

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**YEŞİLOVA HÖYÜĞÜ ARKEOLOJİK ÖRNEKLERİNİN
TERMOLÜMİNESANS YÖNTEMİ İLE
TARİHLENDİRİLMESİ**

ELÇİN (EKDAL) TEKİN

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 622.01.01

Sunuş Tarihi: 04.09.2009

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Turgay KARALI

Bornova-İzmir

Sayın **Elçin (EKDAL) TEKİN** tarafından DOKTORA TEZİ olarak sunulan **“Yeşilova Höyüğü Arkeolojik Örneklerinin Termoluminesans Yöntemi ile Tarihlendirilmesi”** başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve **04.09.2009** tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza:

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Güngör YENER

Üye : Prof. Dr. Nurdoğan CAN

Üye : Doç. Dr. Turgay KARALI

Üye : Yard. Doç. Dr. Yüksel KARABULUT

Üye : Yard. Doç. Dr. Zafer DERİN

ÖZET**YEŞİLOVA HÖYÜĞÜ ARKEOLOJİK ÖRNEKLERİNİN
TERMOLÜMİNESANS YÖNTEMİ İLE
TARİHLENDİRİLMESİ**

TEKİN (EKDAL), Elçin

Doktora Tezi, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Turgay KARALI

Eylül 2009, 129 sayfa

Işıma tarihleme yer kabuğunda yaygın olarak bulunan kuvars feldspat gibi minerallerdeki radyasyon hasarının zamana bağlı birikimine dayanan bir radyometrik tarihleme metodudur. Bu tezin amacı ışıma yöntemi kullanılarak arkeolojik örneklerin yaşlarının saptanmasıdır.

Çalışmada arkeolojik verilerle İzmir tarihini bilinenden 3000 yıl daha geriye götüreceği öngörülen Bornova ilçesindeki Yeşilova Höyüğü kazı alanından elde edilen keramik örnekleri kullanılmıştır.

Işıma yöntemi ile tarihleme metodunda belirlenmesi gereken bileşenlerden biri örneğin yıl boyunca doğal radyoaktif çevreden depolamış olduğu radyasyon dozunun yani yıllık dozun belirlenmesidir. Yıllık doza gama+kozmik radyasyon katkısı kalın $Al_2O_3:C$ dozimetreler, beta radyasyonu katkısı ise ince $Al_2O_3:C$ dozimetreler kullanılarak belirlenmiştir.

Işıma tarihlemedeki diğer önemli bileşen olan eşdeğer dozun belirlenmesi için 140-250 μm boyutundaki kaba tanecik kuvars mineralleri kullanılmıştır. Örnek miktarının az olması nedeniyle eşdeğer dozun belirlenmesinde tek örnek yenileme metodu (SAR) tercih edilmiştir.

VI

Örnekleme alanından alınan keramik örnekleri için eşdeğer doz $\sim 26 \pm 4$ Gy olarak belirlenmiştir. Yıllık doz ise $3,34 \pm 0,47$ mGy.y⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Eşdeğer doz değerinin yıllık doz değerine oranından örneğin yaşı 7.749 ± 1.713 olarak bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Arkeolojik Tarihleme, Termoluminesans, Yıllık Doz, Eşdeğer Doz, SAR

ABSTRACT

**DATING OF ARCHAEOLOGICAL SAMPLES FROM
YEŞİLOVA TUMULUS USING TERMOLUMINESCENCE
TECHNIQUE**

TEKIN (EKDAL), Elçin

PhD Thesis, Institute of Nuclear Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Turgay KARALI

September 2009, 129 pages

Luminescence dating is a radiometric dating method based on the accumulation of the radiation damage in quartz and feldspar, commonly present in the earth surface. The aim of this study is to date the archeological samples using luminescence techniques

Ceramic findings collected from the Yeşilova Tumulus located in Bornova, İzmir were dated using luminescence technique. Archeological observations have suggested that human occupation of the region had taken place about 3000 year before the previously determined dates.

In luminescence dating, one of the main parameter is to determine the radiation dose to be exposed by minerals from the terrestrial and cosmic radiations, namely annual dose. Contribution of the gamma plus cosmic rays and beta particles to annual dose was determined using thick and thin Al₂O₃:C termoluminescence dosimeters, respectively.

In order to establish the equivalent dose -other important parameter in luminescence dating- coarse grains of quartz minerals ranging between 140 and 250 µm were extracted. Since the amount of archeological

VIII

samples is limited, the Single Aliquot Regeneration protocol (SAR) were applied to the samples in order to determine the equivalent dose (ED).

The equivalent dose of the ceramic samples collected from the region was found as $\sim 26 \pm 4$ Gy, and the annual dose rate was $3,34 \pm 0,47$ mGy.y⁻¹. Considering the age equation, which is the division of equivalent dose to annual dose, the ceramic samples were dated as 7.749 ± 1.713 years.

Keywords: Archaeological Dating, Thermoluminescence, Annual Dose, Equivalent Dose, SAR

IX

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam süresince her adımda ilgi ve desteğini gördüğüm değerli tez danışmanım, Sayın **Doç. Dr. Turgay KARALI**'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Enstitü laboratuvarlarında her türlü çalışma olanağını sağlayan Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Sayın **Prof. Dr. Perihan ÜNAK**'a, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı Başkanı Sayın **Prof. Dr. Güngör YENER**'e, çalışmalarımda bilgi ve deneyimiyle ufkumu açan değerli hocam Sayın **Prof. Dr. H. Yeter GÖKSU**'ya, arazi çalışmalarında bilgi ve deneyimini esirgemeyen Sayın **Yard. Doç. Dr. Zafer DERİN**'e, lisans eğitimimde bilgi birikimime temel taşları koyan, daha sonra da birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum Sayın hocam **Prof. Dr. Nurdoğan CAN**'a, karanlık laboratuvarında geçen zaman boyunca birlikte her gün yeni keşifler yaptığımız, dostluğunu ve yardımlarını esirgemeyen başta **Araş. Gör. Arzu EGE** olmak üzere, **Yard. Doç. Dr. Coşkun HARMANŞAH**'a ve her zaman büyük özveriyle yanımda olan arkadaşlarıma, manevi desteğini ve sabrını esirgemeyen eşim **Zafer TEKİN**'e, tüm hayatım boyunca maddi-manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan **AİLE**'me en içten teşekkürlerimi sunarım.

Elçin (EKDAL) TEKİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VII
TEŞEKKÜR.....	IX
İÇİNDEKİLER.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XVII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XXI
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	6
2.1 Işıma ve Tarihçesi.....	6
2.2 Işıma Çeşitleri.....	9
2.3 Termal Uyarımlı Işıma.....	13

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.1 Termal uyarımlı ışıma mekanizması.....	15
2.4 Kusurlar ve Tuzaklar.....	18
2.4.1 Noktasal kusurlar.....	19
2.5 TL Olayına Matematiksel Yaklaşım.....	22
2.6 Tünel Olayı.....	25
2.7 Işıma Tarihlemenin Genel Prensipleri.....	27
2.8 Işıma Tarihlemede Tanecik Boyutunun Önemi.....	33
2.9 Eşdeğer Doz.....	34
2.9.1 Yenileme doz metodu.....	35
2.9.2 Ek doz metodu.....	37
2.9.3 Diğer metotlar.....	39
2.10 Yıllık Doz.....	40
2.10.1 Doğal radyoaktivite.....	45

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
2.10.2 Kozmik radyasyon katkısı.....	50
2.10.3 ⁸⁷ Rb katkısı.....	51
2.10.4 Nem etkisi.....	51
2.10.5 Minerallerin asitle aşındırılması.....	53
2.11 Kuvars Mineralinin Işıma Özellikleri.....	56
2.12 Işıma Verimi.....	59
3. MATERYAL VE METOD.....	61
3.1 Örnekleme Alanı.....	61
3.2 Termoluminesans Dozimetre (TLD) Okuyucu Sistemi.....	66
3.3 ⁹⁰ Sr Beta Kaynağı Kalibrasyonu.....	69
3.4 Eşdeğer Doz Ölçümleri için Örneklerin Hazırlanması.....	70
3.5 Eşdeğer Dozun Belirlenmesi için Işıma Ölçümleri.....	72

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
3.6 Yıllık Dozun Belirlenmesi.....	74
3.6.1 Yıllık doza gama ve kozmik radyasyon katkısının belirlenmesi....	74
3.6.2 Yıllık doza beta radyasyonu katkısının belirlenmesi.....	78
3.7 Örneklerin Nem İçeriklerinin Belirlenmesi.....	80
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	81
4.1 Beta Kaynağının Kalibrasyon Sonuçları.....	81
4.2 Nem Analizi.....	82
4.3 Yıllık Doz Ölçüm Sonuçları.....	82
4.4 Eşdeğer Doz Ölçüm Sonuçları.....	85
4.4.1 Örneklerin XRD ve SEM analizleri	85
4.4.2 Ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesi.....	90
4.4.3 SAR tekniğine göre belirlenen eşdeğer doz değerleri.....	95

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	105
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	129

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Floresans ve fosforesans olaylarının mekanizması.....	11
2.2 Yeşilova Höyüğü arkeolojik alanından elde edilen kuvars örneğinin doğal sinyaline ait TL eğrisi.....	14
2.3 TL mekanizmasını gösteren basitleştirilmiş enerji bant modeli.....	17
2.4 İdeal bir kristal örgüsünün şematik gösterimi.....	19
2.5 Frenkel kusurunun şematik gösterimi.....	20
2.6 Schottky kusurunun şematik gösterimi.....	20
2.7 Safsızlık kusurunun şematik gösterimi.....	21
2.8 Tünel olayının şematik gösterimi.....	26
2.9 Yeşilova Höyüğü kuvars mineraline ait TL (a) ve termal radyasyondan (black body radiation) kaynaklanan ışık (b).....	29
2.10 Işıma tarihleme metodunun şematik gösterimi.....	31
2.11 Yenileme yöntemi ile elde edilen örnek bir büyütme eğrisi.....	36
2.12 Ek doz yöntemi ile elde edilen örnek bir büyütme eğrisi.....	38
2.13 Kısmi ağartma yöntemi ile elde edilen örnek bir büyütme eğrisi..	39

