

**T.C**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**ARKEOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

**Yüksek Lisans Tezi**  
**Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı**  
**Kültür Varlıklarını Korum ve Onarım Programı**

**TRİPOLİS' TEN ALINAN TUĞLA NUMUNENİN EŞDEĞER**  
**DOZUNUN OPTİK UYARMALI LÜMİNESANS VE**  
**TERMOLÜMİNESANS YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ**

**Ömer Faruk ÖZLER**

Danışman  
**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Altay ATLIHAN**

**Mayıs 2019**  
**DENİZLİ**

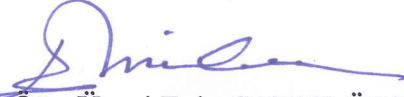
## YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Kültür Varlıkları Koruma Ve Onarım Anabilim Dalı, Kültür Varlıkları Koruma Ve Onarım Bilim Dalı öğrencisi Ömer Faruk ÖZLER tarafından Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Altay ATLIHAN yönetiminde hazırlanan “Tripolis’ten Alınan Tuğla Numunenin Eşdeğer Dozunun Optik Uyarmalı Lüminesans ve Termolüminesans Yöntemleriyle Belirlenmesi” başlıklı tez aşağıdaki jüri üyeleri tarafından 01.05.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Cemal PARLAK

**Jüri Başkanı**



Dr. Öğr. Üyesi Evin CANER ÖZGEL

**Jüri Üyesi**



Dr. Öğr. Üyesi M. ALTAY ATLIHAN

**Jüri Üyesi**

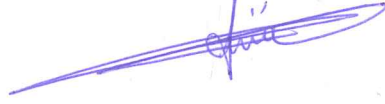
Pamukkale Üniversitesi Arkeoloji Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11.08.19 tarih ve 12/6 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Celal ŞİMSEK**  
**Müdür**



Bu tezin hazırlanması, yürütülmesi, deneysel işlemlerin yapılması ve bulguların analizinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atıfta bulunduğumu beyan ederim.

Ömer Faruk ÖZLER



## ÖNSÖZ

Tripolis antik kentinden alınan pişmiş tuğla parçasının eşdeğer dozunun optik uyarmalı lüminesans yöntemiyle belirleyen bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans Tezi Olarak yapılmıştır.

Yüksek lisans eğitimi boyunca çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Altay ATLIHAN' a, çalışmamıza katkı sağlayan sayın Prof. Dr. Niyazi MERİÇ' e, Sayın Doç. Dr. Eren ŞAHİNER' e, Sayın Doç. Dr. Bahadır DUMAN' a, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Evin CANER ÖZGEL' e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen Büşra YAYKIRAN, Esra YAYKIRAN, Fatma ÇİÇEK, Hasan H. AĞİLÖNÜ ve bana her zaman destek olan aileme teşekkür ederim.

Ömer Faruk ÖZLER

DENİZLİ, Mayıs 2019

## ÖZET

### TRİPOLİS ANTİK KENTİNDEN ALINAN TUĞLA PARÇASININ EŞDEĞER DOZUNUN OPTİK UYARMALI LÜMİNESANS YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

ÖZLER, Ömer Faruk

Yüksek Lisans Tezi  
Kültür Varlıkları Koruma ve Onarım Ana Bilim Dalı  
Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Programı

Tez Yöneticisi: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Altay ATLIHAN

Mayıs 2019, 45 Sayfa.

Arkeometri çalışmalarında, arkeolojik ve jeolojik örneklerin tarihlendirilmesinde lüminesans yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Tripolis Antik Kentinden alınan pişmiş tuğla numunenin eşdeğer doz değerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Tripolis antik kenti Denizli İli, Buldan İlçesi, Yenicekent Belediyesi sınırları içerisinde yaklaşık 3 kilometrelik bir alana yayılan antik kent Lykos (Çürüksu) Vadisi'nin kuzeybatı ucunda, vadiye hâkim bir tepenin güney yamacında yer alır.

Örneklerin tarihlendirilmesi için bulunması gereken büyüklüklerden birisi eşdeğer dozdur (ED). Lüminesans şiddetinin soğurulan radyasyon dozuyla ilişkili olması, bir malzemenin son sıfırlanma olayından sonra soğurduğu radyasyon dozunun (eşdeğer doz) belirlenmesine (ölçülmesine) olanak sağlar. Eşdeğer doz için yapılan temel işlem numunelerin gömü boyunca soğurduğu radyasyon şiddetini, laboratuvar ışınlamalarına karşılık gelen lüminesans sayımlarıyla ölçeklendirmektir. Numunenin gömü boyunca soğurduğu radyasyon miktarı olan eşdeğer dozu belirlemek için çok tablet ilave doz (MAAD), tek tablet yeniden oluşturma ilave doz (SARA) ve seçilmiş tabletleri yenileme (SeAR) yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirleri arasında değerlendirilmiştir.

Eşdeğer doz değerleri MAAD\_TL yönteminde  $9.96 \pm 0.81$  Gy, MAAD\_OSL yönteminde  $9.66 \pm 0.95$  Gy, SARA yönteminde  $8.89 \pm 0.60$  Gy, SeAR yönteminde  $8.81 \pm 0.70$  olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Radyasyon, Eşdeğer doz, Lüminesans, Tripolis Antik Kenti, Tarihlendirme

# ABSTRACT

## DETERMINATION OF EQUIVALENT DOSE OF THE BRICK PART OF THE TRIPOLIS ANTIQUE CITY WITH OPTICALLY STIMULATED LUMINESCENCE METHOD

ÖZLER, Ömer Faruk

Master Thesis

Conservation and Restoration of Cultural Heritage Department  
Conservation and Restoration of Cultural Heritage Programme

Adviser of Thesis: Assist. Prof. Dr. Mehmet Altay ATLIHAN

May 2019, 45 Pages

In archaeometry studies, luminescence methods are widely used for the dating of archaeological and geological samples. In this study, it is aimed to calculate the equivalent dose value of the cooked bricks piece taken from the ancient city of Tripolis. The ancient city of Tripolis is located on the southern slope of a hill, that is dominating the valley at the northwest end of the ancient city of Lykos ( Çürüksu) Valley, which spans an area of about 3 km within the borders of Yenicekent Municipality of Buldan district in Denizli Province.

One of the values that must be included in the dating of the samples is an equivalent dose (ED). The relevance of OSL severity to the absorbed radiation dose make possible the determination of the radiation dose (equivalent dose) absorbed by a material after the last reset event. The basic process for the equivalent dose is scaling to intensity of radiation absorbed by the samples through the burial by the luminescence counts corresponding to the laboratory irradiation. In order to determine the equivalent dose which is the amount of radiation that the sample absorbs throughout the burial, multiple tablet addition doses (MAAD), single tablet regeneration additional dose (SARA) and selected tablet replacement (SeAR) methods has been used. Obtained results has been evaluated among each other.

The values of equivalent dose has been calculated as  $9.96 \pm 0.81$  Gy in MAAD\_TL method,  $9.66 \pm 0.95$  Gy in MAAD\_OSL method,  $8.89 \pm 0.60$  Gy in SARA method and  $8.81 \pm 0.70$  in SeAR method.

**Key Words:** Radiation, Equivalent dose, Luminescence, Ancient City of Tripolis, dating

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	i
ETİK	ii
ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
GİRİŞ	1
Amaç, Kapsam, Yöntem	

## BİRİNCİ BÖLÜM KURAMSAL TEMELLER

1.1 Lüminesans Hakkında Genel Bilgi	6
1.2 Lüminesans Mekanizması	6
1.3 Tarihlendirmede Lüminesans	9
1.4 Termolüminesans (TL) ve Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL)	11

## İKİNCİ BÖLÜM MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Lüminesans Ölçümlerini Etkileyen Faktörler	14
2.2 Eşdeğer Doz (ED)	15
2.2.1 Çok Tablet İlave Doz Yöntemi (MAAD)	16
2.2.2 Tek Tablet Yeniden Oluşturma Yöntemi(SARA)	18
2.2.3 Seçilmiş Tabletleri Yenileme Yöntemi (SeAR)	21
2.3 Lüminesans Ölçüm Sistemi	22

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM DENEYSEL İŞLEMLER

3.1 Numunenin Toplanması ve Hazırlanması	26
3.1.1 Numunenin Araziden Alınması	26
3.1.2 Numunelerin Hazırlanması	27
3.2. Eşdeğer Doz (ED)	28
3.2.1.Çok Tablet İlave Doz Yöntemi (MAAD)	29
3.2.2.Tek Tablet Yeniden Oluşturma Yöntemi (SARA)	31
3.2.3. Seçilmiş Tabletlerle Yenileme Yöntemi (SeAR)	33
SONUÇ	32
KISALTMALAR DİZİNİ	37
KAYNAKÇA	39

ŞEKİLLER DİZİNİ	42
TABLOLAR DİZİNİ	43
RESİMLER DİZİNİ	44
ÖZGEÇMİŞ	45



# GİRİŞ

Tarihlendirme çalışmaları fiziğin, arkeolojinin ve jeolojinin temel ilgi alanları içindedir. Tarihlendirme çalışması yapılacak olan malzemenin en son gün ışığına maruz kalması veya en son ısıtılmasından günümüze kadar geçen sürenin belirlenmesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Organik numune üzerinde  $C^{14}$ , ağaç halkası sayımı, inorganik numunelerde elektron spin rezonans (ESR), lüminesans yöntemler gibi teknikler tarihlendirmede tercih edilirler. Tarihlendirmede kullanılan temel fiziksel yöntemlerden birisi de lüminesans yöntemlerdir. Lüminesans katılardan bir ışık yayılımı olayıdır.

Arkeolojik kazı yerlerinde organik ve inorganik malzemeler bulunur. Kazı çalışmalarının yapıldığı yerlerde inorganik malzeme bolca bulunduğu için bu tür malzemeler kullanılarak uygulanan yöntemler tercih edilmektedir. Bu tip yöntemler içerisinde lüminesans tarihlendirme yöntemi önemli bir yer tutmaktadır.

Çevredeki mineraller, toprakta doğal olarak bulunan radyoaktif elementlerden yayılan radyasyona maruz kalır ve kristal yapılarındaki tuzaklarda elektronlar birikir. Radyasyona maruz kalan feldspat, quartz gibi mineraller ısı veya ışık ile uyarıldığı zaman tuzaklarındaki elektronlar serbest kalarak ışık yayılımına neden olurlar. Bu ışık yayılımı olayına lüminesans denir. Uyarma sonucu gözlemlenen ışık şiddeti tuzaklarda birikmiş olan elektron sayısı ile, bu elektron sayısı minerallerin soğurduğu radyasyon dozuna bu doz da mineralin en son ışık veya ısı gördüğü andan uyarılıncaya kadar geçen süreyle orantılıdır. Bu sayede lüminesans şiddeti ile orantılı olan ve numunenin en son ısı veya ışığa maruz kaldığı andan günümüze kadar geçen sürede, soğurulan doz belirlenir. Belirlenen bu doz paleodoz, eşdeğer doz (ED) veya doğal doz olarak adlandırılır. Yıllık doz (YD) ise numunenin arazi şartlarında bir yılda soğurmuş olduğu doz miktarı ölçülerek bulunur. Sonuç olarak eşdeğer doz yıllık doza oranlanarak numunenin yaşı belirlenmiş olur<sup>1</sup>.

Gözlemlenen lüminesans, elektronların tuzaklanmasını sağlayan veya tuzaklardan elektronları sökmek için kullanılan kaynağa göre isimlendirilir.

---

<sup>1</sup> Aitken 1985.

Tuzaklardan elektron sökmek için ısı kullanıldığında termolüminesans (TL), ışık kullanıldığı zaman optik uyarımlı lüminesans (OSL) olarak adlandırılır.

Termolüminesans 1950'lerde radyasyon dozu ölçmek amacıyla kullanılmıştır<sup>2</sup>. Termolüminesans tekniği 1960'lı yıllarda büyük bir ilerleme göstererek tarihlendirme çalışmalarında da kullanılmaya başlamıştır. Termolüminesans tekniğinin temeli numunede soğurulmuş radyasyon dozunun bulunması prensibine dayanır. İyonize radyasyona maruz kalan katıda valans bandındaki elektronlar uyarılır, bunun sonucunda elektronlar tuzaklarda yakalanır. Isı ile uyarılma sonucu tuzaklarda yakalanan elektronlar serbest kalır. Serbest kalan elektronlar önce iletim bandına geçerler. İletim bandındaki elektronlar  $10^{-8}$  saniye gibi çok kısa bir sürede tekrar valans bandına geçmek isterler. Daha önceki uyarılma esnasında oluşan boşluklar ile birleşme noktasında bir araya gelerek bir enerji açığa çıkarırlar. Bu enerji foton olarak ortaya çıkar ve fotonun şiddeti ölçülerek soğurulan doz değeri hesaplanır<sup>3</sup>.

1985'te Huntley ve çalışma arkadaşları tarafından optik uyarımlı lüminesans tarihlendirme amacıyla kullanılmaya başlamıştır. İlk deneylerinde yeşil ışık kullanarak jeolojik bir örneği uyarılmışlar ve lüminesans sayımları elde etmişlerdir. Teknolojik ilerlemeler ile birlikte kullanılan diyotların gelişmesiyle optik uyarımlı lüminesans tekniğinin tarihlendirme çalışmalarında kullanımı artmıştır<sup>4</sup>.

Lüminesans yöntemler, arkeolojik bir yerleşim alanında çokça bulunan çanak, çömlek, tuğla ve yanmış taş parçalarının tarihlendirilmesi ile geçmişe dönük bilgilere ulaşılabilir iken, aynı şekilde kazı alanındaki çökel katmanları incelenerek jeolojik oluşum tarihleri belirlenebilir.

