile çarpımıdır (Şekil 14,15,16,17,18,19).

Şekil. 14. A örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği.Şekil. 15. B₁ örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği.

Şekil. 16. B₂ örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği.Şekil. 17. C₁ örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği.



Şekil. 18. C_2 örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği.

Şekil. 19. D örneği eşdeğer doz (Δ) ölçüm grafiği.

Grafiklerden hesaplanmış eşdeğer doz değerleri ile analizler sonucunda hesaplanmış yıllık doz değerleri Çizelge-4.'de verilmiştir.

Çizelge 4. Tarihlendirilmesi yapılan seramik örneklerinin eşdeğer doz (ED) ve yıllık doz (YD) değerleri.

ÖRNEK	ED (rad)	YD (mrad)
A	630	282
B1	720	316
B2	720	322
C1	1350	668
C2	1260	625
D	990	433

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Limyra antik kentinin güney-doğusundaki Roma Caddesinde yapılan sondaj kazı çalışmalarından çıkarılmış seramik örneklerine TL tarihlendirme çalışması uygulanarak eşdeğer doz ölçümü, seramiklerin bulundukları yerlerin çevrelerinden de toprak örnekleri alınarak yıllık doz hesabı yapılmıştır (Çizelge-4). Bu değerler yaş eşitliği (Eşitlik-1)'de yerlerine konularak örneklere ait tarihler ve dönemler bulunmuştur (Çizelge-5).

Çizelge-5. Örnekler için bulunan tarihler, kapsadığı dönemler ve sondaj kazı çalışma noktaları

ÖRNEK	YAŞ (yıl) (G.Ö.)	KAPSADIĞI DÖNEM	SONDAJ KAZI NOKTALARI
A	2234	Hellenistik	Li-93.5016
B1	2278	Hellenistik	Li-93.5016
B2	2236	Hellenistik	Li-93.5016
C1	2021	Roma	Li-94.KE.311
C2	2016	Roma	Li-94.KE.311
D	2286	Hellenistik	Li-96.KE.312

Çizelge 5'e göre; A örneği M.Ö. 234 tarihini, B1 örneği M.Ö.278 tarihini, B2 örneği M.Ö.236 tarihini ve D örneği M.Ö. 286 tarihini vermiş olup Hellenistik dönemine ait olduğu, C₁ örneği M.Ö. 21 tarihini, C₂ örneği M.Ö. 16 tarihini vermiş olup Roma dönemine ait olduğu görülmektedir (Akurgal, 1990 ; Turani, 1995). Limyra bölgesi kazı çalışmalarına başkanlık eden Avusturya Üniversitesi Klasik Arkeoloji Bölüm başkanı J. Borchhardt, bölgedeki kazı çalışmalarının devam ettiğini, kazılardan çıkarılan seramiklerin biçim ve form yönünden tipoloji çalışmalarının da henüz sonuçlandırılmadığını ve bu nedenden dolayı da bölgeye ait kesin bir dönem belirlenmesinin de yapılamayacağını söylemesi, o dönemlerde kazı çalışmalarına Kültür Bakanlığı adına katılarak görev almış arkeolog Murat Süslü tarafından ifade

edilmektedir (sözlü görüşme, 2000)*. Zira yerleşim bölgelerinin tarihçelerine bakıldığında çıkan bu sonuçların örneğin alındığı yerleşim bölgelerinde yapılmış olan kazılardan çıkarılan bulgulara ait tarihlerle yaklaşık olarak bağdaştığı söylenebilir.

C₃, C₄, C₅ numaralı örneklerin kazıdan çıkarıldıktan sonra yıkanmış olmaları ve ayrıca güneş ışığına fazla maruz bırakılmaları nedeniyle eşdeğer doz hesaplamalarında beklenen tepe değerlerini vermediklerinden bu örnekler için tarihlendirme yapılamamıştır.

İleride yapılacak çalışmalarda bu aksaklıklar göz önünde bulundurularak, yerleşimin farklı bölgelerinden daha çok örneklerle kazıdan elde edilen bu sonuçları pekiştirecek TL tarihlendirme çalışmaları yapılabilir.



*Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Müdürlüğü, Ankara

KAYNAKLAR

- AITKEN, M.J. 1985. Thermoluminescence Dating Research Laboratory for Archaeology and the History of Art. Oxford University England.
- _____, 1989. Thermoluminescence Dating: a Guide for non-specialists. Archaeometry, 31, 147-159.
- _____, M.J. TITE, M.S. REID, J. 1964. Thermoluminescent Dating of Ancient Ceramics. Nature, 202, 1032-1033.
- _____, FLEMING, S.J., DOEL, R.R., TANGUY, J.C. 1968a. In Thermoluminescence of Geological Materials (ed. McDOUGALL, D.J.) p.359, acad. Pres. London.
- _____, ZIMMERMAN, D.W., FLEMING, S.J. 1968b. Thermoluminescence Dating of Ancient Pottery. Nature, 219, 442-444.
- AKURGAL, E. 1990. Anadolu Uygarlıkları, sayfa 418, Net Yayınları, İstanbul.
- BAILIFF, I.K., PETROV, S.A. 1999. The Use of the 210 Degrees-C TL Peak in Quartz for Retrospective Dosimetry. Radiation Protection Dosimetry. Vol 84, Iss 1-4, pp 551-554.
- BORCHHARDT, J. 1997. Limyra. Eczacıbaşı Sanat Ans., Yem. Yay. II.cilt, sayfa 1117-1119, İstanbul.
- BOTTERJENSEN, L. 1997. Luminescence Techniques-Instrumentation and Methods. Radiation Measurements. Vol 27, Iss 5-6, pp 749-768.
- BOYLE, R. 1663. Register of the Roy. Soc. 1663, 213.
- BUSCHBECK, H.M., FLETTNER, S. 1994. TL Dating of A Destructive Fire in A Neolithic Settlement. Quaternary Science Reviews. Vol 13, Iss 5-7, pp 569-573.
- CURIE, D. 1960. Luminescent in Crystals. Methuen, London.
- DANIEL, F., BOYD, C.A., SAUNDERS, D.F. 1953. Science, 117, 343.
- DUELLER, G.A.T. 1998. Recent Developments in Luminescence Dating of Quaternary of Sediments. Department of nuclear Safety Research, Risø National Laboratory, DK-4000, Denmark.
- FLEMING, S.J. 1966. Study of Thermoluminescence of Crystalline Extracts from Pottery, Archaeometry, 9, 170-173.

- _____, S.J. 1970. T.L. Refinement of the Quartz Inclusion Method, *Archaeometry*, 12,133-147.
- _____, S.J. 1979. *Termoluminescence Techniques in Archaeology*. Clarendon.
- GARLICK, G.F.J., GIBSON, A.F. 1948. *Proc. Phys. Soc.* 60,574..
- GARLICK, G.F.J. 1949. *Luminescent Materials*. Oxford Univ. Press, London.
- GRÖGLER, N., HOUTERMANS, F.G. ve STAUFFER, H. 1960. *Helv. Phys. Acta*, 33, 595.
- HASHIMOTO, T., NOTOYA, S., OJIMA, T., HOTEIDA, M. 1995. OSL and Some Other Luminescence Images from Granite Slices Exposed With Radiations. *Radiation Measurements*. Vol 24, Iss 3, pp 227-237.
- HUNTLEY, D.J., GODFREY-SMITH, D.J. ve THEWALT, M.L.W. 1985. Optical Dating of Sediments, *Nature*, 313, 105-107.
- HÜTT, G. JACK, I. TCHONKA, J. 1988. Optical dating: K-Feldspar Optical Response Simulation Spectrum. *Quaternary Science Reviews*, 7, 381-386.
- ICHIKAWA, Y. 1965. Dating of ancient ceramics by thermoluminescence. *Bulletin of the Institute of Chemical Research, Kyoto University* 43, 1-6.
- KENNEDY, G.C., KNOPFF, L. 1960. *Archeology*, 13, 147.
- KIM, T., JANG, H., WHANG, C. 1999. Thermoluminescence of Ion-Implanted Al_2O_3 . *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B- Beam Interactions with Materials and Atoms*. Vol 155, Iss 3, pp 295-300.
- KRBETSCHEK, M.R., GOTZE, J., DIETRICH, A., TRAUTMANN, T. 1997. Spectral Information from Minerals Relevant for Luminescence Dating. *Radiation Measurements*. Vol 27, Iss 5-6, pp 695-748.
- LARSEN, N.A. 1999. Dosimetry Based on Thermally and Optically Stimulated Luminescence. *Riso National Laboratory*, January 1999, 151 p.
- LEUTE, U. 1987. *Archaeometry: An Introduction to Physical Methods in Archaeology and the History of Art*/ Ulrich Leute-Weinheim; New York, NY: VCH.
- MAZESS, R.B., and ZIMMERMAN, D.W., 1966. Pottery dating from thermoluminescence. *Science*. 152.347-348.
- Mc KEEVER, S.W.S. 1985. *Thermoluminescence of Solids*. Cambridge University.