XVIII

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.14 ^{40}K ve ^{87}Rb radyonüklidlerinin bozunum şemaları.....	46
2.15 ^{235}U serisinin bozunum şeması (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmale edilmiştir.....	47
2.16 ^{238}U serisinin bozunum şeması (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir.....	48
2.17 ^{232}Th serisinin bozunum şeması (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir.....	49
2.18 Kaba tanecik boyutundaki bir malzeme için farklı radyasyon türlerine göre giricilik güçleri.....	50
2.19 Eşit toryum ve uranyum aktivitelerine sahip bir matris içine gömülmüş verilen çapta bir kuvars taneciği için ortalama alfa dozunun değişimi.....	56
2.20 Arkeolojik örneklerden elde edilen kaba tanecik kuvars minerallerine ait TL pikleri.....	57
3.1 Yeşilova Höyüğü'nün kuşbakışı görünüşü.....	61
3.2 Yeşilova Höyüğü kazı alanı.....	64
3.3 Yeşilova Höyüğü'ne ait kültür katlarının şematik gösterimi.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.4 Yeşilova Höyüğü kazısından alınan ve çalışmada kullanılan Neolitik döneme ait keramik örneklerine ait bazı resimler.....	65
3.5 TLD okuyucu sistemi (Harshaw TLD 3500).....	67
3.6 Basit bir TLD okuyucu diyagramı.....	67
3.7 TLD okuyucu sistemde kullanılan fotoçoğaltıcı tüpün foton dalga boyuna bağlı olarak kuantum verimi.....	68
3.8 KG-1 filtresinin geçirgenlik spektrumu.....	69
3.9 ⁹⁰ Sr radyonüklidinin bozunum şeması.....	70
3.10 Doğrudan metot ile yıllık doza gama kozmik radyasyon katkısının belirlenebilmesi için hazırlanan kalın α -Al ₂ O ₃ :C dozimetreler.....	75
3.11 Yeşilova Höyüğü'nde α -Al ₂ O ₃ :C dozimetrelerin gömüldükleri örnekleme noktasına (III. Kat,7. katman) ait bir resim.....	76
3.12 Örnekleme alanına gömülmüş doğal ve laboratuarda ışınlanmış olan kalın Al ₂ O ₃ :C TL dozimetrelerine ait örnek parıldama eğrileri.....	77
3.13 Doğrudan metot ile yıllık doza beta radyasyonu katkısının hesaplanması için hazırlanan ince α -Al ₂ O ₃ :C dozimetreler.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.14 Yıllık doza beta radyasyonu katkısının belirlenmesi için kullanılan ince $Al_2O_3:C$ TL dozimetlerine ait örnek parıldama eğrileri.....	79
4.1 Yeşilova Höyüğünden alınan arkeolojik örneğe ait XRD analizi....	86
4.2 (a) Hazırlanan örneğe mıknatıs ile ayırma işlemi uygulanmasından önce, (b) mıknatıs ile ayırma işleminden sonra.....	87
4.3 Kimyasal işlem uygulanmamış arkeolojik örneğin EDX detektörlü SEM taramalı elektron mikroskobu ile yapılan element analizi.....	88
4.4 Kimyasal işlem uygulanan arkeolojik örneğin EDX detektörlü SEM taramalı elektron mikroskobu ile yapılan element analizi.....	89
4.5 Arkeolojik örneklere ait doğal ve (a) 180 (b) 190 (c) 200 (d) 210 (e) 220 (f) 230 (g) 240 ve (h) 250 °C'lik ön ısıtmalar sonrasında alınan TL ışıma eğrileri.....	95
4.6 Doğal ve $^{90}Sr/^{90}Y$ kaynağı ile farklı dozlarda ışınlamaların ardından alınan arkeolojik alan kuvars örneğine ait TL parıldama eğrileri.....	97
4.7 Yeşilova Höyüğü arkeolojik alan örneklerine ait TL plato testi sonuçları (ID: doğal sinyal şiddeti, Ix: x dozuna bağlı şiddet).....	100
4.8 SAR tekniğine göre çizilen TL büyütme eğrileri.....	102

ÇİZELGE DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Uyarım mekanizmasına göre ışına türleri.....	10
2.2 En çok kullanılan tarihleme metotları, kullanılan örnek türleri ve yaş aralıkları.....	30
4.1 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β kaynağının ÇNAEM Sekonder Standart Dozimetre Laboratuvarı'na göre çalışmada kullanılan malzemelere verdiği eşdeğer doz hızları.....	81
4.2 Yeşilova Höyüğü arkeolojik alanına ait örneklerin yaş, kuru, suya doymuş ağırlıkları ve bu değerlerden yararlanarak hesaplanan W ve F faktörleri.....	82
4.3 Örneklerin doğrudan ölçüm metoduna göre yıllık $D_\gamma + D_k$ doz hızı değerleri.....	83
4.4 Doğrudan ölçüm metoduna göre kurutulmuş örneklerde nem düzeltmesi yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra elde edilen yıllık D_β doz hızı değerleri.....	84
4.5 Yıllık doz hızı değeri.....	85
4.6 Yeşilova Höyüğü arkeolojik örneklerine ait hesaplanan eşdeğer doz, yıllık doz hızı ve yaş değeri.....	103

1. GİRİŞ

Toprakta gömülü olan tüm malzemeler doğal çevreden sabit akılı bir iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalırlar. Bu radyasyon toprakta doğal olarak bulunan radyoizotoplardan ve kozmik radyasyondan kaynaklanır. Kristal yapıya sahip olan bir malzeme iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldığında, kristal içerisindeki elektrik yükleri yer değiştirerek iletkenlik bandına geçerler. Yer değiştiren yüklerin çoğu kısa bir zaman içerisinde tekrar değerlik bandına geri dönerken, küçük bir kısım daha yüksek enerji seviyelerinde uzun süre boyunca tuzak adı verilen kusurlarda kalabilirler. Tuzaklanan yükler herhangi bir uyartım kaynağı ile uyartıldığında tuzaklardan kaçmak için gerekli enerjiye sahip olacaktırlar. Bu yüklerin değerlik bandına dönüşlerinde, fazlalık enerji ışık yayımı olarak gözlenir. Bu olaya ışıma (lüminesans) adı verilir. Tuzaklanan yüklerin salınmasında kullanılan uyartım kaynağı ışık ise optik uyartımlı ışıma (OSL), ısı ise termal uyartımlı ışıma (TL) olarak adlandırılır.

Işıma 1950'li yıllardan beri insanların maruz kaldığı toplam radyasyon miktarının saptanması için radyasyon dozimetrisinde, arkeolojik ve jeolojik sedimentlerin tarihlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bir malzemenin tarihlendirilebilmesi için geçmişte ışıma sinyalinin sıfırlanmış olması gerekir. Sıfırlama işlemi radyasyon dozimetreleri ile çanak, çömlek, porselen gibi arkeolojik malzemelerde ısıtma, jeolojik örneklerde ise gün ışığına maruz kalma ile gerçekleşir (Bøtter-Jensen, 2000; Esmâ Buluş Kırıkaya, 2002).

1940' lı yıllarda ışığa duyarlı fotoçoğaltıcı tüpün ortaya çıkmasına kadar, termal uyartımlı ışıma yöntemi sadece mineral tanımlamalarında

kullanılmaktaydı. 1950'li yılların başlarında, Daniels ve arkadaşları (1953) nükleer radyasyon dozunu ölçmek için TL kullanmaya başladılar. Bununla birlikte TL'nin jeolojik ve arkeolojik yaş tayininde de kullanılabileceğini öne sürdüler. Arkeolojik çömlek parçaları üzerindeki ilk termal uyartımlı ışımaya çalışmaları 1960 yılında Bern (Grogler et al., 1960) ve Kaliforniya (Kennedy and Knopff, 1960) üniversitelerinde yapıldı. Daha sonra bu yöntem arkeolojik ve jeolojik materyallerin (çömlek, yanmış çakmaktaşı, yanmış taşlar, volkanik lavlar, stalagmitik kalsit gibi) (Aitken et al 1964, 1968; Debenham ve Aitken, 1984; Göksu et al., 1974; Mejdahl, 1969; Miallier, 1983) ve sedimentin (Morozov, 1968; Wintle and Huntley 1979, 1980) tarihlendirilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandı (McKeever, 1985). Termal uyartımlı ışımaya tarihlenmenin metodolojisi 1985 yılında Aitken tarafından ayrıntılı bir şekilde düzenlendi (Hossain, 2003).

Işıma yöntemi ile tarihleme çalışmalarının yaş aralığı bir seramik veya çömlek parçası için bu örneğin üretildiği dönemi kapsar. Tipik bir çakmaktaşı veya sediment (yanmış veya yanmamış) için ise 10 ile 300.000 yıl arasındadır. Elde edilen yaşlar üzerindeki hata oranı yaklaşık $\pm\%3-8$ aralığında olmakla birlikte son zamanlardaki teknik gelişmelerin ışığında $\pm\%1-2$ 'ye kadar düşebilmektedir.

Işıma tarihleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan malzemeler kuvars ve feldspattır. Bu mineraller ışımaya sinyali üretebilme yeteneğine sahiptirler ve doğada bol miktarda bulunurlar. Yayınlanan ışımaya sinyalinin şiddeti minerallerin radyasyona karşı duyarlılığına ve absorblanan toplam radyasyon dozuna bağlıdır. Bu nedenle kuvars ve feldspat mineralleri doğal bir radyasyon dozimetresi olarak kullanılabilirler (Bøtter Jensen, 2000).