Bu tez çalışması, Denizli ili, Buldan İlçesi, Yenicekent Belediyesi sınırları içerisinde bulunan Tripolis Antik Kentinden alınan tuğla parçası üzerinde yapılmıştır (Resim 1). Yaklaşık olarak 3 kilometrelik alanı kapsayan antik kent Çürüksu (Lykos) vadisinin kuzeybatı uçunda tüm vadiye görebilen bir yamaçta yer almaktadır<sup>5</sup>. Çalışmada kullanılan pişmiş tuğla parçası Tripolis Antik Kenti doğu batı yönlü sütunlu caddenin güney portiğine ait kemer yıkıntısından alınmıştır (Resim2).

---

<sup>2</sup> Bøtter-jenson et al. 2003, 355.

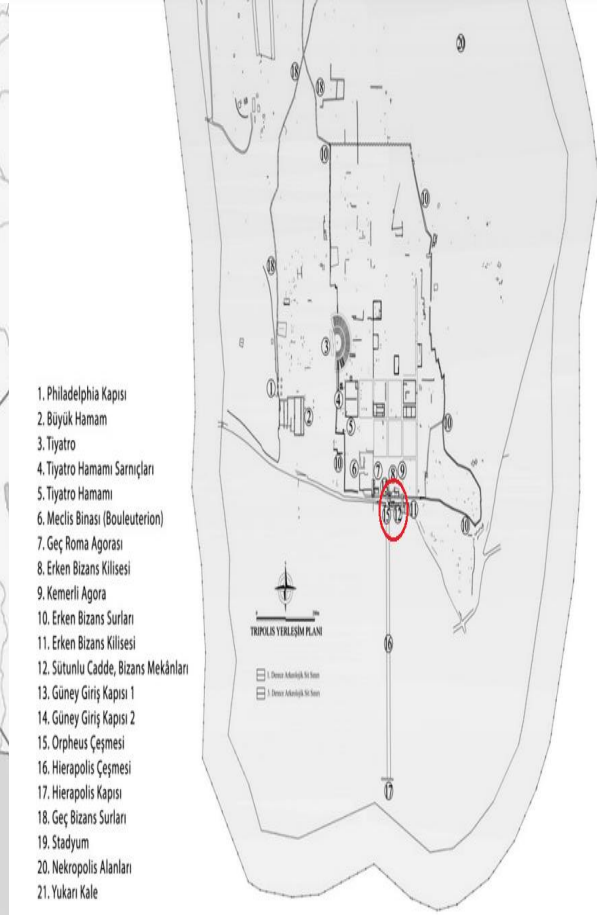
<sup>3</sup> Aitken 1985.

<sup>4</sup> Huntley et al.1985, 122-127; lang - Wagner 1996, 129-141; porat et al.1997,397-402.

<sup>5</sup> Duman 2013, 179-188.



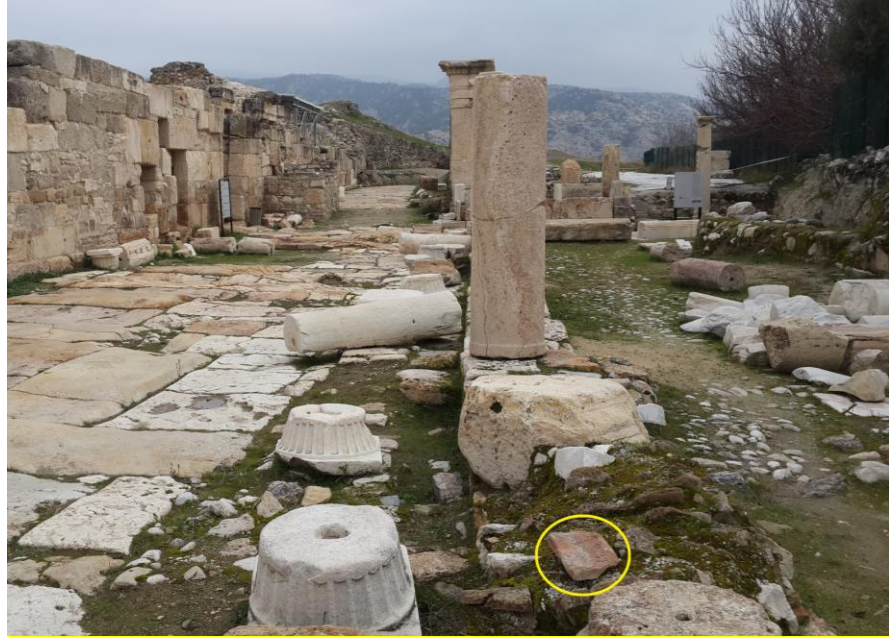
(a)



(b)

Resim 1 (a) Batı Anadolu haritası , (b) Tripolis yerleşim planı<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Duman 2013, 181-183.



Resim 2 Tripolis Antik Kenti sütünlu cadde ve tuğla numunenin arazideki yeri.

Tripolis Antik Kenti antik çağda Karia, Lydia ve Phrygia bölgelerinin sınır noktasında yer almaktadır. Bu konumu sayesinde büyük öneme sahiptir. Şehir Roma Döneminde büyük ilerleme kaydetmiştir<sup>7</sup>. Antik kentin kuruluşu hakkında farklı görüşler mevcuttur. Bir araştırmaya göre şehir M.Ö. 3. yüzyılda kurulduğu ileri sürülürken, başka bir araştırmanın sonucuna göre şehir M.Ö. 160- 159 yıllarında kurulduğu ileri sürülmektedir. Kent en parlak dönemini Roma Döneminde yaşadığı yüzey çalışmalarında elde edilen kalıntılardan da anlaşılmaktadır<sup>8</sup>.

Çalışmamızda Tripolis Antik Kentinden alınan tuğla numunenin lüminesans tarihlendirme yöntemleri uygulayarak eşdeğer doz değerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Eşdeğer doz tespiti için MAAD, SARA ve SeAR yöntemleri kullanılmıştır.

Tezin birinci bölümünde lüminesans hakkında temel bilgiler verilmiş, oluşum mekanizması, termolüminesans ve optik uyarımlı lüminesans tekniklerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde eşdeğer dozu belirlemek için kullanılan Çok Tablet İlave Doz (MAAD), Tek Tablet Yeniden Oluşturma İlave Doz (SARA), Seçilmiş Tabletleri Yenileme (SeAR) yöntemleri ve lüminesans ölçüm sisteminden bahsedilmiştir. Üçüncü

<sup>7</sup> Dokuzboy 2010, 2-6.

<sup>8</sup> Duman 2013, 182.

bölümde kazı alanından alınan tuğla numune üzerinde yapılan deneysel işlemler açıklanmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonuç bölümünde kullanılan numunenin farklı yöntemlerle ölçülen eşdeğer doz büyüklükleri karşılaştırılmıştır.

# BİRİNCİ BÖLÜM

## KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde lüminesans oluşumu enerji-band modeli kullanılarak anlatılacak ve tarihlendirmede kullanılan lüminesans teknikleri hakkında bilgi verilecektir.

### 1.1 Lüminesans Hakkında Genel Bilgi

Lüminesans, uyarılmış olan atom veya moleküllerin taban durumuna geçerken yayınlamış oldukları bir elektromanyetik dalgadır. Radyasyona maruz kalmış atom veya molekül kararsız durumdadır ve temel duruma geçerek kararlı hale gelmek ister. Taban durumuna geçerken bir ışık yayılır ve bu yayılıma lüminesans ( ışıldama, parıldama) denir. Yayımlanan bu ışık maddenin karakteristiği hakkında bilgi verir. Atom veya molekülün uyarılması için gerekli olan enerji çeşitli kaynaklardan sağlanabilir. Örneğin; gerekli enerji elektrot tepkimesinden sağlanıyor ise elektrolüminesans, kimyasal bir tepkimeden sağlanıyor ise kemilüminesans, radyoaktif ışıklardan sağlanıyor ise fotolüminesans olarak isimlendirilir.

Lüminesans, bozunma süresine bağlı olarak floresans (bozunum süresi  $10^{-8}$  den küçük) ve fosforesans (bozunum süresi  $10^{-8}$  s den büyük ) olarak adlandırılır<sup>9</sup>.

### 1.2 Lüminesans Mekanizması

Lüminesans olayını anlatmak için enerji band modelinden faydalanabiliriz<sup>10</sup>. Kusursuz iyonik kristal bir yapı özdeş yapı taşlarının uzayda düzenli bir şekilde dizilimiyle pozitif ve negatif yüklerden oluşmaktadır<sup>11</sup>. Bu dizilimde bazı kusurlar oluşabilir. Bu kusurlara bir atom veya iyonun yerini terk etmesi sonucu, örgü noktasını başka bir atomun işgal etmesi, örgü içine yabancı bir atomun gelmesi, bir örgü

---

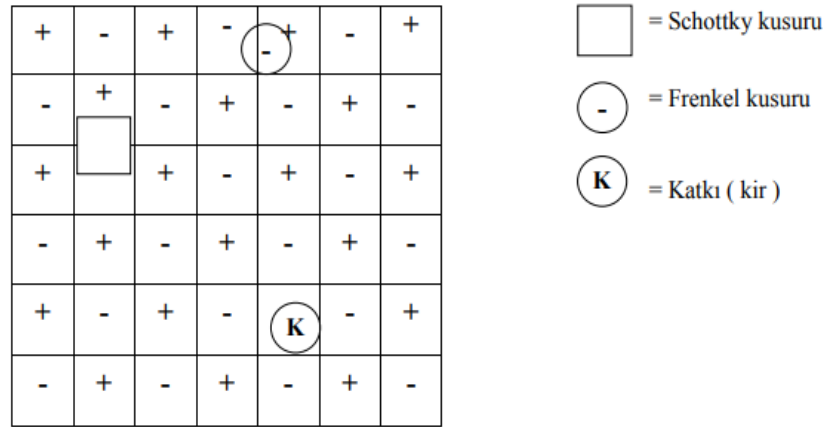
<sup>9</sup> Serway 1996, 343.

<sup>10</sup> Zhong et. al. 1993, 287-291.

<sup>11</sup> Kittel 1996, 434.

noktasında birden fazla atomun bulunması veya birden fazla boşluk olması örnek olarak verilebilir (Şekil 1.1).

Bohr atom modeline göre atom çekirdeğinin etrafında dönen elektronların belli enerji seviyelerinde bulunma olasılığı vardır. Bu enerji seviyelerinin dışındaki alanlar elektron için yasaklanmıştır. Bir katıda birbirleri ile bir bağa sahip olan atomların birbirleri üzerinde belli bir etkileri vardır. Atomları bir arada tutan bu kuvvet atomların hareketlerini de etkilemektedir. Bu etkileşim atomdaki enerji seviyelerinin oluşumuna sebep olmaktadır. Bu enerji seviyeleri ile ilişkili olan ve lüminesans olayını açıklamada sıklıkla kullanılan band modeli şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 1.2).

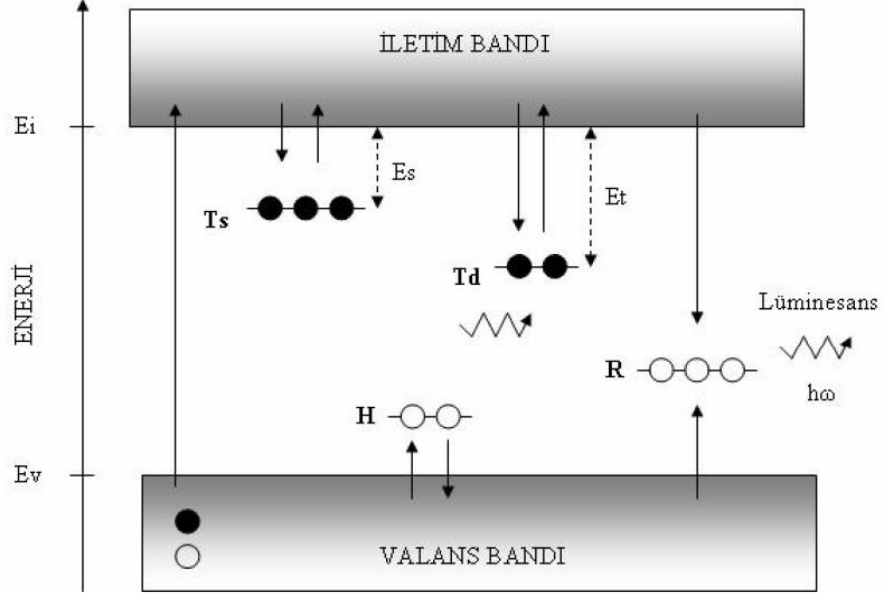


Şekil 1.1 Değişik tipte kristal kusurları<sup>12</sup>.

Band modeline göre kristal yapıda valans (temel seviye) ve iletim bandı olarak adlandırılan iki band bulunur. Bu iki band elektronlar için izinli enerji durumları olarak bilinir ve yasaklanmış enerji aralığının araya girmesiyle ikiye ayrılır. Valans bandı izin verilen enerji seviyesinin en düşüğüdür. Valans bandındaki en yüksek enerji seviyesi  $E_v$  ile ifade edilir. Elektronlar en düşük enerji seviyesine sahip bandı doldurmaya meyilli oldukları için valans bandı elektronlar ile tamamen doludur. İletim bandı izin verilen enerji seviyelerinin en üstüdür. İletim bandının en düşük enerji seviyesi  $E_i$  ile verilir, iletim bandındaki elektronlar dış bir elektriksel alanın etkisiyle hareket edebilirler.