- Mc KEEVER, S.W.S., CHEN, R. 1997. Luminescence Models. Radiation Measurements. Vol 27, Iss 5-6, pp 625-661.
- MEJDAHL, V. 1969. Thermoluminescence Dating of Ancient Danish Ceramics. Archeometry 11, 99-104.
- MEJDAHL, V. WINTLE, A.G. 1983. Thermoluminescence Applied to Age Determination in Archaeology and Geology. In. Y. Horowitz (ed.). Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry (CRC Press Inc.,
- MISSOUS, O., LOUP, F., FESQUET, J., PREVOST, H., ASIOT, J., SANCHEZ, J.P., DOSSANTOS, C.A. 1991. Optically Stimulated Luminescence (Osl) of Rare-Earth Doped Phosphors. European Journal Of Solid State And Inorganic Chemistry Vol 28, Iss 5, pp 163-166
- MURRAY, A.S., WINTLE, A.G. 1998. Factors Controlling the Shape of the OSL Decay Curve in Quartz Radiation Measurements. Vol 29, Iss 1, pp 65-79.
- OLDENBURG, H. 1676. Phil. Trans Roy. Soc. London, 11-876.
- PILLEYRE, T., MONTRET, M., FAIN, J., MIALLIER, D., SANZELLE, S. 1992. Attempts at Dating Ancient Volcanos Using the TL of Quartz. Quaternary Science Reviews. Vol 11, Iss 1-2, pp 13-17.
- POOLTON, N.R.J., BOTTERJENSEN, L., WINTLE, A.G., YPMAN, P.J., KNUDSEN, K.L., MEJDAHL, V., MAUZ, B., CHRISTIANSEN, H.E., JAKOBSEN, J., JORGENSEN, F., WILLUMSEN, F. 1996. A Scanning System for Measuring the Age-Related Luminescence of Split Sediment Cores. Boreas Vol 25, Iss 3, pp 195-207.
- RALPH, E.K. ve HAN, M.C. 1966. Dating of Pottery Thermoluminescence Nature. 210, 245-247.
- RANDALL, J.T. ve WILKINS, M.H.F. 1945a. Proc. Roy. London, 184, 366.
- _____, (1945b). Proc. Roy. London, 184, 390.
- RHODES, E.J., 1988. Methodological Considerations in the Optical Dating of Quartz, Quat. Sci. Rev., 7, 395-400.
- SANCHEZMUNOZ, L., CORRECHER, V. GARCÍAGUTNEA, J., DELGADO, A. 1999. Thermoluminescence of a Lithium Aluminum-Rich Beta-Quartz for Dosimetry Purposes. Radiation Protection Dosimetry. V.84, Iss. 1-4, pp 543-46.

- SHLUKOV, A.I., SHAKHOVETS, S.A., VOSKOVSKAYA, L.T., LYASHENKO, M.G., 1993. A Criticism of Standart TL Dating Technology. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms. Vol 73, Iss 3, pp 373-381.
- SMITH, B.W. 1988. More Coutons on Laboratory Illuminatron, Ancient TL. 6, 9.
- _____, AITKEN, M.J., RHODES, E.J., ROBINSON, P.D. and GELDARD, D.M., 1986. Optical dating: Methodological Aspect, Radiation Protection Dosimetry, 17, 229-233
- _____, RHODES, E.J., STOKES, S., SPOONER, N.A.O., AITKEN, M.J. 1990. Optical Dating of Sediments: Initial Quartz Results from Oxford, Archeometry, 32,1, 19-31.
- SPOONER, N.A., QUESTIAUX, D.G. 1989. Optical Dating-Achenheim Beyond the Eemian Using Green and Infrared Simulation, in Synopses from a Workshop on Long and Short Range Limits in Lüminescence Dating, Oxford, April 1989, 97-103, Res. Lab. Archeol. Hist. Art, Oxford University, Occasional Publication, 9.
- STOKES, S. 1994. The Timing of OSL Sensitivity Changes in A Natural Quartz. Radiat. Measurements. Vol 23, Iss 2-3, pp 601-605.
- TURANİ, A. 1995. Dünya Sanat Tarihi. Remzi Kitabevi.
- URBACH, F. 1930. Wiener Ber., 139, 363.
- WIEDEMAN, E., SCHMIDT, G.C. 1895. Ann. Phys. Chem. Neue Folge, 54, 604.
- WINTLE, A.G., MURRAY, A.S. 1998. Towards the Development of a Preheat Procedure for OSL Dating of Quartz. Radiat. Measurements. Vol 29, Iss 1, pp 81-94.
- ZIMMERMAN, D.W. 1967. Archaeometry, 10, 26.
- _____, 1971. Thermoluminescent Dating Using Fine-grains from Pottery, Archaeometry, 13, 29-52.
- _____, 1979. Thermoluminescence techniques in archeology. Clarendon Press, Oxford.

ÖZGEÇMİŞ

1954 yılında Adana'da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi aynı ilde tamamladıktan sonra 1976 yılında Adana Eğitim Enstitüsü Akşam Programına girdim. 1979 yılında bu programdan Fen Bilimleri Öğretmeni olarak mezun oldum. Bu arada 1975-1986 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Elektrifikasyon Laboratuvarında teknik eleman olarak çalıştım. 1986 yılında Ceyhan Meslek Yüksekokulu'na Öğretim Görevlisi olarak atandım. 1989 yılında Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde Uzman olarak çalışmaya başladım. Halen aynı görevime devam etmekteyim. Evli ve 2 çocuk babasıyım.