Bu araştırmada kullanılan malzeme yerkabuğunda da bol miktarda bulunan kuvars mineralidir. Bu mineral 1970’li yıllardan beri TL tarihlenmesinde oldukça yoğun bir Şekilde kullanılmıştır (Aitken, 1985; Veronese et al., 2008; Hütt et al., 2001; Gökso et al., 2001; Benea et el., 2007; Sampson et al., 1972; Wang and Zhou, 1983; Wintle and Murray, 2006).

Yeryüzü yüz binlerce yıldan beri sayısız insana ev sahipliği yapmıştır. Kurulan yerleşim merkezleri toprak, kum ve suyun etkisiyle yok oldukça, aynı toprakları başka insanlar devralmıştır. İnsanoğlunun yaşam süresinin kısa olması nedeniyle geçmiş olayların canlı tanığı olmasına imkân yoktur. Bunu öğrenebileceğimiz tek kaynak, tarihi kayıt ve kalıntılardır. Eski insanların yaşam alanlarının dışında yazıtlar, haritalar, çanak ve ömlükler, süs eşyaları, geçmişi anlamada çok büyük rol oynar. Bu malzemeler başka hiçbir Şekilde ulaşılamayacak önemli bilgiler taşır ve insanların geçmişte neler yaşadıklarını öğrenmemize doğrudan imkân sağlarlar.

Günümüzde fizik ve kimya başta olmak üzere bazı fen bilimleri dallarında, arkeolojik ve jeolojik olayların oluşumlarından günümüze ne kadar süre geçtiğini tespit etmek amacıyla yapılan çalışmalar, tarihlendirme veya yaş tayini olarak adlandırılmaktadır.

Bu alışmada İzmir Yeşilova Höyüğü arkeolojik örneklerinden elde edilen kuvars mineralinin termal uyartımlı ışıma yöntemi ile incelenerek tarihlendirilmesi amaçlanmıştır. 2005-2006 yılında gerçekleştirilen kazı çalışmaları sonucunda elde edilen arkeolojik bulgulara göre Yeşilova Höyüğü’nün sadece İzmir’in değil aynı zamanda Ege Bölgesi’nin bilinen en eski yerleşim merkezlerinden biri olduğu anlaşılmıştır. Kazı alanının

alt katmanlarının keramikleri ve buluntuları İzmir ve çevresinin en erken Neolitik Çağ bulgularını oluşturmaktadır.

Tarih öncesi uygarlığında, oluşan yeni iklim şartlarına ve onun oluşturduğu çevreye uyum sağlayan insanoğlunun besin üretimine geçtiği, tarım, yerleşik yaşam, hayvan evcilleştirme ve çanak çömlek yapımının gerçekleştirildiği döneme Neolitik Çağ adı verilir. Bu dönem birbiri içerisine geçen karmaşık bir yapıdan oluşur ve dönemi simgeleyecek tek bir olay yoktur (Harmankaya ve ark., 1997).

Yeşilova Höyüğü kazı alanı İzmir ve çevresindeki ilçelerin kültür tarihlerine bakışın değişmesinde de etkili olmuş, 5 binyıl ile özleştirilen İzmir tarihini arkeolojik bulgularla en az 3 binyıl daha eskiye gittiği öngörülmüştür. Bu alanda ışına teknikleri kullanarak yapılacak tarihleme çalışmaları arkeolojik verileri bilimsel olarak değerlendirmiş olacaktır.

Bu tez çalışması şu şekilde oluşturulmuştur: Tezin 2. bölümünde ışına olayının tanımlanması, tarihsel gelişimi, ölçümlerde kullanılan termal uyarımlı ışına tekniği ve fiziksel mekanizması, ışına tarihleme olayının genel prensipleri, eşdeğer doz ve yıllık doz kavramları ve ışına sinyaline etki eden faktörler hakkında genel bilgiler verilecektir.

Tezin 3. bölümünde çalışmada kullanılan örneklerin ait olduğu bölge ve örneklemelemlerin nasıl yapıldığı, radyoaktivite analizinde ve ışına sinyali ölçümlerinde kullanılan sistemler hakkında ayrıntılı bilgi, yıllık doz ve eşdeğer doz ölçümlerinde kullanılan teknikler hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Tezin 4. bölümünde yapılan çalışmaları ile elde edilen sonuçlara ilişkin tartışma ve yorumlar sunulacaktır.

Sonuç bölümünde ise çalışmamız hakkında genel bir değerlendirme verilmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1 Işıma ve Tarihçesi

Bir malzeme iyonize radyasyona maruz bırakıldığında gelen radyasyonun enerjisinin bir kısmı kristal örgü içerisinde depo edilir. Tutulan enerjinin kristal uyarıldığında görünür ve/veya kızılötesi bölgede daha uzun dalga boylu ışık olarak yayımlanması olayına ışıma (lüminesans) adı verilir (Stoke kanunu). Burada yayımlanan ışığın dalga boyu malzemenin karakteristik bir özeliğidir.

İlk termal uyarımlı ışıma (Termolüminesans, TL) gözlemleri, 1663 yılında Robert Boyle tarafından feldspat ve elmas gibi doğal mineraller üzerinde yapılmıştır.

18. yüzyılda topaz, kalsit ve ametist gibi minerallerin TL özellikleri belirlenmiştir. Yüzyılın sonunda ise TL ile fosforesans ilişkisi tribolüminesans olayıyla kanıtlanmıştır.

“Lüminesans” terimi (Latince zayıf ışık anlamına gelir) ilk defa 1888 yılında, Wiedemann tarafından bir maddeden termal artalanın üzerinde gözlemlenen şiddetli ışık yayılımını tanımlamak için kullanılmıştır. Bu tanımlama önemli bir özeliği yansıtmakla birlikte lüminesansı, Rayleigh ve Raman saçılması, Cerenkov ve lazer radyasyonu gibi yansıyan ve kırıldıktan sonra yansıyan diğer ışıma tiplerinden ayıramamıştır (Vij,1998). Vavilov 1951 ve 1952 yıllarında Wiedemann tarafından yapılan tanımlamaya süreklilik kriterini eklemiştir. Wiedemann ve Schmidh 1895 yılında katod ışınlarına maruz bırakılan maddelerin yayımladığı termolüminesans ışımasını

gözlemlemiş ve TL aktivatörler üzerine ilk sistematik araştırmayı yapmışlardır (Vij, 1998).

İlk parlaklık eğrisi (sıcaklığa karşı ışık şiddetinin ölçülmesi) Przi Bram ve arkadaşları tarafından (1922-1923) Viyana'da Radyum Enstitüsünde kaydedilmiştir.

Urbach (1930) tuzak analizleri için TL'nin uygun bir araç olduğunu ileri sürmüştür. Işımanın kinetiği için ilk teorik model (birinci derece) 1945 yılında Randall ve Wilkins tarafından ileri sürülmüştür. Daha sonra 1948 yılında Garlick ve Gibson bunu ikinci dereceden kinetik için genişletmişlerdir. Bu sırada safsızlığın izlenmesi ve metal izleyicilere aşılabilir dozimetre malzemelerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yoğunlaştırılmıştır (Pagonis et al., 2006). Daniels ve arkadaşları (1953) radyasyon dozimetresinde radyasyon doz ölçümleri için uygun bir teknik olarak TL'yi kullanmışlardır. Aynı zamanda bu tekniği arkeolojik ve jeolojik malzemelerin yaşlarının belirlenmesinde kullanmayı önermişlerdir.

1950'li yıllarda uyartım kaynağı olarak ışık kullanılmaya başlanmıştır. Antonov-Romanovskii ve ark. (1956) tarafından optik uyartımlı ışımanın ilk kez dozimetri çalışmaları için önerilmesiyle birlikte radyasyon dozimetrisinde yaygın olarak kullanılmıştır (Bölükdemir, 2007).

Zeller (1957) tarafından soğurulan doz ile TL şiddeti arasındaki ilişkinin bulunması jeolojik örneklerin tarihlendirilmesinin temelini oluşturmuştur. 1968 yılında Zeller hem doğal hem de yapay TL'yi, toplam radyasyon dozunun bir göstergesi olarak kullanmıştır (McKeever, 1985; McKeever et al., 1995).

1960 yılında ilk kez Johnson tarafından, biyojenik kalsiyum karbonat üzerine TL uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sonraki yıllarda, TL tekniği jeolojik, paleontolojik ve arkeolojik yaş tayinleri için de kullanılabilir hale getirilmiştir.

Kennedy ve Knoff 1960 yılında eski çömlek örneklerinde TL'yi keşfetmiştir. Çömleğin yapım aşamasında sertleştirmek amacıyla uygulanan fırınlama işlemi ile malzeme üzerinde birikmiş TL sinyali sıfırlanacaktır. Böylece çömlek tarafından soğurulan radyasyon dozu, üretiminden bu yana geçen zamanın bir fonksiyonu olur. TL tarihleme metodunun arkeolojide hemen uygulama alanı bulmasıyla birlikte birçok yeni teknik geliştirilmiştir (Aitken, 1990a). Bunlar arasında bugün de hala kullanılan 1966 ve 1973 yıllarında Fleming tarafından geliştirilen kuvars içerik (quartz inclusion) ve ön-doza (pre-dose) teknikleriyle, Zimmerman (1967) tarafından geliştirilen ince tanecik (fine grain) teknikleri en çok göze çarpanlardır (Fleming, 1966, 1973; Aitken, 1985, 1990b). Isıtma, TL saatini etkin olarak sıfırlayabildiği için volkanik aktivitelerle ilgili olaylar da TL yöntemi ile tarihlendirilmiştir.