<sup>12</sup> Atlıhan 2008, 7.

İletim bandı ile valans bandı arasındaki enerji farkı  $E_g = E_i - E_v$  ile hesaplanır ve bu sayede valans bandındaki bir elektronu ayırmak için gerekli olan enerji bulunmuş olur.



Şekil 1.2 Band modeline göre lüminesans mekanizmasının enerji diyagramı<sup>13</sup>.

Valans bandında bulunan elektronlar (siyah nokta) dışarıdan bir radyasyona maruz kaldığında enerji kazanarak iletim bandına çıkar. Elektronların ayrılmış olduğu valans bandında boşluklar (beyaz nokta, holl, deşik) oluşur. Bu boşluklar (H) valans bandından ayrılarak lüminesans merkezine taşınırlar. Bu sırada İletim bandına çıkan elektronlar bir süre sonra tekrar valans bandına dönmek için harekete geçerler. Bu esnada elektronlar yasak enerji aralığında bulunan tuzaklarda yakalanabilirler ( $T_s$ = sığ tuzak,  $T_d$ = derin tuzak). Elektronların tuzaklarda kalma süreleri tuzak derinliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Tuzaklarda biriken elektronlar ışık, ısı gibi bir dış etki sonucunda tuzakları terk ederek iletim bandına çıkarlar. Burada belli bir süre kaldıktan sonra tekrar valans bandına doğru ilerlerler ve valans bandının yakınında bulunan boşluklarda (R) yakalanırlar. Bu boşluklarla elektronların birleşmesi gerçekleştikten sonra elektronlar tekrar valans bandına inerler. Bu sırada bir ışık yayınlanırlar<sup>14</sup>. Yayımlanan bu ışığa lüminesans denir. Tuzaklanmış olan elektronları

<sup>13</sup> Doğan 2010, 8.

<sup>14</sup> Aitken 1985.



uyarmak için dış etken (uyarıcı) olarak ışık kullanılıyorsa oluşan lüminesans optik uyarmalı lüminesans, ısı kullanılırsa termolüminesans olarak isimlendirme yapılır.

Elektronun tuzakta geçirmiş olduğu süre “ortalama ömür” olarak adlandırılır.

Ortalama ömür( $\tau$ ):

$$\tau = \frac{1}{s} \exp\left(\frac{E}{kT}\right) \quad (1.2)$$

denklemleri ile verilir<sup>15</sup>. Bu denklemlerde:

s: frekans çarpanı

E: tuzak ile iletim bandı arasındaki enerji farkı

k: boltzman sabiti

T: lüminesansın görüldüğü sıcaklık

Lüminesans enerji seviyelerinde, örgüsel titreşimlerin sebep olduğu bazı ışımasız geçişler de gerçekleşebilir. Bu durumda meydana gelen enerji farkı ısı olarak ölçülebilir. Örgüsel titreşimlerin sebep olduğu bu geçişler lüminesans verimini olumsuz etkiler<sup>16</sup>.

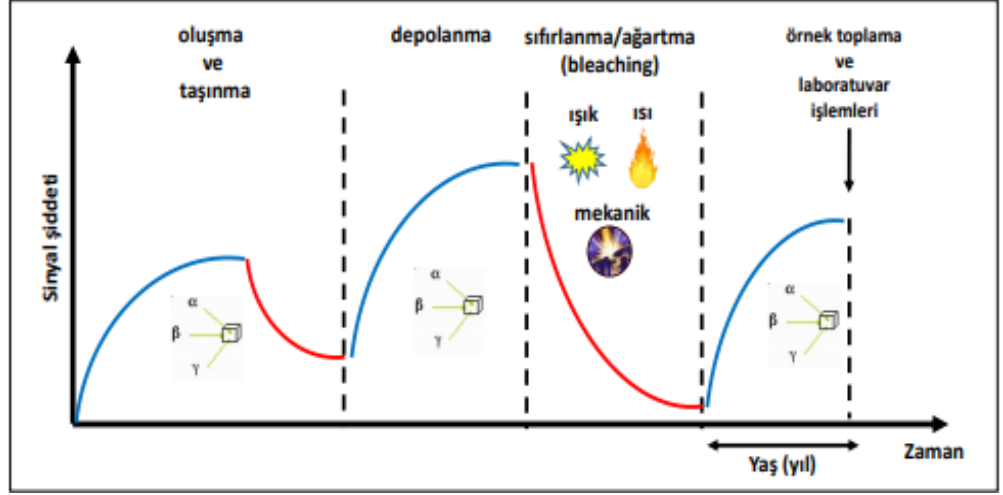
### 1.3 Tarihlendirmede Lüminesans

Yeterince ısı ya da ışığa maruz kalan malzemelerin elektronlarla dolu olan tuzakları boşalarak lüminesans saati sıfırlanmış olur. Lüminesans saatinin doğa koşullarında işleyişi ile ilgili bir gösterim yer almaktadır (Şekil 1.3).

---

<sup>15</sup> Fleming1979, 215; aitken 1985.

<sup>16</sup> Atlıhan 2008,8-11.



Şekil 1.3 Doğada lüminesans saatinin sıfırlanması ve tekrar çalışması<sup>17</sup>.

Arkeolojik bir eserin lüminesans saati yapımı esnasında ısıya maruz kalmasıyla, jeolojik numunenin lüminesans saati ise numunenin bir noktadan başka bir noktaya jeolojik oluşumlarla taşınması esnasında gün ışığıyla sıfırlanır. Malzeme toprağa gömülü olduğu süre boyunca, tuzakları çevreden gelen radyasyon ile orantılı olarak dolmaya devam eder. Bu sayede lüminesans saati doğa koşullarında çalışmaya başlar. İncelenmek istenen arkeolojik veya jeolojik malzemenin laboratuvar ortamında uyarıcı bir kaynak ile tuzaklarında biriken elektronlar uyarılır. Bu sayede tuzaklar boşalırken elde edilen lüminesansın şiddeti numunenin lüminesans saatinin sıfırlandığı andan itibaren tuzakların uyarılma anına kadar ki soğurulan radyasyon doz değeri ile ilişkili olur. Soğurulan bu doz değerine eşdeğer doz denir.

Yaş tayini için önemli olan başka bir büyüklük de yıllık doz (doz hızı) (YD) değeridir. Yıllık doz değerinin tespiti için incelenecek numunenin çevresindeki doğal radyoaktif elementler ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ) ve kozmik ışınlardan bir yılda soğurmuş olduğu radyasyon miktarı belirlenmelidir. Belirlenmiş olan yıllık doz değeri malzemenin gömülü kaldığı sürede sabit olduğu kabul edilir ve numunenin yaşı aşağıdaki eşitlikten faydalanılarak hesaplanır.

$$Yaş = \frac{Eşdeğer Doz (ED)}{Yıllık Doz (YD)} \quad (1.3)$$

<sup>17</sup> Şahiner 2015, 55.

Numunenin yaşı eşdeğer doz değerinin yıllık doz değerine oranlanması ile bulunur<sup>18</sup>. Numunenin en son ısı veya ışığa maruz kaldığı andan itibaren gün yüzüne çıkarılıncaya kadar geçen süre yaş olarak tanımlanır.

#### 1.4 Termoluminesans (TL) ve Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL)

TL tarihlendirme çalışmaları ile ilgili bilimsel toplantılar, konferanslar ve yayımlar 1977 yılından sonra ilerleme göstermiştir<sup>19</sup>. TL tarihlendirme çalışmalarında kullanılan cihazlar teknolojinin ilerlemesiyle daha verimli hale getirilerek günümüzdeki halini almıştır.

TL tarihlendirmede kullanılmak için geliştirilen ve günümüzde hala kullanılmaya devam eden kuvars inklüzyon tekniği<sup>20</sup>, ince tanecik tekniği<sup>21</sup>, ön doz tekniği<sup>22</sup>, eleme tekniği<sup>23</sup> (subtraction), zirkon tarihlendirme tekniği<sup>24</sup> gibi birçok deneysel işlem sıklıkla kullanılmaktadır.

TL deneylerinde örnekler sabit bir hızla belli bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Isıtma sonucu TL sinyali sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilir<sup>25</sup>. Bunun sonucunda ısı eğrisi çizilir. Isı eğrisinde herhangi bir sıcaklık değerine karşılık gelen lüminesans şiddetinin diğerlerinden farklı olması o sıcaklık değerinde boşalan tuzak sayısının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Isı eğrisinde farklı sıcaklık değerlerine karşılık gelen birçok tepe noktası vardır. Bir feldspat numunesine ait ısı eğrisindeki tepe noktaları görülmektedir (Şekil 1.4).

Isı eğrisinde çeşitli tepe noktalarının var olmasının nedeni gerçekleşen lüminesans olayına farklı derinlikteki tuzakların katkıda bulunmasıdır. Derinliği fazla olan bu tuzakları yeterince boşaltmak için gerekli olan enerji artacağından daha fazla ısıya ihtiyaç duyulur. Bazen derin tuzakları boşaltmak için ısı yetersiz olduğunda gerekli olan enerjinin bir kısmı da ışıktan sağlanabilir. Uyarıcı olarak kullanılan ışık

---

<sup>18</sup> Aitken 1985.

<sup>19</sup> Strebler 2013, 65.

<sup>20</sup> Fleming 1966, 170-173.

<sup>21</sup> Zimmerman 1967, 26-28.

<sup>22</sup> Fleming 1973 a, 13-30.

<sup>23</sup> Fleming 1973 b, 229-239.

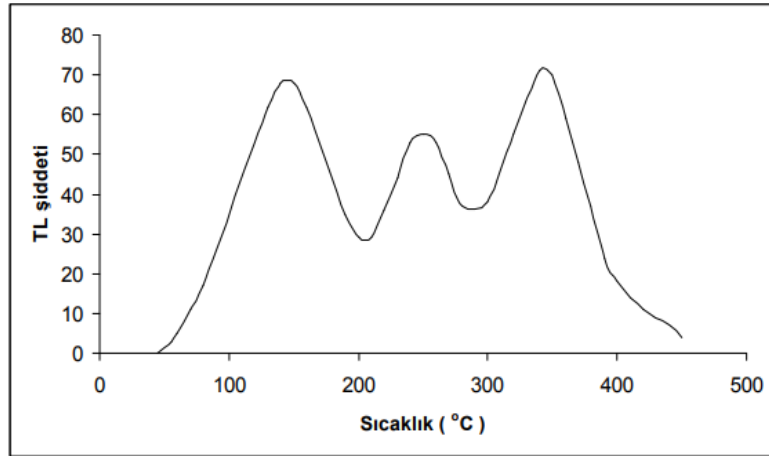
<sup>24</sup> Sutton-zimmerman 1976, 125-134.

<sup>25</sup> Akpınar 1971, 48.

fotonlarının enerjisi ( $\epsilon$ ) ışığın dalga boyu ( $\lambda$ ) ile ters orantılıdır (h: planck sabiti, c: ışık hızı). Bu sayede ışık kaynağının dalga boyunu değiştirerek farklı derinlikteki tuzakları uyarabiliriz.

$$\epsilon = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.4)$$

Sığ (kararsız) tuzaklarda biriken elektronlar oda sıcaklığı gibi düşük sıcaklıklarda bir uyarıcı olmadan kendiliğinden tuzaklardan çıkabilirler. Kendiliğinden boşalan kısa ömürlü bu tuzaklardaki elektronlar yanılmaya sebep olacağından termoluminesans çalışmalarında 300 °C ya da daha yüksek sıcaklıklardaki tepe noktaları kullanılır<sup>26</sup> (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 TL ışınma eğrisi<sup>27</sup>.

OSL tarihlendirme tekniği hakkındaki ilk çalışma Huntley tarafından 1985 yılında minerallerin en son ışığa maruz kaldığı zamanı belirlemek amacıyla yayınlanmıştır<sup>28</sup>.

Optiksel uyarılma ile lüminesans, yasak enerji aralığındaki tuzaklarda tuzaklanmış olan elektronların ışığa maruz bırakılması sonucunda gerçekleşir. OSL sinyalinin şiddeti uyarılma süresine bağlı olarak azalmaktadır. OSL şiddetinin uyarılma

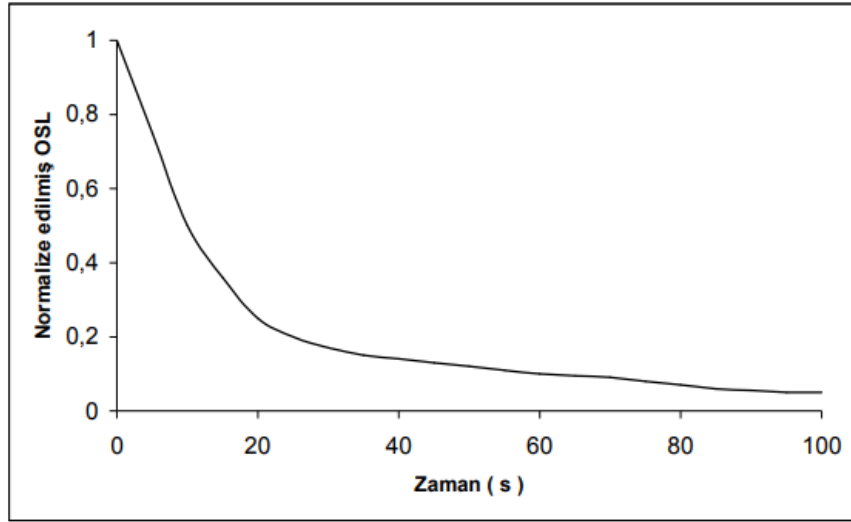
<sup>26</sup> Fleming 1979, 212; Wintle 1997, 769-817.

<sup>27</sup> Bøtter-Jensen 2000, 13.

<sup>28</sup> Huntley 1985, 122-127.

süresinin bir fonksiyonu olarak elde edilmesi ile bozunum eğrileri oluşturulabilir (Şekil 1.5).

OSL çalışmalarında kullanılan ışığın dalga boyunun değişmesine bağlı olarak ışığın enerjisi değişir (Denklemler 1.4). Dalga boyunun değiştirilmesiyle uyarıcı ışığın enerjisi ve rengi değişir. Bu renk değişiminden dolayı OSL' nin ismi uyarıcı olarak kullanılan ışığa göre farklılaşır. Kırmızı ışık IRSL ( Infrared stimulated luminescence ), mavi ışık BLSL ( Blue light stimulated luminescence ), yeşil ışık kullanıldığı zaman GLSL ( Green light stimulated luminescence ) adlandırmaları yapılır<sup>29</sup>.



Şekil 1.5 OSL bozunum eğrisi<sup>30</sup>.

OSL bozunum eğrisi oda sıcaklığında sağlanmış ise örnekler ısı ile uyarda karşılaştığımız yapısal bozulmalara uğramaz. Bu olumlu sonuç sayesinde aynı örnek üzerinde farklı ışık kaynakları kullanılarak sayım işlemi yapılabilir<sup>31</sup>.

<sup>29</sup> Watanuki - tsukamoto 2001, 841-85; Watanuki et al. 2005, 774-789.

<sup>30</sup> Bøtter-Jensen 2000, 38.

<sup>31</sup> Bøtter-jensen et al. 2003, 355.

# İKİNCİ BÖLÜM

## MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde lüminesans ölçümlerini etkileyen faktörler, eşdeğer doz ölçüm yöntemleri, TL ve OSL sistemleri ile ilgili ayrıntılar anlatılacaktır.

### 2.1 Lüminesans Ölçümlerini Etkileyen Faktörler

Lüminesans tarihlendirme yöntemlerinde malzemenin yaşını bulmak için temel olarak yapılan işlemler eşdeğer doz ile yıllık doz değerlerinin belirlenmesidir. Eşdeğer doz değerinin tespit edilmesinde çalışma ortamındaki ışık koşulları, örneklerle uygulanan ön ısıtma, uyarma süresi ve OSL doz cevap eğrileri önemli parametrelerdir.

#### *Çalışma ortamındaki ışık koşulları;*

Numunelerin ışığa olan duyarlılığı, lüminesans saatinin sıfırlanmasına neden olarak yaşın hesaplanabilmesinde olumlu bir etki sağlamasına rağmen, malzemenin araziden alınıp lüminesans sayımı yapılmaya kadar geçen zamanda ışık görmesi tuzakları uyararak numunenin eşdeğer dozunda değişikliğe neden olur. Bundan dolayı araziden toplanma ve laboratuvar çalışması esnasında yüksek enerjili ve şiddetli ışık kaynaklarının numuneye etki etmesi engellenmelidir. Ortam aydınlatılmasında düşük şiddetli ve enerjili kırmızı ışık kaynağı tercih edilmelidir.

#### *Ön ısıtma;*

Bazı tuzaklarda lüminesans olayı, tetikleyici bir unsur olmadan kendiliğinden gerçekleşebilir. Uyarıcı olmadan kendiliğinden boşalan tuzaklara sığ (kararsız) tuzaklar denir. Sığ tuzakların bozunun eğrisine yapmış olduğu katkılar ortadan kaldırılarak lüminesans sayımları daha güvenilir hale getirilmelidir<sup>32</sup>. OSL tekniğinde kararsız tuzakların lüminesans sayımlarına etkisini ortadan kaldırmak için ölçümlerden önce numunelere ön ısıtma uygulanır. Bu sayede sığ tuzaklar boşaltılmış olur. TL tekniğinde

---

<sup>32</sup> Wintle-Murray 1998, 81-94.

kararsız tuzakların etkisini ortadan kaldırmak için ön ısıtma işlemi yapılmaz. Bunun yerine TL ısı eğrisinden yararlanarak kararsız tuzaklara ait olan pik değerleri hesaplamalarda kullanılmaz.

*Uyarma süresi;*

OSL tekniğinde uyarma süresi boyunca dolu tuzaklar boşaldığı için OSL eğrileri zamana bağlı olarak sifira yaklaşmaktadır. OSL ölçümlerinde tuzakların tamamına yakını boşaltmak için numuneden numuneye değişebilen farklı uyarma süreleri seçilmektedir.

*OSL doz cevap eğrisi;*

Malzemenin soğurmuş olduğu radyasyon miktarına karşılık OSL şiddetini gösteren eğriye doz cevap eğrisi denir<sup>33</sup>. Doz cevap eğrisinde dolu tuzakların boşalmasına karşılık gelen düzgün bir artış bölgesi olmasına rağmen bu artışın son bulunduğu sınır noktası vardır. Bu sınıra doyum noktası denir. İyi bir ölçüm için doğal dozun ve yapay yaşlandırmada kullanılan radyasyon miktarlarının doyum noktasını geçmemesi beklenir.

## **2.2 Eşdeğer Doz ( ED)**

Numunenin yaşını belirlemek için bulunması gereken değerlerden birisi eşdeğer dozdur. Soğurulan doz ile lüminesans arasındaki ilişki, malzemenin lüminesans saatinin sıfırlanmadan sonra tekrar çalışmaya başladığı andan itibaren soğurmaya başladığı dozun belirlenmesine olanak sağlar. Eşdeğer doz değerinin bulunabilmesi için öncelikle numunenin gömülü kaldığı süre boyunca soğurduğu doğal doz değerine karşılık gelen lüminesans şiddeti ölçülür. Daha sonra laboratuvar ortamında yapılan dozlama işlemlerinden elde edilen lüminesans sayımları kullanılarak eşdeğer doz bulunur.

Eşdeğer doz değerinin belirlenmesinde çalışılan minerale bağlı olarak bazı sorunlarla karşılaşılacağı belirtilmiştir. Bunlardan ilki anormal sönüm etkisidir ve

---

<sup>33</sup> Aitken 1985.

volkanik kayalardan ayrıştırılan feldspat mineralinde 1973 yılında gözlemlenmiştir<sup>34</sup>. Bir diğeri, mineralin yapay yaşlandırmaya karşılık lüminesans sayımlarının düşük doz değerlerinde doğrusallıktan sapmadır<sup>35</sup>.

İyonize radyasyona maruz kalan nesnelere enerji soğurma hızları farklılık gösterir. Bu nedenle farklı maddelerin iyonlaşması ile enerji soğurulmasını tanımlamada bir sabitin olması gerekmektedir. Bu sabit soğurulan doz olarak adlandırılır ve maddenin birim kütle başına iyonlaştırıcı radyasyon tarafından verilen enerjinin büyüklüğüdür. Soğurulan doz için SI birimi gray ( Gy) dir ve kilogram başına madde tarafından 1 joule' lük enerji soğurması olarak tanımlanır<sup>36</sup>.

Bu tez çalışmasında eşdeğer doz değerinin belirlenmesi için çok tablet ilave doz, tek tablet yeniden oluşturma ilave doz, seçilmiş tabletleri yenileme yöntemi kullanılarak eşdeğer dozlar değerlendirilmiştir.

### **2.2.1 Çok Tablet İlave Doz Yöntemi (MAAD)**

MAAD yönteminde doğal doz değerinin tespiti için üzerine toz haldeki numunenin yerleştirildiği çok sayıda küçük metal diskler hazırlanır ve gruplara ayrılır. İlk grup doğal doz değerini belirlemek için kullanılır. Diğer gruplara ek dozlar eklenerek yapay olarak yaşlandırılır. Ek doz büyüklükleri ile lüminesans şiddetleri ölçeklendirilir. Doğal doz değerine karşılık gelen lüminesans şiddeti ( ilk grubun) kullanılarak eşdeğer doz bulunur.

DeneySEL işlemler için hazırlanmış olan diskler homojen değildir. Bu nedenle aynı gruptaki disklerin lüminesans sayımlarında büyük farklılıklar olabilir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için disklere normalizasyon işlemi yapılması gerekmektedir<sup>37</sup>. Normalizasyon işlemi için disklere çok kısa süreli ( 0,1-0,5 s) bir uyarma ile OSL sayımları yapılır. Uyarma ile elde edilen sayımları aşağıdaki denklemlerde kullanarak her bir disk için normalizasyon faktörü belirlenir.

---

<sup>34</sup> Wintle 1973, 143-144.

<sup>35</sup> Fleming 1975, 91-95; Bowman 1975, 129-132.

<sup>36</sup> Krane 2001, 404-500.

<sup>37</sup> Aitken 1998, 93-97; Atlıhan 2008, 26-27.



$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=0}^n N_i}{n} \quad (2.1)$$

$$F_i = \frac{\bar{N}}{N_i} \quad (2.2)$$

$$L_i = F_i \cdot S_i \quad (2.3)$$

i: disk numarası (1.2.3...)

n: toplam disk sayısı

$\bar{N}$ : disklerin normalizasyon sayımlarının ortalaması

$N_i$ : i' inci disk için normalizasyon sayımı

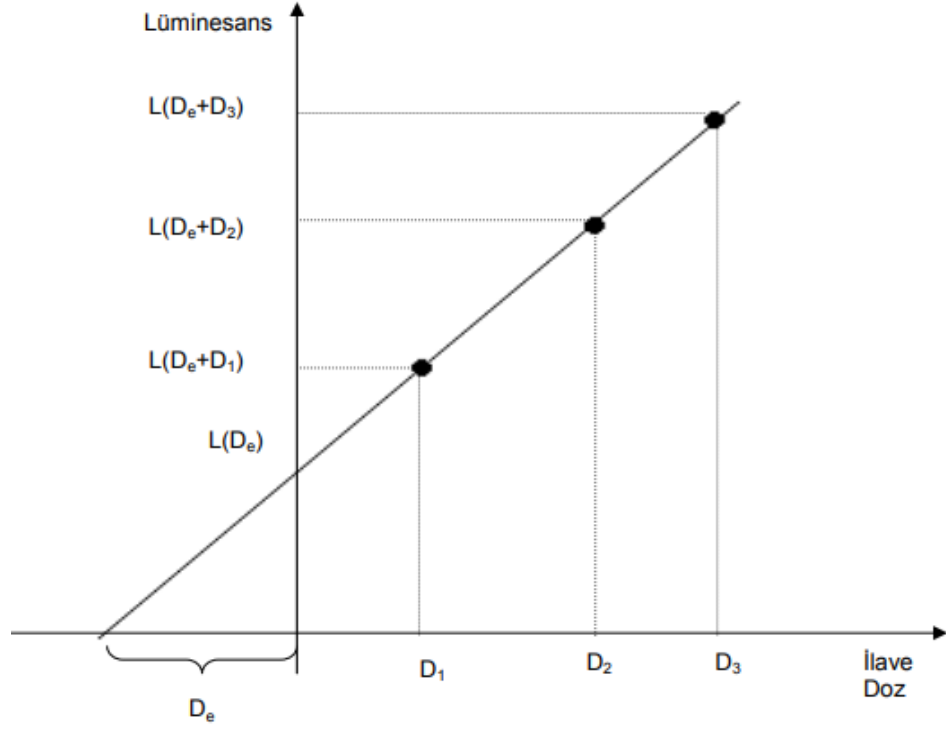
$F_i$ : i' inci disk için normalizasyon katsayısı

$S_i$ : i' inci disk için normalize edilmemiş lüminesans sayımı

$L_i$ : i' inci disk için normalize edilmiş lüminesans sayımı

Deney için hazırlanan her bir disk için normalize edilmiş doğru sayım değeri, normalizasyon faktörü ile lüminesans sayımının çarpımı sonucunda hesaplanır.

Çok tablet ilave doz yöntemi için hazırlanan diskler gruplara ayrıldıktan sonra disklerin özdeş hale getirilmesi için ön ısıtma ve normalizasyon işlemleri uygulanır. Doğal doz (eşdeğer doz) değerini hesaplamak için bir grup hariç diğer grup disklere farklı büyüklükte doz ( $D_1, D_2, D_3, \dots$ ) ilave edilerek yapay olarak yaşlandırılır. İlave doz işlemi yapılmayan gruptaki diskler yalnız eşdeğer doza ( $D_0$ ) sahip olarak bırakılır. Daha sonra bütün disklere ön ısıtma işlemi uygulanır ve lüminesans sayımları yapılır. Yapay olarak yaşlandırmaya karşılık gelen sayım değerleri arasındaki ilişki çizilir (Şekil 2.1). En uygun doğru denklemi, elde edilen noktalar yardımı ile çizilir. Doğrunun ilave doz eksenini kesmiş olduğu nokta bize eşdeğer doz değerini verir.



Şekil 2.1 MAAD yöntemiyle eşdeğer doz hesabı için ilave dozlar ile lüminesans sayımları arasında çizilen grafik<sup>38</sup>.

(  $L(D_e)$ ,  $L(D_e+D_1)$ ,  $L(D_e+D_2)$ ,  $L(D_e+D_3)$  ) sırasıyla Eşdeğer doza, birinci ikinci, üçüncü ilave doz değerlerine karşılık gelen lüminesans sayımları.

### 2.2.2 Tek Tablet Yeniden Oluşturma İlave Doz Yöntemi (SARA)

Klasik SAR yönteminde tek bir disk üzerinde yapay yaşlandırma yapılmadan ön ısıtma ve lüminesans sayımı yapılır. Ölçümde elde edilen sayımlar doğal doz değerine ( $D_e$ ) karşılık gelir. Ölçüm sonunda disk sıfırlanmış olur ve laboratuvar ortamında yapay dozlama işlemi yapıldıktan sonra ön ısıtma ve lüminesans sayımı yapılır.