1979 yılında Wintle and Huntley tarafından ısıtılmamış kuvars ve feldspat taneciklerinden gelen TL sinyalinin örneğin güneş ışığına maruz bırakılmasıyla azaldığının bulunmasıyla birlikte TL sedimentler için potansiyel bir tarihleme metodu olarak keşfedilmiştir (Wintle, 1997). Wintle ve Huntley (1979) tarafından yapılan çalışmalara göre, güneş ışığının TL sinyalini daha fazla ağartmayla ortadan kaldırılamayan küçük bir kalıntıya kadar azaltabildiği bulunmuştur (Zhiyong, 1999). Bu azalma başlangıçta çok hızlı olmakla birlikte daha sonra gitgide yavaşlar. Bunun bulunmasından önce, USSR'deki bir grup araştırmacı, hem aşınmanın hem de öğütmenin TL sinyalinin sıfırlanmasında rol aldığı varsayımına dayanarak, lösleri tarihlendirmişlerdir. Yapılan bu çalışmalardan sonra

TL tarihlleme sediment ve çömlek tarihlleme için önemli bir araç olmuştur (Aitken, 1985, 1990b).

Daha sonra jeolojik sediment örneklerinin tarihlendirilmesi için OSL'nin geliştirilmesine rağmen (Huntley et al., 1985) seramik tarihlleme çalışmaları için TL metodu kullanılmaya devam etmiştir.

Işıma yöntemleri 1990'lı yılların sonlarında Göksu ve arkadaşları tarafından geriye dönük dozimetri (Retrospektif dozimetri) alanında başarı ile kullanılmaya başlanmıştır (Göksu et al., 1998; Hübner and Göksu, 1997; Adamiec et al., 1997).

2.2 Işıma Çeşitleri

Jablonsky (1935) modeline göre katılar iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldıklarında radyasyon enerjisinin soğurulmasıyla uyarılırlar. Işıma yayımlanması, uyarılmanın ardından yayımlanma ömrü olarak bilinen bir τ_c karakteristik zamanda meydana gelir. Işıma bu zamana göre iki alt sınıfa ayrılabilir. $\tau_c < 10^{-8}$ s ise "floresans", $\tau_c > 10^{-8}$ s ise "fosforesans" olarak adlandırılır.

Floresans sadece uyarılma devam ettiği sürece devam eden bir ışıma sürecidir. Floresansın bozunum zamanı sıcaklıktan bağımsızdır ve E uyarılmış seviyesinden G taban seviyesine geçiş olarak tanımlanabilir (Şekil 2.1 (a)). Emisyon uyarılmış düzeyin ömrü ile ölçülür. Ömür pikosaniye kadar kısa ve bazı özel durumlarda milisaniye kadar uzun olabilir. Fotolüminesans, katodolüminesans, kemilüminesans, biyolüminesans ve tribolüminesans farklı kaynaklarla (fotonlar,

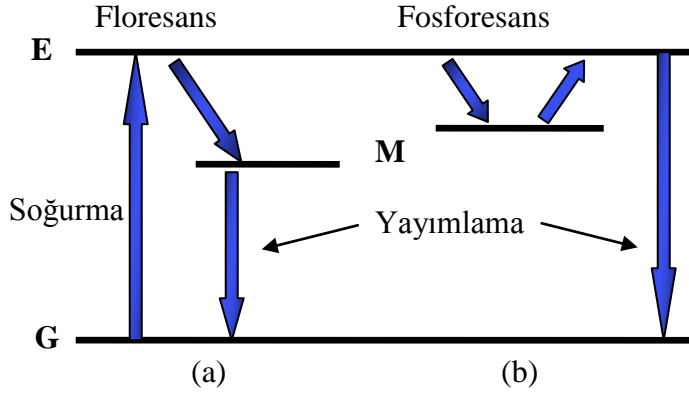
elektronlar, kimyasal enerji, biyokimyasal ve mekanik enerji gibi) uyarılmış floresans olaylarıdır.

Işıma olaylarına yayınıma neden olan uyartım türünü yansıtacak şekilde farklı isimler verilmiştir (Çizelge 2.1) (McKeever, 1985).

Çizelge 2.1 Uyartım mekanizmasına göre ışıma türleri.

Işıma Olayı	Uyartım Türü
Radyolüminesans	Radyoaktif Işımlar
Fotolüminesans	UV yada optik uyartım
Katodolüminesans	katot ışınları
Elektrolüminesans	elektrik alan
Tribolüminesans	kristallerin kırılma ve parçalanması
Kemilüminesans	fosfor veya organik bir molekülün kimyasal tepkimeye girmesiyle açığa çıkan kimyasal enerji
Biyolüminesans	biyolojik maddelerden yayımlanan ışıma
Termolüminesans	malzemenin ısıtılması
Optik uyarmalı lüminesans	ışık

Fosferasans ise uyarılma kaynağının ortadan kalkmasının ardından da gözlenebilir. Fosferasansın bozunum zamanı sıcaklığa bağlıdır. Jablonski modeline göre bir elektron G taban seviyesinden bir yarı kararlı (elektron tuzağı) seviyeye uyarıldığında (M) (iyonize radyasyon ile), bu düzey seçim kurallarıyla tamamen veya kısmen yasaklı olduğu için, foton yayımlaması ile taban seviyesine (örneğin M'den G'ye geçiş) dönemez.



Şekil 2.1 Floresans ve fosforesans olaylarının mekanizması.

Eğer sistemin G-M enerjisini soğurulmasıyla ulaşabileceği daha yüksek bir uyarılmış seviyenin (E) var olduğu ve bu M-E ışınımlı geçişinin izinli olduğu kabul edilirse, bu durumda bu M-E enerjisi oda sıcaklığında termal yollardan sağlanabilir. Böyle bir durumda uyarım kaynağı ortadan kaldırılsa bile sürekli bir ışımaya yayımı (fosforesans) gözlemlenebilir. Bu yayımlanma, yarı kararlı düzeyde herhangi bir yük kalmayınca kadar azalan bir şiddet ile devam edecektir.

E-M seviyeleri arasındaki fark tuzaklanmış bir yük taşıyıcısının serbest kalması için gerekli enerjiyi verecektir. Buna termal aktivasyon enerjisi veya tuzak derinliği adı verilir. Birim zamanda tuzaklanmış bir elektronun tuzaktan kaçabilme olasılığı veya saniyedeki olasılık hızı Arrhenius eşitliği ile verilir

$$p = s \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.1)$$

Burada

E = tuzak derinliği (eV) (E-M düzeyleri arasındaki enerji farkı)

k = Boltzmann sabiti

T = mutlak sıcaklık (K)

s = frekans faktörü (s^{-1}) dür.

Tuzak bir potansiyel kuyusu olarak düşünülürse frekans faktörü elektronun tuzak içindeki çarpma sayısının frekansına bağlıdır. s 'nin en büyük değeri örgü titreşim frekansına, yani 10^{12} - 10^{14} s^{-1} karşılık gelir. Fosforesans olayında yayımlanan ışıma yarı kararlı düzeyde geçirilen zamana bağlı olarak τ süresi kadar gecikmiş olur. Gecikme zamanının E ve M düzeyleri arasındaki enerjiye bağlılığı

$$\frac{1}{\tau} = s_0 \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \quad (2.2) \quad \text{şeklinde verilir (Vij ,1998).}$$

10^{-4} saniye gibi kısa zaman gecikmeleri için, floresans ve fosforesans arasında ayırım yapmak zordur. Bunun tek yolu olayın sıcaklığa bağlı olup olmadığının kontrol edilmesidir. Sistem daha yüksek bir sıcaklığa yükselirse M'den E seviyesine geçişin hızında bir artma olacak ve bunun sonucunda fosforesans daha parlak olacak ve bozunma zamanı yarı kararlı düzeyin daha hızlı boşalması nedeniyle kısalacaktır. Bu durumda fosforesansa, termoluminesans adı verilir. Uyarılma ve ışık yayımı arasındaki gecikme dakikalardan 10^{10} yıla kadar uzanabilir.

Yayımlanan ışımının şiddeti, soğurulan çevresel radyasyon dozu ile doğrudan orantılıdır. Bu şekilde ölçülen ışıma şiddetinden yararlanarak örneklerin yaş tayinleri yapılabilmektedir.