Klasik SAR yöntemi, birçok bilim insanı tarafından feldspat ve kuvars minerali içeren örneklerde kullanılmıştır<sup>39</sup>. Bu yöntemde lüminesans ölçümlerinin ısıtma adımlarına bağlı lüminesans sayımlarında değişim gözlemlenmiş ve bu etkiyi ortadan

<sup>38</sup> Atlıhan 2008, 28.

<sup>39</sup> Duller 1991, 371-378; Galloway 1996, 103-106; Murray et al. 1997, 171- 184.

kaldırmak için “Tek Tablet Yeniden Oluşturma İlave Doz Yöntemi” (SARA) önerilmiştir<sup>40</sup>.

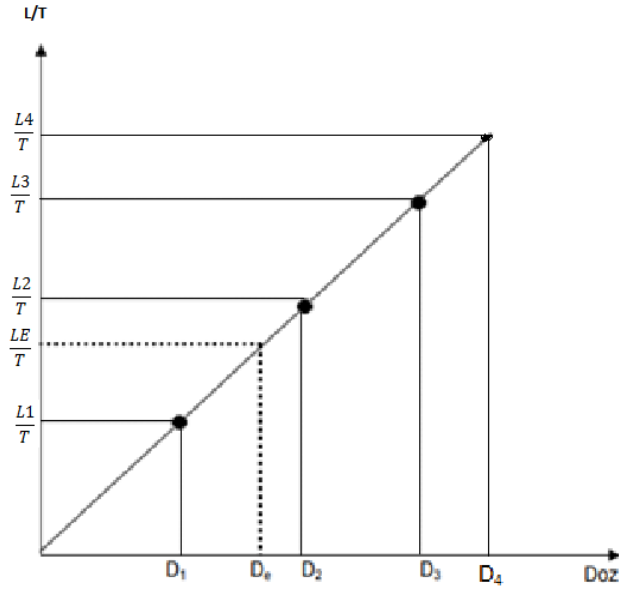
Avusturya bölgesinde bulunan kuvarslar kullanılarak yapılan bir araştırmada başka bir doz yenileme yöntemi önerilmiş ve bu yöntemde 0.01- 100 Gy arasındaki dozlar için 160-300 °C arasındaki 10 saniyelik ön ısıtmaya bağlı hassaslık değişimi düzeltilmiştir<sup>41</sup>. Bu yöntemde uyarmayı 125 °C’ de 100 saniye boyunca mavi ve yeşil ışık kullanarak yapmışlardır. 110 °C de mutlak hassaslık değişiminin kuvars mineralinin termoluminesans pikindeki hassaslık değişimine benzediğini, OSL ve TL doz yenileme döngüsü için lineer olmadığını belirtmişlerdir. Fakat bu iki teknikten elde edilen lüminesans sinyalleri karşılaştırıldığında OSL için lineer olduğu gözlenmiş ve her iki sinyalin aynı lüminesans merkezinde gerçekleşebileceği varsayımı ortaya atılmıştır. Bu yüzden kuvars mineraline ait OSL okumalarının 110-125 °C arasında ısıtılarak yapılması önerilmiştir. İlerleyen yıllarda farklı kuvars minerali ile geliştirilmiş tek tablet yeniden oluşturma yöntemini kullanılarak lüminesans tarihlendirme yapılmıştır<sup>42</sup>. Bu çalışmada hassaslık değişimini her doz okumasından sonra test dozu uygulayarak düzeltmişlerdir. Test dozu okumasında örneğe direk bir ısı işlemi ( kesme ısısı) uygulanmıştır.

---

<sup>40</sup> Mejdahl et al. 1994, 551-554.

<sup>41</sup> Murray- Robert 1998, 503-515.

<sup>42</sup> Murray- Robert 2000, 57-73.



Şekil 2.2 SARA yöntemine ait doz cevap grafiği (L: lüminesans sayısı, T: test dozu)

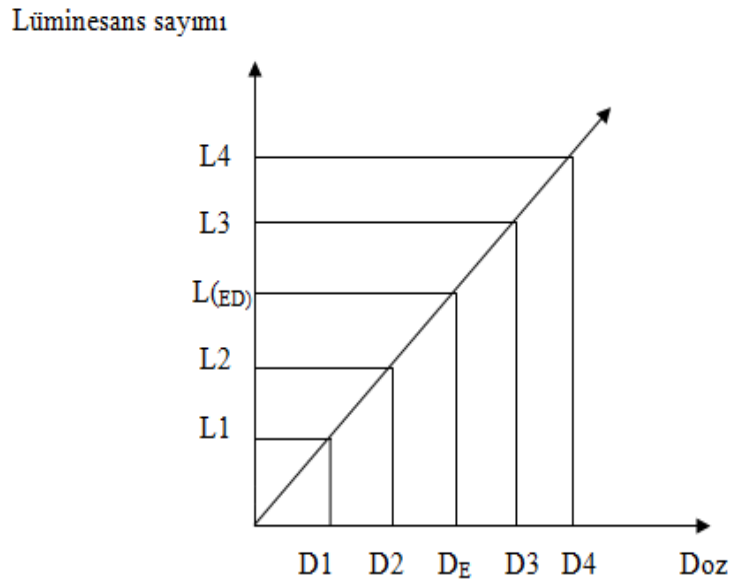
SARA yönteminde çok sayıda disk deneysel işlemler için seçilir. İşlem döngüsünün ilk basamağında dozlama yapılmadan ( $D_e$ ) diskler üzerinde OSL sayımları yapılır (LE). Sonrasında test dozu ile yapay dozlama ve kesme ısı (ön ısıtma) uygulanarak OSL ölçümü (T) tekrarlanır. Bu şekilde ilk döngü tamamlanmış olur. Daha sonra işlem döngüsünde numune farklı dozlar ( $D_1, D_2, D_3, \dots$ ) ile ışınlanarak işlem döngüsü tekrarlanır. Bu sayede farklı doz değerlerine karşılık gelen L/T değerleri bulunur. Her bir diske ait ölçümler sayesinde Şekil 2.2' deki gibi grafik çizilir. Bu yöntemdeki başka bir yenilik ise en son uygulanan artan doz işlem döngüsünden sonra doz eklemesi yapılmayan (sıfır doz) işlem döngüsü ve uygulanan işlem döngülerinden bir tanesi eklenerek disklerin hassaslık değişiminin kontrolün mümkün kılınmıştır<sup>43</sup>.

Bu yöntemde işlemler farklı disklere uygulandığı için MAAD yönteminde kullanılan normalizasyon işlemine gerek yoktur. Yapay dozlama ve sayım işlemleri periyodik olarak birkaç sefer yapıldığından MAAD yöntemine kıyasla daha uzun sürmektedir.

<sup>43</sup> Şahiner 2015, 89.

### 2.2.3 Seçilmiş Tabletlere Yenileme Yöntemi (SeAR)

SeAR yönteminde seçilmiş olan diskler öncelikle ön ısıtma ve lüminesans sayımı yapılır. Bu ölçümdeki sayımlar ( $L_{(ED)}$ ) doğal doz (eşdeğer doz ( $D_E$ )) değerine karşılık gelir. Ölçüm sonunda sıfırlanmış olan diskler gruplandırılır ve grup içindeki diskler farklı büyüklükteki ( $D_1, D_2, D_3, \dots$ ) dozlar ile yapay olarak yaşlandırılır. Aynı işlem diğer gruplar için yapıldıktan sonra ön ısıtma ve lüminesans sayımı yapılır. Her bir gruba ait ölçümler sayesinde şekil 2.3' deki gibi grafik çizilir. En uygun doğru denklemi, elde edilen noktalar yardımı ile çizilir. Grafikteki doğal Lüminesans sayımına karşılık gelen nokta doğal doz değerini verir. Diğer gruplar için grafikler çizilerek doğal doz (eşdeğer doz) değerleri bulunur.



Şekil 2.3 SeAR yöntemiyle eşdeğer doz hesabı için verilen dozlar ile lüminesans sayımları arasında çizilen grafik.

( $D_E, D_1, D_2, D_3, D_4$ , sırasıyla eşdeğer doz, birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü diske uygulanan ilave doz değerleri.)

( $L_{(ED)}, L_1, L_2, L_3, L_4$ , sırasıyla eşdeğer doz lüminesans sayımı (gruptaki diskler için eşdeğer doza karşılık yapılan sayımların ortalama değeri), birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü disk lüminesans sayımı.)

### 2.3 Lüminesans Ölçüm Sistemi

Lüminesans sayımlarında diskleri yapay olarak yaşlandırmak için bir beta ışın kaynağı ve oluşan lüminesans değerini ölçmek için OSL ve TL sistemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan Risø TL/OSL ölçüm ve ışınlama sistemi resim 3 (a)'da görülmektedir. Bu cihaz, hem TL hem de OSL ölçümleri yapabilmektedir. Lüminesans ölçümlerinden önce uygulanan ön ısıtma için de bu cihaz kullanılabilir.

Standart bir Risø TL/ OSL sistemi; okuyucu, kontrol ünitesi, fotoçoğaltıcı tüp, gaz azot tüpü, gaz azot bağlama ünitesi, akış ölçer, zırhlı radyasyon kaynağı, kullanım kılavuzu, yazılım, diskler, 48 örnek kapasiteli döner tepsi, paslanmaz çelik diskler (resim 4 (b)), filtre sepetleri, filtreler( 7.5 mm Hoya U-340 filtre, corning7-59(4 mm), BG3 (3mm), Schott BG-39 (2mm)), TL, OSL başlığı ve OSL test kablosundan oluşur.



(a)

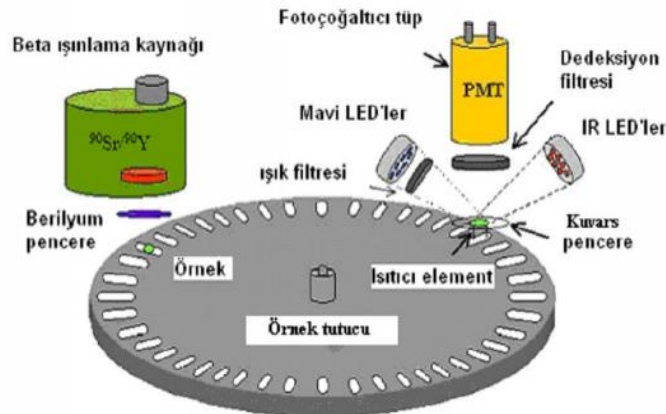


(b)

Resim 3 Risø TL/OSL ölçüm sistemi; a genel görünümü, b döner tip örnek tepsisi.

Örnek tepsisi, hazırlanan diskleri üzerinde muhafaza edecek şekilde tasarlanmıştır. Sistem diskleri çok kısa bir süre içerisinde ısıtılmaktadır. Isıtma işlemi esnasında sisteme azot gazı salınarak hem homojen ortamda bir sayım işlemi gerçekleşmekte hem de ısıtmanın sebep olduğu oksidasyon engellenmektedir.

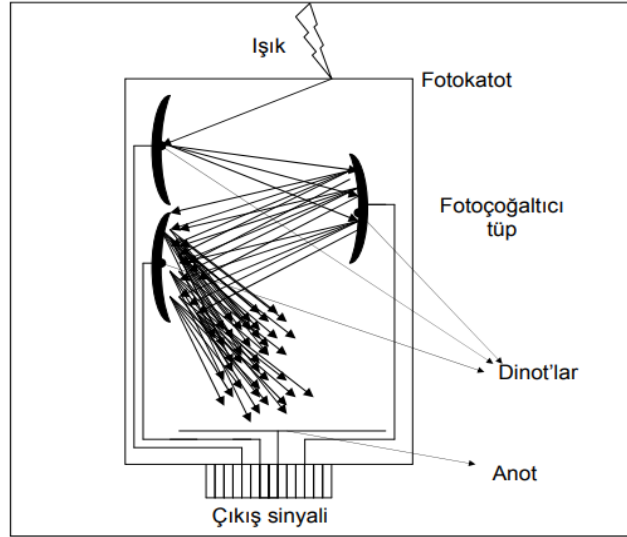
Bu cihazın avantajlı bir yönü, örneklerin OSL ve TL sırasında ön ısıtma işlemi uygulayabilmesidir. Aynı cihaz belirlenen bir ön ısıtma sıcaklığında örnek sıcaklığını sabit tutarak OSL ölçümü gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 2.4 Risø TL/OSL cihazının şematik görünümü<sup>44</sup>

<sup>44</sup> Anonymous 2014,2.

Cihazın içinde örnekleri uyarmak için hem IR led'ler hem de mavi led'ler bulunmaktadır (Şekil 2.4). Numuneleri uyarmak için gerekli olan enerjiye bağlı led grubu seçilmelidir.



Şekil 2.5 Fotoçoğaltıcı tüp şematik görünümü<sup>45</sup>.

Lüminesans ölçüm sistemlerinde örnekten gelen ışık fotonlarını elektrik sinyaline dönüştürerek sisteme ileten fotoçoğaltıcı tüptür (Şekil 2.5). Gelen ışın demeti fotokatot'a çarptıktan sonra tüp içinde yer alan dinot'lar vasıtasıyla çoğaltılır ve karşılıklı dinotlar arasında potansiyel fark uygulanarak hızlandırılır. Böylelikle az sayıdaki fotonlar çoğaltılır ve sayılabilecek büyüklüğe ulaşır. Fotoçoğaltıcı, meydana gelen lüminesansı verimli bir şekilde elektrik sinyaline dönüştürebilmeli (lineerlik) ve fotonların artışı dinotlar arası voltaj farkına bağlı olduğu için yüksek voltaj kaynağının kararlı olması gerekmektedir. Fotoçoğaltıcı tüpün voltaj kaynağındaki değişimlere olan duyarlılığı uygun çalışma voltaj aralığının belirlenmesini gerektirir. Buna kalibrasyon işlemi denir.

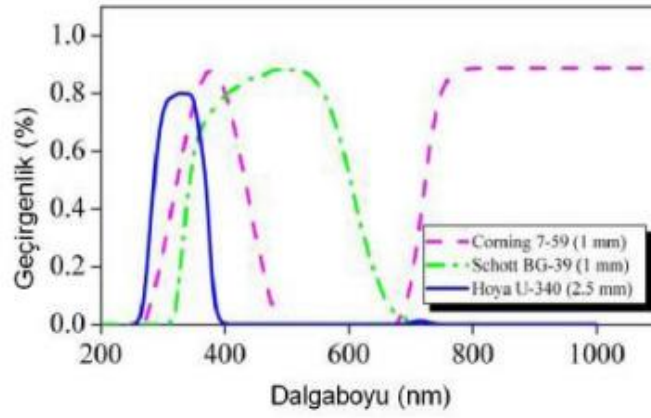
Numuneleri uyarmak için kullanılan ışık ile lüminesansın birbirine karışmasını önlemek amacıyla optik filtreler kullanılır. Seçilecek olan optik filtreler, uyarmak için kullanılan ışık kaynağına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Standart olarak

<sup>45</sup> Atlıhan 2008, 36.



kullanılan üç tip filtre vardır. Bu filtrelerin geçirgenlik katsayısı görülmektedir (Şekil 2.6).

1. Hoya U-340 ( 7,5 mm kalınlık  $\varnothing= 45$  mm )
2. Schott BG 39 ( 2 mm kalınlık  $\varnothing= 45$  mm )
3. Corning 7-59 ( 7 mm kalınlık  $\varnothing= 45$  mm )



Şekil 2.6 Filtrelerin geçirgenlik karakteristiği<sup>46</sup>.

Deneyimizde Schott BG 39 ve Corning 7-59 tipi filtre kullanılmıştır. Feldispat kristali gibi minarelerde bu iki filtre, kuvars minerallerinde Hoya U-340 filtre kullanılır.

Yapay yaşlandırma yapabilmek için yarı ömrü yaklaşık olarak 30 yıl olan 1.48 BGq (40 mCi) <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y beta kaynağına sahiptir.

---

<sup>46</sup> Anonymous 2014,8.

# ÜÇÜNÇÜ BÖLÜM

## DENEYSEL İŞLEMLER

Bu bölümde araziden numunelerin toplanması, deneysel işlemler için numunenin hazır hale getirilmesi ve elde edilen eşdeğer doz değerleri verilmiştir.

### 3.1 Numunenin Toplanması ve Hazırlanması

Doğal doz sinyalleri ışık ile kolaylıkla uyarılabildiği için tarihlendirme çalışmalarında numunelerin kazı alanından alınması ve hazırlanması esnasındaki çalışmalarda ışık koşulları son derece önemlidir. Numuneler uygun ışık koşullarında laboratuvar ortamına taşınmalı ve ölçümlerden önce numunelere bazı fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanmalıdır.

#### 3.1.1 Numunenin Araziden Alınması

Bu tez çalışması, Denizli ili, Buldan İlçesi, Yenicekent Belediyesi sınırları içerisinde bulunan Tripolis antik kentinden alınan tuğla numune üzerinde yapılmıştır (Resim 4). Kazı alanından alınmış olan numune laboratuvara taşınmıştır.



Resim 4: Kazı alanından alınan tuğla numunenin görünümü.

Alınan tuğla numunenin eşdeğer doz değerini belirlemek amacıyla yapılan lüminesans ölçümlerinde Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsündeki Lüminesans Tarihlendirme Laboratuvarı kullanılmıştır.

### 3.1.2 Numunenin Hazırlanması

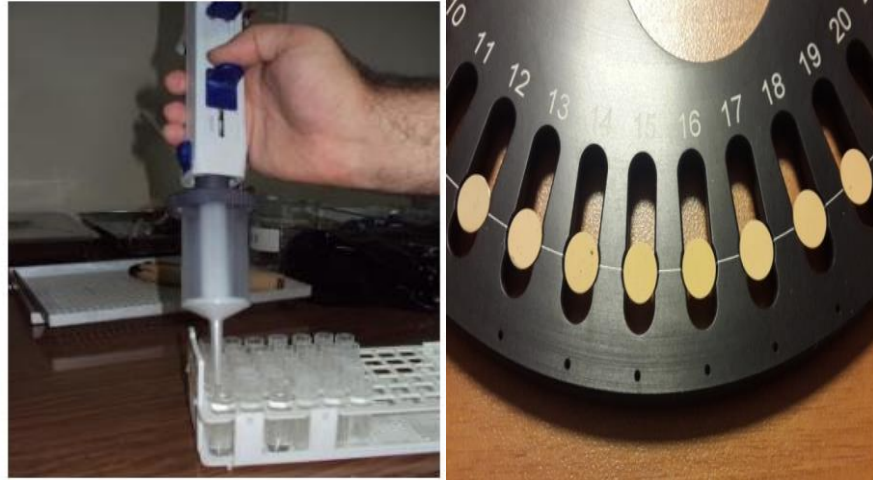
Laboratuvara getirilen tuğla numunenin güneş gören dış kısımları çekiç ve keski kullanılarak kırılmıştır. Tamamen temizlenemeyen kısımlar zımpara ile ortalama yarım santimetre olacak şekilde yavaşça zımparalanmış ve tuğla parçasının güneş ışığına maruz kalan kısımları atılmıştır. Tüm bu işlemler düşük şiddetli kırmızı ışık altında yapılmıştır. Diskleri hazırlamak için aşağıdaki işlem sırası uygulanmıştır.

1. Numunenin kalan iç kısmı kırılarak daha küçük parçalara ayrıldı.
2. Bu küçük parçalar havanda öğütülerek toz hale getirildi.
3. Kuruyan numuneye eleme işlemi uygulanarak 20  $\mu\text{m}$ ' den küçük parçacıklar elde edildi.
4. Kalsit ve organik maddelerden numuneyi arındırmak için numune % 10 HCl ve %35  $\text{H}_2\text{O}_2$  asitleri içinde reaksiyon son bulana kadar bekletildi.
5. Her iki asit işleminden sonra numune üç dört sefer saf su ile yıkandı ve etüvde düşük sıcaklıkta kurumaması beklenildi.
6. Elde edilen numune belli oranda aseton ile karıştırdıktan sonra eşit olarak deney tüplerine dağıtıldı.
7. Tüpler çalkalandıktan sonra 2 dakika beklenildi ve aseton içinde yüzen parçacıklar behere alındı. Bu sayede 11  $\mu\text{m}$  altında olan parçacıklar seçildi.
8. Karışıma bir miktar daha aseton ilave ettikten sonra karışım tekrar tüplere alındı.
9. Tüpler tekrar çalkalandıktan sonra 20 dakika beklenildi ve dibe çöken kısımda 4-11  $\mu\text{m}$  arasındaki tanecikler ayırmış oldu.

10.Tabanında diskler bulunan 50 adet tüp içine karışımı eşit miktarlarda olacak şekilde paylaştırdık ve çökmesi için bir gün bekledik. Bu sayede 50 tane numune hazırlamıştır.



(a)



(b)

(c)

Resim 5: Disk hazırlama işleminde kullanılan malzemeler; (a) havan ve elek, (b) otomatik pipet ve tabanında disk bulunan tüpler, (c) yüzeyi numune ile kaplanarak hazırlanan diskler

### 3.2 Eşdeğer Doz (ED)

Lüminesans şiddeti tuzaklarda biriken elektron sayısı ile, bu elektronlar ise gömü süresince soğurulan radyasyon miktarıyla orantılıdır. Bu çalışmada hazırlanan

polimineral ince tanecikli örnekler için kızılötesi (IR- dalga boyu: 880 nm) uyarımı kullanılarak MAAD, SARA ve SeAR yöntemleriyle eşdeğer doz tespiti yapılmıştır.

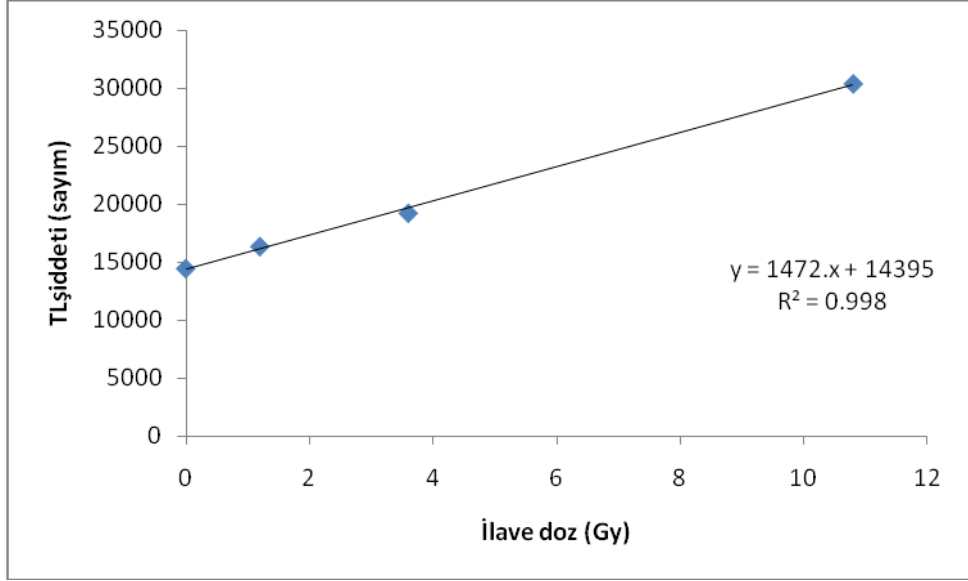
### 3.2.1 Çok Tablet İlave Doz Yöntemi (MAAD)

Çok Tablet İlave Doz Yönteminde uyarma kaynağı olarak ısı ( termolüminesans-TL) ve ışığın (optik uyarımalı lüminesans-OSL) kullanıldığı iki farklı teknik ile lüminesans ölçümleri yapılmıştır. MAAD\_TL yönteminde deneysel işlemler için 12 disk seçilmiştir. 3' erli 4 grup olacak şekilde gruplanmıştır. İlk gruba hiç doz verilmemiş diğer gruplara yaklaşık 1 – 4 - 11 Gy doz verilmiştir. Diskler oda sıcaklığından 500<sup>0</sup>C'ye kadar 5 'er derecelik artışlarla ısıtılarak termolüminesans işlemi tamamlanmıştır. Disklere ilk termolüminesans ölçümünden sonra tekrar termolüminesans ölçümü uygulanarak elde edilen sonuçlar gürültü sayımı için kullanılmıştır. Disklere 1 Gy lik dozlamadan sonra 1 s süren OSL sayımları yapılmış, elde edilen değerler normalizasyon işlemi için kullanılmıştır. Normalizasyon işleminin ayrıntıları literatürdeki farklı kaynaklardan okunabilir<sup>47</sup>.

Elde edilen verilerle eklenen doz ve lüminesans sayımı arasındaki doz- cevap eğrisi çizilmiştir (Şekil 3.1). Doz-cevap eğrisinin x eksenini kestiği nokta eşdeğer dozu( ED) verir. ED değeri  $9.96 \pm 0.81$  Gy olarak hesaplanmıştır.

---

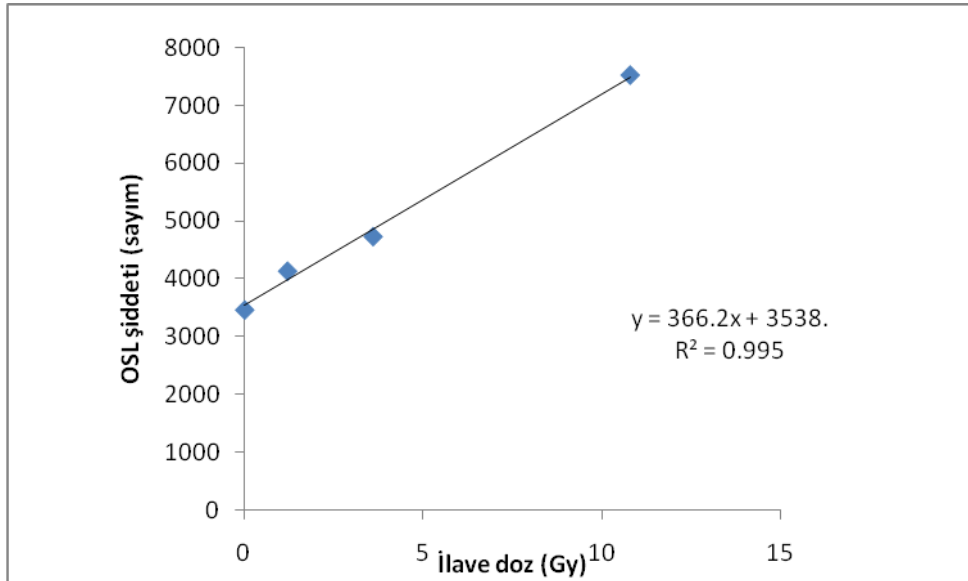
<sup>47</sup> Aitken 1998, 93-97; Atlıhan 2008, 26-27.