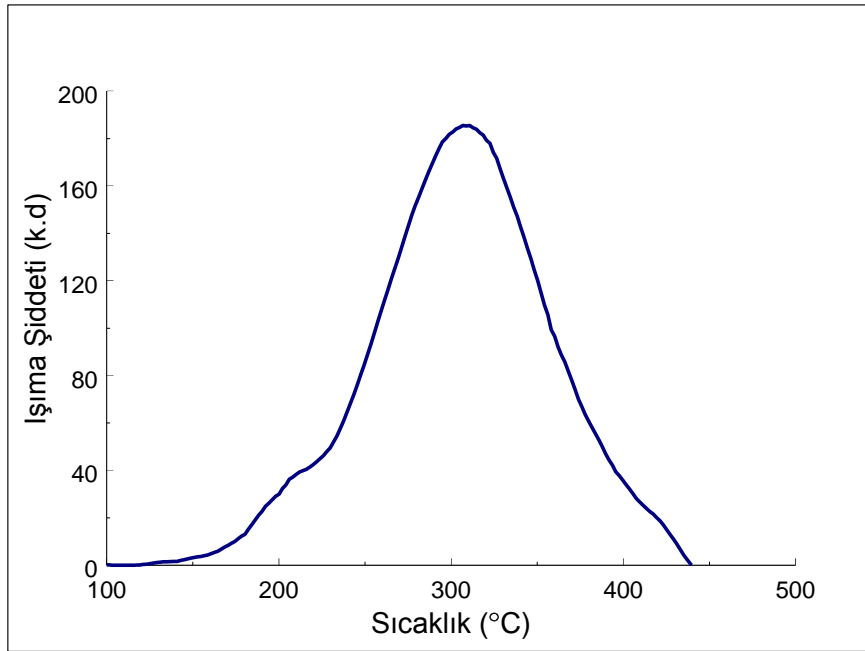
2.3 Termal Uyarımlı Işıma

Işığa duyarlı fotoçoğaltıcı tüpün 1940'lı yıllarda icat edilmesine kadar TL'nin tek kullanım alanı jeolojik bir araç olarak mineral tanımlamasında kullanılmasıdır. 1950'lerin başlarında, Farrington Daniels ve arkadaşları (1953) nükleer radyasyon dozunun ölçülmesi için termal uyarımlı ışımaya kullanmaya başlamışlar ve jeolojik ve arkeolojik yaşın belirlenmesi için TL yöntemini önermişlerdir. Daha sonra California ve Bern Üniversitelerinde ilk defa eski bir çömlek parçasından TL gözlemlenmiştir. 1960'lı yıllar boyunca da TL, arkeolojik örneklerin tarihlendirilmesi için geliştirilmiştir. Fırınlanmış kilden başka diğer materyallere de TL tarihleme metodunun uygulanabileceği konusundaki ilk açılım Göksu ve ark. (1974) tarafından yapılmıştır (Aitken, 1985).

TL yöntemi ile yalıtkan ve yarı iletken yapılardaki tuzak ve tekrar birleşme merkezlerinin parametreleri (tuzak enerjisi, frekans faktörü, kinetik mertebeye v.b) ve yapı kusurları incelenebilir. Aynı zamanda çevresel, kaza, medikal ve uzay dozimetri -uyarım enerjisi olarak X-ışınları ve gama ışınları gibi fotonların (medikal tarama ve tedaviler gibi), yüklü parçacıkların (uzay dozimetri, tümör tedavisi gibi) veya alfa, beta ve gama radyasyonları gibi radyojenik yayımların (doğal çevre dozimetri gibi) kullanılabilirdiği- gibi alanlarda dozun belirlenmesinde geniş kullanım alanına sahiptir (Jain et al., 2007).

TL tekniğinde bir örnek (kuvars, feldspat, zirkon gibi) laboratuvarında sabit bir hızda yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldığında uygulanan sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ışık yayımı gözlenir. Bu ışımaya elde edilen eğriye ışımaya eğrisi (glow curve) adı verilir. Şekil 2.2'de Yeşilova Höyüğü arkeolojik alanından elde edilen kuvars örneğinin

doğal sinyaline ait bir ışıma eğrisi görülmektedir. Isı ile uyartılma boyunca yayımlanan ışımanın toplamı, örneğin ışığa veya ısıya en son maruz kaldığı günden bugüne kadar soğurduğu radyasyon dozunun bir ölçümüdür. Bu doz arkeolojik doz olarak adlandırılır. Bilinen radyasyon dozlarına karşı sinyallerin kalibrasyonu yoluyla, soğurulan doz elde edilebilir ve çevresel doz hızının farklı bir tanımlanması yoluyla örneğin yaşı belirlenebilir.



Şekil 2.2 Yeşilova Höyüğü arkeolojik alanından elde edilen kuvars örneğinin doğal sinyaline ait TL eğrisi.

Elektronlar oda sıcaklığında bile tuzaklardan serbest kalabildiği için 200 °C'nin altındaki ışıma pikleri tarihleme çalışmaları için tercih edilmemektedir. Uygun kararlı ışıma pikleri genellikle 300°C'nin

üzerinde bulunur. Bununla birlikte bazı minerallerde oda sıcaklığında bile yüksek sıcaklık ışımaya piklerinde anormal sönümlenme (anomalous fading) gözlenmiştir. Bu anormal sönümlenme tünel olayı ile açıklanabilir (Hossain, 2003). TL tarihleme birkaç 100 y dan 1 My'ya uzanan geniş bir yaş aralığını kapsar. Üst limit uzun süreli sönümlenme ve/veya TL sinyalinin sönümlenmesinden etkilenebilmektedir ve bölgedeki malzemenin özelliğine göre değişebilmektedir (Lian and Roberts, 2006; Hossain, 2003).

2.3.1 Termal uyarımlı ışımaya mekanizması

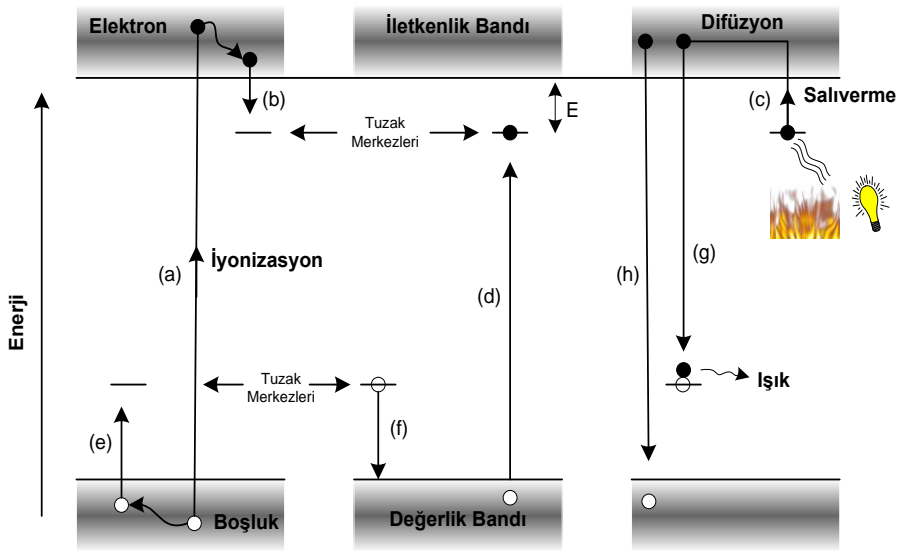
Gerçekte çok karmaşık olmakla birlikte ışımaya sebep olan temel olaylar enerji seviyeleri modeline göre (Şekil 2.3) tanımlanabilir (Aitken, 1998).

Bu modelde ideal bir kristal, düşük enerji bandı (değerlik) ve tamamen boş durumdaki yüksek enerji bandı (iletkenlik) ile karakterize edilebilir. Bunlar yasak enerji bandı adı verilen bir bölge ile birbirlerinden ayrılmışlardır. İdeal bir kristalde yasak bant içerisinde hiçbir elektron yer alamaz. Bununla birlikte doğada bulunan herhangi bir kristalde mükemmel dizilmiş kristal yapıyı kusurlar bozar. Bu kusurlar kayıp atomlar veya safsızlıklar (yer değiştirme veya araya girme gibi) şeklinde olabilir. Bunlar enerji seviyelerinin arasında yasak bölgenin oluşmasına neden olur. Yasak bant içerisindeki tuzaklar lokalize enerji seviyeleri olarak da adlandırılır. Bu enerji seviyeleri ışımaya olayında anahtar rolü oynar. Başka bir deyişle, ışımaya örgü kusurlarını gerektirir (Vandenbergh, 2004).

Doğada düşük seviyeli bir nükleer radyasyon her zaman bulunur. Bu radyasyon iyonlaştırıcı bir etkiye sahiptir ve kristal ile etkileştiğinde

değerlik elektronu uyarılabilir ve değerlik bandından iletkenlik bandına çıkar (Şekil 2.3 (a) geçişi). Yaratılan her bir elektron için geride hol veya deşik adı verilen bir elektron boşluğu vardır ve böylece iyonizasyon ile birlikte bir elektron-boşluk çifti oluşur. Elektron ile holün her ikisi de kristal boyunca hareket etmekte serbesttir. Bu şekilde iyonlaştırıcı radyasyonun enerjisi kristal içerisinde tutulur. Uyarılmış haldeki elektron bir hol ile yeniden birleşmek için değerlik bandına dönebilir. Bu, serbest elektronun radyasyon kaynağından soğurduğu enerjiyi bırakmasına neden olur (Şekil 2.3 (h) geçişi). Aslında yüklerin çoğu doğrudan birleşirken diğer bir olasılık da elektron ve holün kusur merkezlerinde tuzaklanmasıdır. Bu durumda radyasyon enerjisi kristal örgü içerisinde geçici olarak saklanır ve sistem yarı kararlı durumdadır denilir. Elektron-boşluk çiftleri birbirlerine ulaşıp yasaklanmış bant içinde tuzaklanıncaya (elektronun tuzaklanması için (b) geçişi boşluk için ise (e) geçişi) kadar kristal içinde dolaşabilir. Bu tuzaklar elektronları çok uzun süre depo edebilirler. Tuzaklardan kurtulmak için gerekli olan enerji miktarı iletkenlik bandı altındaki tuzakın E derinliği ile belirlenir. Bu tuzak derinliği bir elektronun tuzakta ne kadar süre boyunca kalacağını belirler. Bazı tuzaklar için bu süre, oda sıcaklığında milyonlarca yıl mertebesine kadar uzanabilmektedir (Vanderberghe, 2004). Daha derin tuzakları boşaltmak için, daha fazla enerji gerekmektedir ve bu nedenle bu tuzaklar uzun zaman boyunca kararlıdır. Tuzaklanmış elektron ve boşluk sistemine aktarılacak olan enerji, kristalin ısıtılması ya da belirli bir dalga boyunda ışığa maruz bırakılması ile sağlanabilir ((c) ve (f) geçişleri). Tuzaktan kurtulan elektronlar tekrar tuzaklanabilir veya yeniden birleşme merkezi adı verilen merkezlerde bir hol ile birleşebilir ((g) geçişi). Bu merkezler elektronlar için çekici kusur alanlarıdır. Yeniden birleşme ısı (radyatif olmayan yeniden birleşmeler) veya ışık (radyatif yeniden birleşmeler) ile sonuçlanır. Radyatif yeniden birleşmenin olduğu tuzak alanları ışıma merkezleri olarak adlandırılır ve ortaya çıkan ışık,

tuzaklardan elektronların kurtulması için kullanılan uyartım kaynağına göre, termoluminesans veya optik uyartımlı lüminesans olarak adlandırılır. Yayımlanan ışığın miktarı kusurlarda depolanan elektronların sayısı dolayısıyla nükleer radyasyondan absorblanan enerji miktarı ile orantılıdır. Şiddet ise birikme zamanı ile ilişkilidir, çünkü enerji belirli bir hızda absorblanır. Yayımlanan ışımın rengi (dalgaboyu) yeniden birleşmenin meydana geldiği ışım merkezinin tipine bağlıdır.