Şekil 3.1 MAAD yönteminde TL şiddetinin ilave dozlara karşılık gelen doz cevap grafiği.

MAAD\_OSL yönteminde de 12 disk kullanılmıştır. Normalizasyon işlemi için 0,2 s' lik OSL sayımları ölçülmüştür. Sonra diskler 3'erli dört gruba ayrılmış ve TL yöntemine benzer şekilde dozlama işlemleri yapılmıştır. Disklere 200 °C'de 10 s ön ısıtma sonrasında 150 s süreyle OSL sayımı uygulanmıştır.

Bu ölçümler için doz-cevap eğrisi çizilmiş ve eşdeğer doz değeri  $9.66 \pm 0.95$  Gy olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.2).

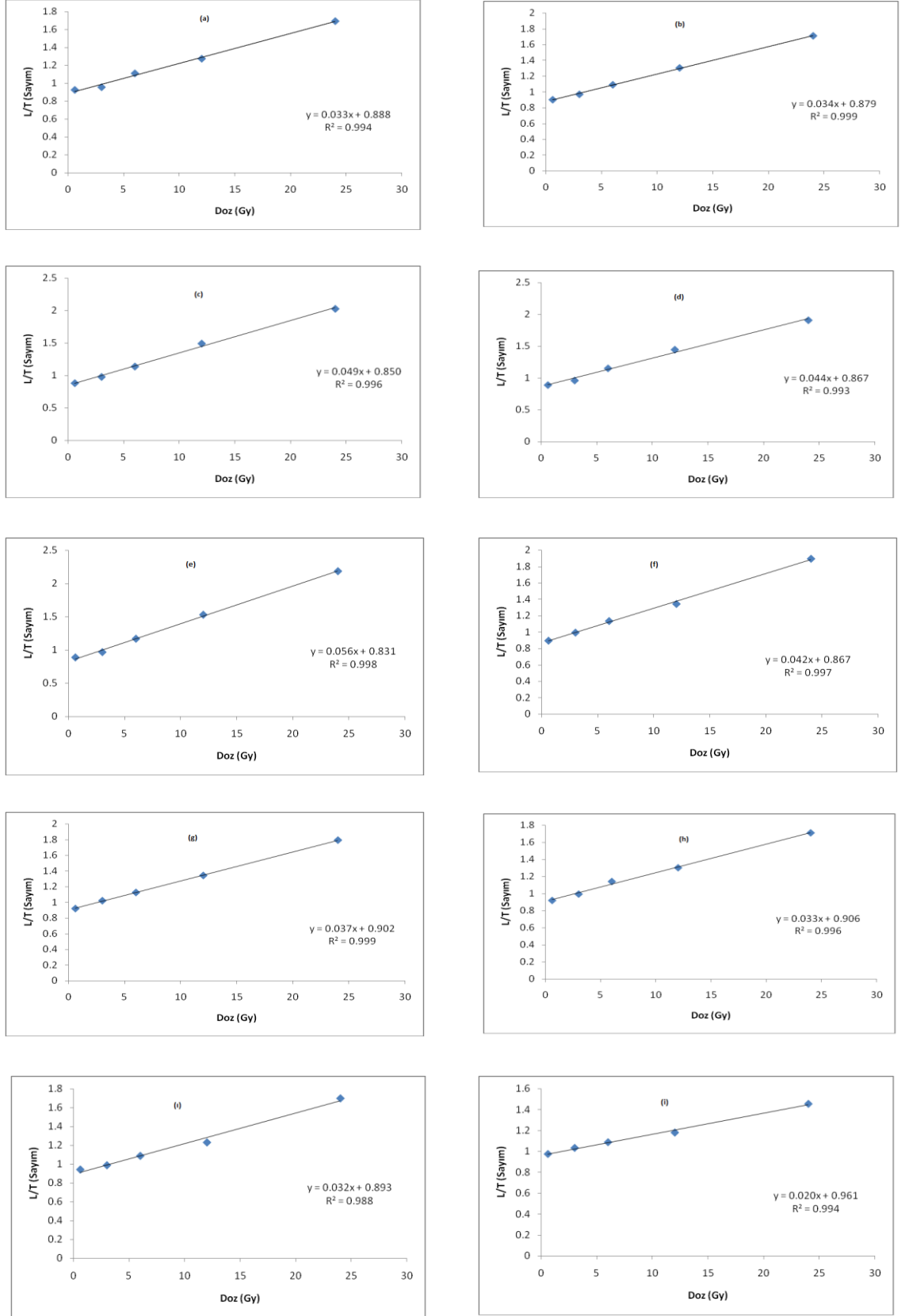


Şekil 3.2 MAAD yönteminde OSL şiddetinin ilave dozlara karşılık gelen doz cevap grafiği.

### 3.2.2 Tek Tablet Yeniden Oluşturma İlave Doz Yöntemi (SARA)

SARA Yönteminde 10 adet disk deneysel işlemler için seçilmiştir. İşlem döngüsünün ilk basamağında dozlama yapılmadan diskler üzerinde 200 °C' de 10 s' lik ön ısıtma yapılarak 150 s süreyle OSL sayımları yapılmıştır. Sonrasında 3 Gy' lik test dozu ile ışınlama yapılmış ve 200 °C' de 10 s kesme ısı ( ön ısıtma) uygulanarak 150 s süreyle OSL sinyali ölçülmüştür. Bu şekilde ilk döngü tamamlanmıştır. İşlem döngüsünün ilk basamağında 3- 6- 12- 24 Gy dozlama yapılarak işlem döngüsü tekrarlanmıştır. Son dozlama işlem döngüsünün bitimine dozlama yapılmadan ve uygulanan doz değerlerinden bir tanesi (3 Gy) eklenmiştir. Bu sayede işlem sırası sonunda disklerdeki hassaslık değişimi gözlemlenmiştir. Bu işlem sırası her bir diske uygulandığı için deneysel işlem uzun sürmektedir.

Her bir diske ait doz- cevap eğrisi verilmiştir (Şekil 3.3). Elde edilen sonuçlardan ortalama eşdeğer doz değeri  $8.89 \pm 0.60$  Gy olarak hesaplanmıştır.



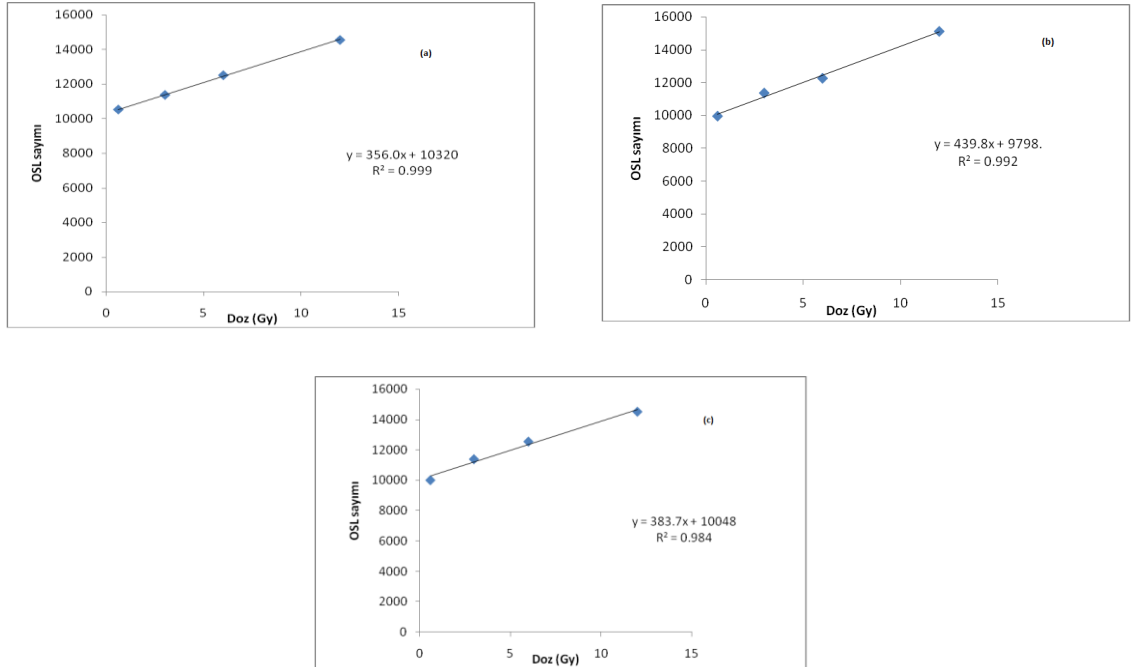
Şekil 3.3 SARA yöntemiyle eşdeğer doz tespiti için on tane diskin ilave dozlara karşılık gelen doz- cevap grafikleri.



### 3.2.3 Seçilmiş Tabletleri Yenileme Yöntemi (SeAR)

Tarihlandırma çalışmalarında eşdeğer doz tespiti için rutin olarak uygulanan MAAD ve SARA yöntemleri dışında bu çalışmada numunelere Seçilmiş Tabletleri Yenileme yöntemi de uygulanmıştır. Bu yöntem için 12 disk hazırlanmış, her birine 200 °C de 10 s ön ısıtma uygulanarak 150 s' lik lüminesans ölçümleri ve sıfırlama işlemi yapılmıştır. Birbirine en yakın sayım değerlerini veren diskler 4 erli gruplara ayrılmıştır. Gruptaki disklerin ortalama sayım değeri eşdeğer doza karşılık gelen sayım değeri olarak kabul edilmiştir. Daha sonra gruplardaki her bir disk, grubundaki diğer disklerden farklı dozlarda ışınlanmıştır. Bu ışınlama işlemi için 0,6- 3- 6- 12 Gy' lik değerler kullanılmıştır. Işınlamadan sonra disklere sırasıyla ön ısıtma ve lüminesans sayımları uygulanmıştır. Elde edilen veriler ile grafikler çizilmiştir (Şekil 3.4)

. Bir gruptan yapılan hesaplama ile eşdeğer doz tespit edilebilmesine rağmen üç gruptan eşdeğer doz değeri hesaplanarak kesinlik artırılmıştır. Elde edilen üç değer ortalaması alınarak eşdeğer doz değeri  $8.81 \pm 0.70$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.4 SeAR yöntemiyle eşdeğer doz tespiti için üç grup diskin ilave dozlarla karşılık gelen doz- cevap grafikleri.

## SONUÇ

Kùltùrlere ait eserleri korumak ve sağlıklı bir Şekilde gelecek nesillere aktarabilmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Kùltùrel mirasa ev sahipliği yapan Dũnya’ da kùltùr varlıklarının korunması, onarımı ve eserler ile ilgili doğru bilgilerin edinilebilmesi için çeşitli bilimsel yùntemler kullanılmaktadır. Bu tez çalıŐmasıyla koruma onarımda kullanılan bilimsel yùntemlerden birisi olan tarihlendirme tekniğine ve Tripolis Antik Kentinde yapılan çalışmalara katkı sađlanmıŐtır.

Bu alıŐmada Denizli ili, Buldan İlçesi, Yenicekent Belediyesi sınırları içerisinde bulunan Tripolis Antik Kentinden alınan tuğla parçası için Termoluminesans ve Optik Uyarmalı Lùminesans tekniği kullanılarak eşdeğer doz tayini yapılmıştır. Tarihlendirme çalışmalarında eşdeğer dozun belirlenmesi numunenin yaŐının belirlenebilmesi için bir zorunluluktur.

Bu tez çalışmasında ön ısıtma, ışınlama (dozlama), lùminesans ölçùmleri Risø TL/OSL cihazı kullanılarak yapılmış ve eşdeğer dozu belirlemek amacıyla MAAD, SARA ve SeAR yùntemleri uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ölùlen lùminesans miktarı soğurulan radyasyon dozuna bağımlı olarak artmaktadır. Ancak bu durum doyum noktasında son bulmaktadır ve bu noktadan sonra radyasyon dozundaki artışın lùminesansa bir etkisi yoktur. Yapmış olduğumuz deneylerde kullanılan dozlar, doyum noktası altında kalan değerlerden seilmiŐtır.

EŞdeğer dozu hesaplamak için kullanılan dùrt farklı yùntemden elde edilen sonuçlar tablo 1’ de verilmiştir. Bu tablodan gùrùlebileceđi gibi doz değerleri hata sınırları içerisinde birbirleri ile uyumlu olarak bulunmuŐtur.

Tablo 1: Farklı yöntemler kullanılarak bulunan eşdeğer doz büyüklükleri.

<b>Kullanılan Yöntemler</b>	<b>Eşdeğer Doz (Gy)</b>
MAAD_OSL	9.66± 0.95
MAAD_TL	9.96± 0.81
SARA_OSL	8.89± 0.60
SeSAR_OSL	8.81± 0.70

Kullanılan yöntemlerde elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olmasına rağmen bu yöntemler arasında yapılan deneysel işlemler bakımından çeşitli farklılıklar mevcuttur. Bu farklılıklar, kullanıldığı yönteme avantaj veya dezavantaj sağlamaktadır.

TL ve OSL tekniklerinde MAAD yönteminde mümkün olduğunca az numune kullanmak için on iki tane disk hazırlanmış, bu diskler birbiriyle özdeş olmadığı için zorunlu olarak normalizasyon işlemi yapılmıştır. Normalizasyon işleminde meydana gelebilecek bazı problemler bu yöntem için dezavantajdır. Bu işleme SeAR ve SARA yöntemlerinde ihtiyaç duyulmamaktadır. MAAD yönteminden sonuç almak için yapılması gereken deneysel işlemler yaklaşık olarak iki saat sürmüştür. SeAR yönteminde bu süre yaklaşık olarak altı saat ve SARA yönteminde on altı saat sürmektedir. SARA ve SeAR yönteminin MAAD yöntemine kıyasla daha uzun sürmeleri bu yöntemler için dezavantajdır.