Şekil 2.3 TL mekanizmasını gösteren basitleştirilmiş enerji bant modeli (McKeever, 1985).

Herhangi bir mineralde ışımın nasıl oluştuğuna ilişkin detaylar bugün hala çok açık değildir. Bu model sadece laboratuarda sıkı safsızlık kontrolleri ve ısı işlemleri altında büyütülen kristaller içindir (Vanderberghe, 2004) .

Elektronlar tuzaklardan kurtulup holler ile yeniden birleştikçe ışıma şiddeti önce artar daha sonra tuzakların boşalmasıyla yavaşça azalır ve böylece sıcaklığa bağlı olarak çizilen ışıma şiddeti grafiği eğri şeklinde elde edilir. Bu eğriye ışıma eğrisi adı verilir.

Eğer elektronun serberst kalması için uyartım kaynağı olarak ışık kullanılıyorsa ışıma, optik uyartımlı ışıma (OSL) ısı kullanılıyorsa termal uyartımlı ışıma veya termolüminesans (TL) olarak adlandırılır. Optik uyartımlı ışıma içerisinde kızılötesi uyartımlı ışıma (IRSL) ve yeşil-ışık uyartımlı ışımanın (GLSL) yanısıra, foto-uyartımlı ışıma (PTTL) ve foto ışıma (PL) da bulunmaktadır.

2.4 Kusurlar ve Tuzaklar

Kusurlar modern teknolojilerde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Safsızlıkların, fosforların renklerini kontrol etmek için kullanıldığı televizyon ekranları kusur teknolojilerinin uygulaması için iyi bir örnektir.

Doğada bulunan hiçbir kristal mükemmel halde değildir ve yapısında bazı kusurlara sahiptir. Bu kusurlar kristalin temel düzenini değiştirmemekle birlikte malzemenin elektrik, optik ve esneklik gibi fiziksel özelliklerini etkilemektedirler. Kristal içerisindeki bu kusurlar 3 ana başlıkta incelenebilir.

1. Noktasal kusurlar

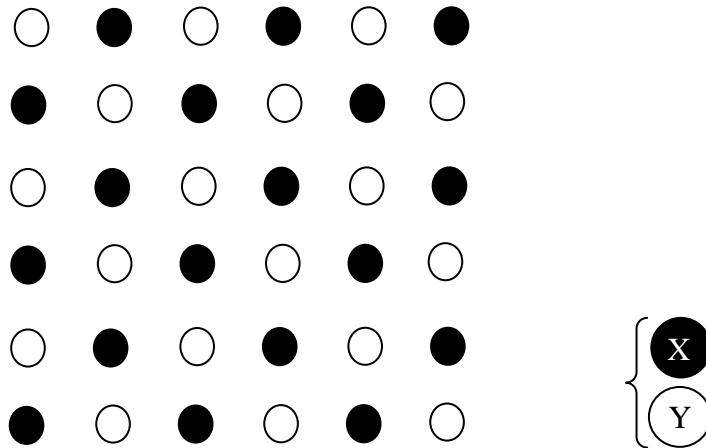
2. Çizgisel kusurlar (kenar ve vida dislokasyonları)

3. Düzlemsel kusurlar (ikiz sınırlar, alt tane sınırları, tane sınırları)

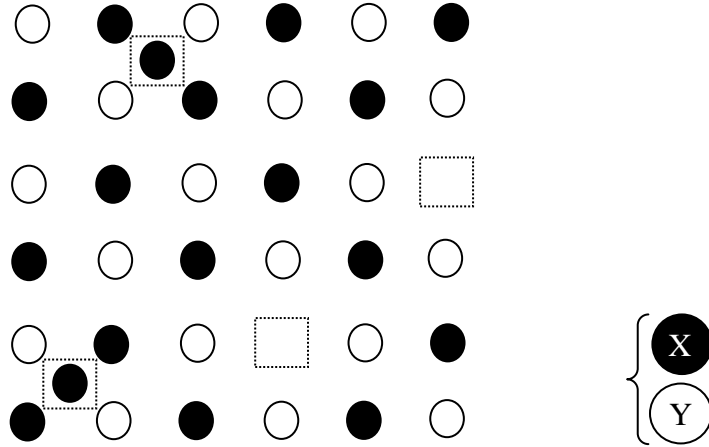
Termal uyartımlı ışımaya kristal yapı içerisinde bulunan noktasal kusurlardan kaynaklanır. Aşağıda bu kusur yapıları hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

Noktasal kusurlar Frenkel kusuru, Schottky kusuru ve safsızlık kusuru olmak üzere üç ana başlık altında incelenebilir.

Frenkel kusuru tek bir iyonun örgüdeki yerinden ayrıлып geride bir boşluk oluşturması ve yakın mesafedeki başka bir ara noktaya yerleşmesiyle meydana gelir. Frenkel kusurlarının oluşmasını sağlayan termal titreşimlerdir. Böylece teorik olarak 0 K'deki bir kristalde kusur olmayacaktır. Bu olay Sovyet fizikçi Yakov Frenkel tarafından 1926'da keşfedilmiştir. Bu hatanın oluşum enerjisi boşluk oluşum enerjisi ile intersitiyel hatası oluşum enerjilerinin toplamına eşittir. Bu hatada aynı sayıda boşluk ve intersitiyel hata vardır. Bu nedenle kristalin kütlesi ve hacmi değişmez.

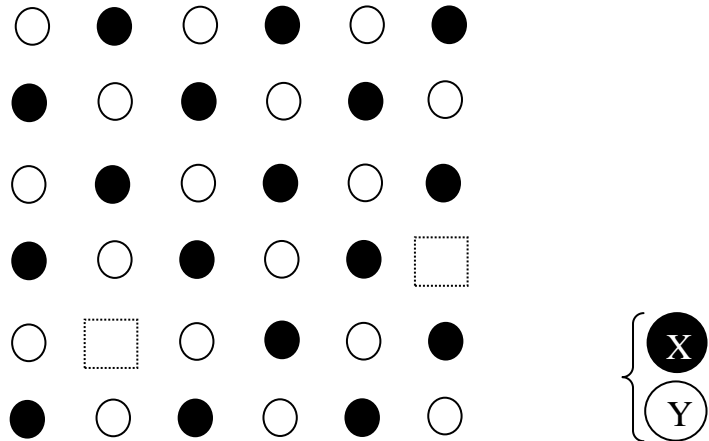


Şekil 2.4 İdeal bir kristal örgüsünün şematik gösterimi



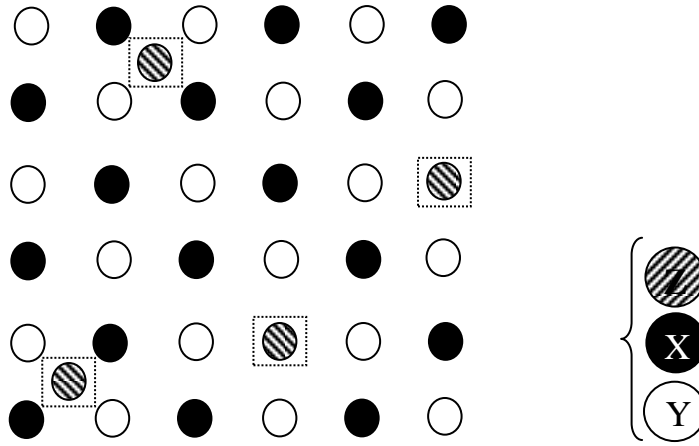
Şekil 2.5 Frenkel kusurunun şematik gösterimi

Schottky kusuru adını Walter H. Schottky'den alır. Bu kusur zıt yüklü iyonların örgü alanlarını terk edip arkalarında boşluk bırakmasıyla oluşur. Her boşluk ayrı bir Schottky kusurudur. Normal olarak bu kusurlar kristalin yoğunluğunda azalamaya sebep olacaktır.



Şekil 2.6 Schottky kusurunun şematik gösterimi

Safsızlık kusurları yabancı atomların kristal örgüsündeki boşluklara veya ara noktalara yerleşmesiyle oluşur. Bu hatanın oluşumu ile kristalin enerjisi artar. Bu kusurlar bilgisayar cipleri ve diğer elektronik cihazlarda kullanılan yarıiletkenlerin elektriksel davranışında önemli bir rol oynar. Dışarıdan gelen yabancı bir atom eğer kristal örgüsündeki ara yere değil de kristalin örgü noktalarından birine yerleşmişse buna yabancı atom hatası denir.



Şekil 2.7 Safsızlık kusurunun şematik gösterimi

Yüksek doz seviyeleri, termoluminesans dozimetrik sisteminin kurulum ve kullanımında önemli olan, duyarlılık azalması, saturasyon etkisi v.b. gibi TL malzemelerinde istenmeyen ve genellikle radyasyon hasarı olarak adlandırılan etkilere neden olabilmektedirler. Bu yüzden ışınlama süresince kusur yapılarındaki değişiklikler önem taşımaktadır.