Bununla birlikte SARA yönteminden sonuç almak için bir tane disk, SeAR yönteminden sonuç almak için de dört tane disk yeterlidir. Daha fazla diskle yapılabilecek çalışmalar sadece bu yöntemlerden birden fazla sonuç elde edilmesini sağlamakta ve sonuçların kesinliğinin artmasına imkan vermektedir. Dolayısıyla SARA ve SeAR yönteminde daha az numune kullanılması ve normalizasyona ihtiyaç duyulmaması bu yöntemlerin MAAD yönteminden üstünlüğüdür. Ayrıca SARA yönteminde kullanılan diske defalarca ön ısıtma, ışınlama ve lüminesans ölçüm döngüsünün uygulanması diskin lüminesans duyarlılığını değiştirebilmektedir. Bu olasılığa karşı bahsedilen yöntemde sabit bir test dozu ile her döngüden sonra kontrol ölçümü yapılması zorunluluktur. Bu da SARA yöntemini SeAR yöntemine karşı dezavantajlı duruma getirmektedir.

Tarihlendirme çalışmalarının güvenilirliği açısından bakıldığında eşdeğer dozun mümkün olduğunca yüksek kesinlikle belirlenmesi son derece önemlidir. Bu nedenle yeterli numune miktarı varsa birden fazla yöntem kullanılarak eşdeğer dozun belirlenmesi uygundur.

## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>C<sup>14</sup></b>	Karbon-14
<b>ESR</b>	Elektron spin rezonans
<b>TL</b>	Termolüminesans
<b>OSL</b>	Optik uyarmalı lüminesans
<b>MAAD</b>	Çok tablet ilave doz
<b>SAR</b>	Tek tablet yenileme
<b>SARA</b>	Tek tablet yeniden oluşturma ilave doz
<b>SeAR</b>	Seçilmiş tabletleri yenileme
<b><math>\tau</math></b>	Ortalama ömür
<b>s</b>	Frekans faktörü
<b>E</b>	Tuzak enerjisi
<b>k</b>	Boltzman sabiti
<b>T</b>	Sıcaklık
<b>E<sub>i</sub></b>	İletim bandı enerjisi
<b>E<sub>v</sub></b>	Valans bandı enerjisi
<b>T<sub>s</sub></b>	Sığ tuzak derinliği
<b>T<sub>d</sub></b>	Derin tuzak derinliği
<b>E<sub>s</sub></b>	Sığ tuzak enerjisi
<b>E<sub>d</sub></b>	Derin tuzak enerjisi
<b>E<sub>g</sub></b>	Band aralığı enerji farkı
<b>ED</b>	Eşdeğer doz
<b>YD</b>	Yıllık doz
<b><math>\epsilon</math></b>	Işık fotonlarının enerjisi
<b>h</b>	Planck sabiti
<b>c</b>	Işık hızı
<b><math>\lambda</math></b>	Dalga boyu
<b>IRLS</b>	Kızıltesi uyarmalı lüminesans
<b>BLSL</b>	Mavi ışık uyarmalı lüminesans
<b>GLSL</b>	Yeşil ışık uyarmalı lüminesans
<b><math>\bar{N}</math></b>	Normalizasyon sayımlarının ortalaması
<b>N<sub>i</sub></b>	İ'inci disk için normalizasyon sayımı
<b>F<sub>i</sub></b>	İ'inci disk için normalizasyon faktörü

<b>S<sub>i</sub></b>	İ'inci diski için normalize edilmiş lüminesans sayımı
<b>L<sub>i</sub></b>	İ'inci disk için normalize edilmiş lüminesans sayımı
<b>L</b>	Lüminesans sayımı
<b>M.Ö.</b>	Milat' dan önce

## KAYNAKÇA

- Aitken 1985 M. J. Aitken, *Thermoluminescence Dating*, England, 1985.
- Akpınar 1971 S. Akpınar, *Katıhal Fiziğinden Seçme Konular 2*, İstanbul, 1971.
- Anonymous 2014 Risø TL/ OSL-DA-20 Reader User Manuel. DTU Nutech, Denmark 2014.
- Atlıhan 2008 M.A. Atlıhan “ *Ege Çöküntüsü Sistemindeki Bazı Deprem İzlerinin Lüminesans Yöntemiyle İncelenmesi*”, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Ankara, 2008, 106.
- Bøtter-Jensen et al.2003 L. Bøtter-Jensen - S. W. S. McKeever - A. G. Wintle, “Optically Stimulated Luminescence Dosimetry”, *Elsevier science*, Netherland, 2003, 355.
- Bowman 1975 S. Bowman, “Dependance Of Supralinearity On Pre-dose:some Observations”, *Archaeometry*, 1975, 129-132.
- Doğan 2010 T.Doğan “ *Optiksel Uyarmayla Lüminesans (OSL) Tarihlendirme Yöntemi Kullanarak Doğu Anadolu Fay Sisteminin (DAFS) Paleosismolojik Analizi*”, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), ADANA, 2010,192.
- Dokuzboy 2010 A. Dokuzboy, “*Tripolis Orpheus Kabartması*”, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İzmir, 2010.
- Duller 1991 G. Duller, “Equivalent dose determination using single aliquots”, *Nuclear Track and Radiation Measurement 18*, 1991, 371-378.
- Duman 2013 B. Duman, “Son Arkeolojik Kazılar Işığında Tripolis Ad Maeandrum”, *The Journal Of Mcri*, 2013, 179-200.
- Fleming 1966 S.J. Fleming, “Study Of Thermoluminescence Of Crystalline Extracts From Pottery”, *Archaeometry*, 1966, 170-173.
- Fleming 1973 (a) S.J. Fleming, “The Pre-dose Technique: A New Thermoluminescence Dating Method”, *Archaeometry*, 1973, 13-30.
- Fleming 1973 (b) S.J. Fleming, “The Subtraction Technique Of Thermoluminescence Dating”, *Archaeometry 15*, 1973, 229-239.
- Fleming 1975 S.J. Fleming, “Supralinearity corrections İn Fine Grain Thermoluminescence Dating: A Re-appraisal”, *Archaeometry*, 1975, 91-95.
- Fleming 1979 S. Fleming, *Thermoluminescence Techiques İn Archaeology* Clarendon Press, Oxford, 1979.

- Galloway 1996 R. B. Galloway, "Equivalent dose determination using only one sample: Alternative of data obtained from infrared stimulation of feldspars", *Radiation Measurement* 26, 1996, 103-106.
- Huntley 1985 D.J. Huntley, "On The Zeroing Of Thermoluminescence Of Sediments", *Physics And Chemistry Of Minerals*, 1985, 122-127.
- Huntley et al 1985 D. J. Huntler, D. I. Godfrey-Smith, and M. L. W. Thevalt, "Optical Dating Of Sediments", *Nature*, 1985, 105-107.
- Kittel 1996 C. Kittel, *Katıhal Fiziğine Giriş* (çeviri: B. Karaoğlu), Bilgi Tek Yayınları, İstanbul 1996.
- Krane 2001 K. S. Krane, *Nükleer Fizik 1* (çeviri: Kurul), Palme Yayıncılık, Ankara, 2001.
- Lang - Wagner 1996 A. Lang - G.A. Wagner, "Infrared Stimulated Luminescence Dating Of Archaeosediments", *Archaeometry*, 1996, 129-141.
- Mejdahl – Bøtter-jensen 1994 V. Mejdahl - L. Bøtter-jensen, "Lüminesence dating of archaeological materials using a new technique based on single aliquot measurement", *Quaternary Science Reviews* 13(5), 1994, 551-554.
- Murray et al. 1997 A. S. Murray, R. G. Roberts and A. G. Wintle, "Equivalent dose measurement using a single aliquot of quartz", *Radiation Measurement* 27(2), 1997, 171-184.
- Murray - Roberts 1998 A. S. Murray - R. G. Robert, "Measurement of the equivalent dose in quartz using a regenerative- dose single aliquot protocol", *Radiation Measurement* 29(5), 1998, 503-515.
- Murray - Wintle 2000 A. Murray - A. Wintle, "Lüminesence dating of quartz using an improved single- aliquot regenerative dose protocol", *Radiation Measurement* 32, 2000, 57-73.
- Serway 1996 R.A. Serway, *Fen Ve Mühendislik İçin Fizik 3* ( çeviri: kurul), 1. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, 1996.
- Sutton - Zimmerman 1976 S. Sutton - D.Zimmerman, "Thermoluminescence Dating Using Zircon Grains From Archaeological Ceramics", *Archaeometry*, 1976, 125-134.
- Streblor 2013 D. Streblor, *Use Of Minerals Other Than Quartz And Feldspat For Lüminesence Dating*, Master Thesis, Wolfson College, Üniversity Of Oxford, 2013, 65.
- Şahiner 2015 E. Şahiner, *Paleosismolojik Çalışmalarda TL/OSL Ve ESR Yöntemlerinin Kullanılması: Kütahya-Simav ve Kuzey Anadolu Fay Hattı*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Ankara, 2015, 230.



- Watanuki - Tsukamoto 2001 T. Watanuki - S. Tsukamoto "A Comparison Of GLSL, IRSL And TL Dating Methods Using Loess Deposits From Japan And China", *Quaternary Science Reviews*, 2001, 841-851.
- Watanuki et al. 2005 T. Watanuki, A.S. Murray And S. Tsukamoto, "Quartz And Polymineral Luminescence Dating Of Japanese Loess Over The Last 0.6 Ma: Comparison With An Independent Chronology", *Earth And Planetary Science Letters*, 240, 774-789.
- Wintle 1973 A.G. Wintle, "Anormalous Fading Of Thermoluminescence In Mineral Samples", *Nature*, 1973, 143-144.
- Wintle 1997 A.G. Wintle, "Luminescence Dating: laboratory Procedures And Protocols", *Radiation Measurements*, 1997, 769-817.
- Wintle - Murray 1998 A.G. Wintle - A.S. Murray "Towards The Development Of A Preheat Procedure For OSL Dating Of Quartz", *Radiation Measurement*, 1998, 81-94.
- Zhong et al 1993 D. Zhong, H. Peihua, and J. Sizhao, "The Improved Schematic Band Model For ESR And TL Dating", *Applied Radiation Isotopes*, 1993, 287-291.
- Zimmerman 1967 D.W. Zimmerman, "Thermoluminescence From Fine Grains From Ancient Pottery" *Archaeometry*, 1967, 26-28.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa	
Şekil 1.1	Değişik tipte kristal kusurları.	9
Şekil 1.2	Band modeline göre lüminesans mekanizmasının enerji diyagramı.	10
Şekil 1.3	Doğada lüminesans saatinin sıfırlanması ve tekrar çalışması.	12
Şekil 1.4	TL ışınma eğrisi.	14
Şekil 1.5	OSL bozunum eğrisi.	15
Şekil 2.1	MAAD yöntemiyle eşdeğer doz hesabı için ilave dozlar ile lüminesans sayımları arasında çizilen grafik.	20
Şekil 2.2	SARA yöntemine ait doz cevap grafiği (L: lüminesans sayımı, T: test dozu)	22
Şekil 2.3	SeAR yöntemiyle eşdeğer doz hesabı için verilen dozlar ile lüminesans sayımlar arasında çizilen grafik.	23
Şekil 2.4	Risø TL/OSL cihazının şematik görünümü.	25
Şekil 2.5	Fotoçoğaltıcı tüp.	26
Şekil 2.6	Filtrelerin geçirgenlik karakteristiği.	27
Şekil 3.1	MAAD yönteminde TL şiddetinin ilave dozlara karşılık gelen doz- cevap grafiği.	32
Şekil 3.2	MAAD yönteminde OSL şiddetinin ilave dozlara karşılık gelen doz-cevap grafiği.	32
Şekil 3.3	SARA yöntemiyle eşdeğer doz tespiti için on tane diskin ilave dozlara karşılık gelen doz- cevap grafiği.	34
Şekil 3.4	SeAR yöntemiyle eşdeğer doz tespiti için üç tane diskin ilave dozlara karşılık gelen doz- cevap grafiği.	35

## TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Farklı yöntemler kullanılarak bulunan eşdeğer doz büyüklükleri.	37

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>sayfa</b>
Resim 1 Batı Anadolu haritası(a) ve Tripolis yerleşim planı(b).	5
Resim 2 Tripolis antik kenti sütunlu cadde ve tuğla numunenin arazideki yeri.	6
Resim 3 Risø TL/OSL ölçüm sistemi; a genel görünümü, b döner tip örnek tepsisi.	25
Resim 4 Kazı alanında alınan tuğla numunenin görünümü	28
Resim 5 Disk hazırlama işleminde kullanılan malzemeler; (a) havan ve elek, (b) şırınga ve tabanında disk bulunan tüpler, (c) hazırlanan diskler.	30

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı, Soyadı** : Ömer Faruk ÖZLER  
**Doğum Tarihi** : 1990  
**Doğum Yeri** : Denizli  
**Yabancı Dil** : İngilizce  
**E- Mail** : [oozler08@posta.pau.edu.tr](mailto:oozler08@posta.pau.edu.tr)

### EGİTİM DURUMU

#### Ön lisans

Pamukkale Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Elektrik Bölümü (2008-2010).

#### Lisans

Pamukkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü (2011-2014).

#### Yüksek lisans

Pamukkale Üniversitesi, Arkeoloji Bilimleri Enstitüsü, Kültür Varlıkları Koruma Ve Onarım Anabilim Dalı (2015- ).