Fotonlar, elektronlar, nötronlar, yüklü ve yüksüz parçacıklar kullanılarak yapılan radyasyon bombardımanı, örgüdeki kristal atomların normal pozisyonlarını değiştirmesi, boşluk ve intersitiyel meydana getirmesi gibi yer değiştirmeler ile kusur yaratabilirler. Üretilen

kusurların sayısı radyasyonun akısı ve ışınlama zamanıyla orantılıdır. Işınlamadan önce gerçek kristal, zaten boşluk, iki boşluk, intersitiyel atom ve iyon, intersitiyel ve/veya yerine geçen safsızlıklar v.b. gibi birçok farklı çeşit kusura sahiptir. Bunlar elektronlar ve deşikler için tuzak olarak davranabilirler. Işınlama süresince, iyonizasyon ile meydana gelen elektronlar ve deşikler kusurlar üzerinde tuzaklanabilir veya elektronlar, tuzaklanmış deşikler ile yeniden birleşebilir veya tersi olabilir. Yeniden birleşme olasılığı tuzaklanma olasılığından çok daha büyük olduğu için ışınlamanın sonunda yüklerin çok küçük bir yüzdesi tuzaklanmış olarak kalır.

2.5 TL Olayına Matematiksel Yaklaşım

Termolüminesans yayımı hakkındaki matematiksel analizin amacı, termolüminesans mekanizması hakkında yeterli bir bilgiye ulaşmaktır. Teorik olarak TL, katının bant yapısı, safsızlık ve örgü düzensizlikleri ile doğrudan ilişkilidir. Kristal içindeki yük taşıyıcıları zıt işaretli iyonlar etkisiyle serbest yük taşıyıcıları ile etkileşebilmek ve onları tuzaklayabilmek için esas yerlerinden uzaklaşırlar ve arkalarında bir hol bırakırlar. Bu şekilde meydana gelen yapılar merkez olarak tanımlanabilir. Bundan farklı olarak, iyonlar intersitiyel pozisyonlara yayılabilir ve ideal örgü geometrisini bozabilir. Bir diğer merkez yapısı ise safsızlıkların meydana getirdiği oluşumlardır. Safsızlık iyonlarının boyutları ve değerlikleri genellikle komşu iyonlardan farklı olduğu için örgü yapısını bozabilmektedirler. Atomik bakış açısından bir kusur, etkileştiği yük taşıyıcılarının işareti, sayısı ve son olarak bulunduğu uyarılmış haller aracılığı ile tanımlanabilir. Yani her bir merkez karakteristik bir enerjiye karşılık gelmektedir. Bu ifade, karakteristik enerjinin sağlanmasının tuzaklanmış yükleri serbest bırakacağı, bu

şekilde merkezi yok edeceği ve yerel düzenin durumunu yeniden düzenleyeceği şeklinde tanımlanabilir (McKeever, 1985) .

Bu nedenle bir kristalin bant yapısını, yasak boşluk ile birbirinden ayrılmış değerlik ve iletkenlik bantlarından ve bu iletkenlik bandının altındaki yasak boşluk içinde farklı derinliklerde zıt işaretli serbest yük taşıyıcılarının tuzaklandığı bölgeler olarak gösterilen kusurlardan meydana gelen bir yapı olarak tarif edilebilir. Yasak bandın haritalandırılması oldukça karmaşıktır. Bu nedenle deneysel TL yayımı çalışmaları, TL olayına ilişkin en anlamlı parametreler ile ilgili ayrıntılı bilgiyi elde etmek için tatmin edici bir araç sağlayabilir. Bu parametreler her bir bölge için, karakteristik enerji (E), geçiş frekansı ile ilişkili frekans faktörü (s) ve kapsadığı olayın kalitesini ifade eden bir kinetik mertebedir (b). Kinetik mertebe 1 ile 2 arasında değişir. 1 değeri, yükün (elektronun) iletkenlik bandına yükselmesi ve ardından da deşik ile yeniden birleşmeye maruz kaldığı merkeze düşmesi durumuna karşılık gelir. 2 değeri ise, bu olayın olasılığının yeniden tuzaklanmayla aynı olduğu bir duruma uymaktadır. Ayrıca radyatif olmayan olayların ($b=0$) katkısının ve ara durumlarında olması muhtemeldir (Pagonis et al, 2006; Ege, 2009).

Bu tanımlara dayanan matematiksel modeller, tüm durumları veren uygun diferansiyel denklem sistemlerini, yüklü taşıyıcı popülasyonunun gelişimini ve uygun deneysel veriler aracılığıyla kontrol etmek için oluşturulan analitik formları da içerir. Bu nedenle, matematiksel modeller teori ve pratik arasında düzgün bir uzlaşma elde edilinceye kadar bu parametreleri uygun bir şekilde ayarlanmalıdır. Işıma grafiğinin şekli malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliğine ve uygulanan işlem çeşidine bağlıdır. Bununla birlikte, tek -veya çoklu pik yapısında olabilir.

Tek pikli bir malzeme için analitik form, pik pozisyonu, pikin sol ve sağ genişlikleri, bunların arasındaki oran, tüm pik genişliği, yüksekliği gibi bazı geometrik parametreler aracılığıyla tamamen tanımlanabilir. Pik yüksekliği ısıtma hızına bağlıdır ve ısıtma hızının artmasıyla artar. Bu geometrik parametrelerin temel fiziksel parametrelere karşılık geldiği görülebilir.

1945'te Randall ve Wilkins bazı varsayımlar yaparak bir ışıma eğrisindeki her bir pik için yaygın matematiksel bir ifade kullanmışlardır. Yapılan bu varsayımlar;

1) Malzeme hiçbir elektronun serbest kalmayacak kadar düşük bir sıcaklıkta ışınlanmalıdır.

2) Isıtma sabit bir sıcaklık artış hızıyla yapılmalıdır.

Randall-Wilkins'in teorisi birinci dereceden kinetiği ve tek bir tuzak derinliğini varsaymaktadır. Böylece, herhangi bir sıcaklıktaki TL şiddeti, I , yeniden tuzaklanma hızı ile doğru orantılıdır:

$$I = -c \left(\frac{dn}{dt} \right) = c p n \quad (2.3)$$

$$\frac{\beta E}{k T_M^2} = s \cdot \exp \left(- \frac{E}{k T_M} \right) \quad (2.4)$$

1948'de Garlick ve Gibson serbest bir yük taşıyıcısının, ya tuzaklanma ya da TL merkezi ile yeniden birleşme olasılığına sahip olduğu durumu ele almışlardır. İkinci dereceden kinetikler terimi yeniden

tuzaklanmanın baskın olduğu durumu tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu durumda aşağıdaki bağıntı geçerli olur.

$$\frac{dn}{dt} = -n^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.5)$$

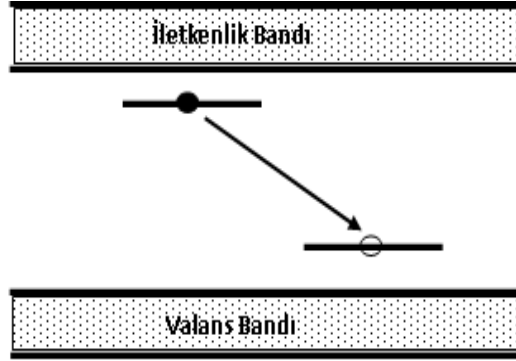
Bu ifade, yeniden tuzaklanma olasılığı olmadığı kabul edildiği için yeniden birleşme olasılığı 1'e eşit olarak elde edilmiş olan birinci dereceden kinetikler örneğinden farklıdır. $s' = s/N$ niceliği ön-üstel faktör olarak adlandırılır ve cm^3s^{-1} biriminde bir sabittir ve N (cm^3) tuzak yoğunludur.

Birinci ve ikinci derece kinetiklerin uymadığı şartlar için, ara durumlara değinen ve genel derece kinetikleri olarak adlandırılan kinetikler elde edilmiştir. Birinci ve ikinci derecelerde de olduğu gibi tuzakların tek bir enerji seviyesi olduğu varsayılır.

$$\frac{kT_M^2 bs}{\beta E} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) = 1 + \frac{s(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^{T_M} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \quad (2.6)$$

2.6 Tünel Olayı

Klasik fiziğe göre tuzaklarda bulunan bir elektronun bir hol ile yeniden birleşebilmesi için yeterli miktarda enerjiye ihtiyacı vardır. Bununla birlikte birçok malzemede elektronun hiç enerji almadan bir hol ile birleşebildiği gözlemlenmiştir. Kuantum fiziği ile açıklanabilen bu olaya tünel olayı adı verilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Tünel olayının şematik gösterimi

Tünel olayı sadece yasak bant aralığında gerçekleşebildiği için bu olay ile yayımlanan fotonun dalgaboyu TL veya OSL ile yayımlanan fotona göre daha büyüktür.

Bir elektronun tuzaktan merkeze tünelleme yolu ile geçiş olasılığı birim zaman başına

$$P(r) = v \cdot \exp(-r/a) \quad (2.7)$$

ile verilir. Burada v frekans faktörü, a bir sabit, r ise tuzak ve merkez arasındaki uzaklıktır. Tuzaklar ile lüminesans merkezleri arasındaki tünel olayının bir sonucu olarak, uyarım ile birlikte tuzaklanan elektronların sayısı azalır ve TL sinyalinin sönümlenmesi ile sonuçlanır. Bu sönümlenme sıcaklığa değil aslında tuzaklanan elektron ve hollerin konsantrasyonuna bağlıdır.

Tuzaktaki bir yük taşıyıcı için beklenen ortalama ömür

$$\tau = s^{-1} \exp(E/kT) \quad (2.8) \text{ ifadesi ile verilir.}$$

Burada E tuzak derinliği, s T sıcaklığındaki kaçış frekansıdır. Bu eşitliğe göre belirli bir sıcaklıkta yk taşıyıcının ömrü binlerce yıldan birkaç milyon yıla kadar değişebilir. Bununla birlikte yük taşıyıcılar bu eşitlik ile beklenenden çok daha hızlı bir şekilde salınabilir. Bu olaya TL'nin sönümlenmesi adı verilir. Sönümlenme ideal olarak biriken tuzaklanmış yk sayısının ışınlama süresi boyunca azalmadığının varsayıldığı dozimetri ve tarihleme çalışmalarında önemli bir etkindir (Karalı, 1999).

2.7 Işıma Tarihlenenin Genel Prensipleri

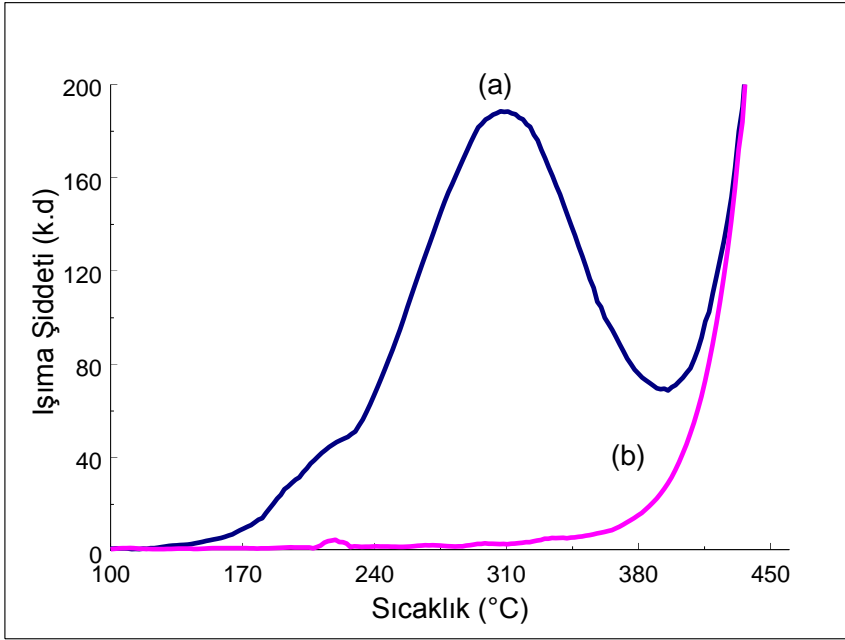
Herhangi bir yerde yapılan için süreci, insanoğunun nüfus yöneliminin anlaşılması ve bunların evre, ekonomi ve yönetime etkilerinin anlaşılması için önemli bir etkindir (Varien and Mills, 1997; Feathers, 2003).

Seramik tarihleme konusundaki metodolojik gelişmeler son zamanlarda neredeyse tamamen sediment tarihleme üzerine yapılan araştırmaların gölgesinde kalmıştır. Seramik tarihleme genellikle rutin olarak kabul edilmiş ve pek çok laboratuvar çalışmalarını sediment tarihlemeye doğru kaydırmıştır (Feathers, 2003).

Işıma yöntemi en son ısı veya işığa maruz kalınan zamanı tarihler ve bu maruz kalma olayları arkeologların ilgilendiği olay ile genellikle aynıdır. Bu nedenle de işıma tarihleme metodu diğer tarihleme metotlarına göre güçlü bir avantaja sahiptir. Dean (1978) farklı metotlar ile yapılan tarihleme sonuçları karşılaştırıldığında tarihlenen olay ile hedeflenen olay arasındaki farka dikkat çekmiştir. Örneğin ağa alkası tarihlendirme metodunda tarihlenen olay ağacın kesildiği zamandır, fakat

burada hedef olay, ağaç dalının yapı inşa edilmesinde kullanıldığı zaman olmalıdır. Bu iki olay birbirinden çok farklı zamanlarda gerçekleşmiş olabilir bu nedenle de radyokarbon tarihleme gibi kronometrik bir metot kullanılarak sonuçların karşılaştırılması gerekir. Işıma tarihleme tarihlenen olay ile hedeflenen olay genellikle aynıdır. Bir seramik örneği için tarihlenen olay en son sinyali sıfırlayacak kadar yüksek sıcaklığa maruz kaldığı andır. Normal olarak seramik bir örneğin fırınlanması için sıcaklığın en azından 500 °C olması gerekir. Eğer ısıtma süresi uzunsa 300 °C sıcaklık da yeterli olacaktır. Bununla birlikte seramiğin en son ısıya maruz kaldığı zaman çok büyük olasılıkla en son kullanıldığı veya üretildiği zamandır. Arkeologlar tarafından ilgilenilen olay da budur. Orman yangınları veya modern tarım uygulamaları da yüksek sıcaklığa neden olabilirler fakat bu olasılık oldukça düşüktür (Feathers, 2003).

Eski bir çömlek, tuğla veya kiremit parçası yüksek sıcaklığa kadar hızlı bir şekilde ısıtıldığında zayıf fakat ölçülebilir bir ışık gözlenir (Şekil 2.9 a). Aynı örnek ikinci kez ısıtılacak olursa gözlemlenen ışık sadece termal radyasyondan (black body radiation) kaynaklanır (Şekil 2.9 b). İlk ısıtma ile yayımlanan fazla ışık örneğin gömülü olduğu toprakta ve kendi içerisinde bulunan uranyum, toryum, potasyum-40 ve radyoaktif safsızlıklar tarafından yayımlanan nükleer radyasyona maruz kalan minerallerden kaynaklanan termal uyarımlı ışımadır. Toprakta bulunan bu radyoizotoplar uzun yarı ömürlere sahip olması nedeniyle radyasyon akıları sabit olarak kabul edilir. Bu nedenle de termal uyarımlı ışımının miktarı örneğin en son yüksek ısıya maruz kaldığı andan bu yana geçen zamanla orantılıdır ki bu da bize örneğin yaşını verecektir (Aitken, 1985).



Şekil 2.9 Yeşilova Höyüğü kuvars mineraline ait TL(a) ve termal radyasyondan (black body radiation) kaynaklanan ışık (b).

Işıma tarihleme minerallerdeki radyasyon hasarının zamana bağlı birikimine dayanan bir radyometrik tarihleme metodudur. Fisyon iz kazıma ve elektron spin rezonans tarihleme metotları da radyometrik tarihleme kategorisi içerisine girer (Çizelge 2.2). Radyasyon hasarı mineralin doğada kendiliğinden var olan düşük seviyeli iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmasının bir sonucudur. Maruz kalma süresi arttıkça mineraldeki hasar da büyüyecektir. Sonuç olarak radyasyon hasarının yoğunluğu, mineralin belirli süre boyunca almış olduğu toplam doz (iyonlaştırıcı radyasyondan absorblanan toplam enerji miktarı) için bir ölçüdür. Işıma tarihleme çalışmalarında toprağın doğal yapısı içerisinde bulunan kuvars, feldspat ve zirkon gibi mineraller çevreden maruz

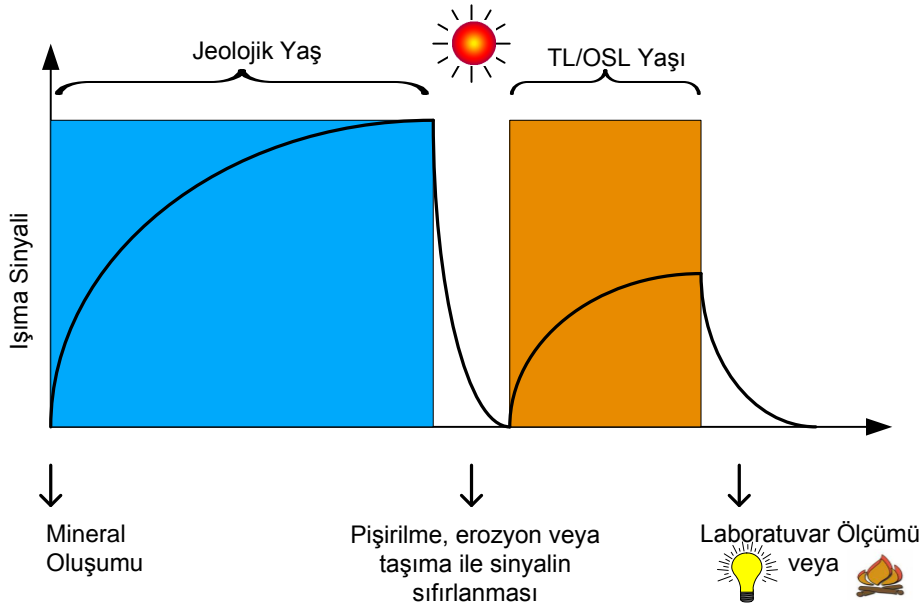
kaldıkları iyonize radyasyonu kaydederek doğal bir dozimetre davranışı sergilerler.

Çizelge 2.2 En çok kullanılan tarihleme metotları, kullanılan örnek türleri ve yaş aralıkları.

Tarihleme Metodu	Örnek Türleri	Tarihleme Sınırları (Yıl)
Radyokarbon	Karbon içeren buluntular (bitki, kemik, hayvan kabukları gibi)	0-70.000
Dendrokronoloji	Ağaç, odun kömürü	0-10.000
Uranyum serisi	Kalsit, diş minesi	400-350.000
Potasyum-Argon (K/Ar)	Isıtılmış kaya, volkanik camlar, feldspat, meteoritler	10.000-milyar
Termolüminesans (TL) ve Optik uyartımlı lüminesans (OSL)	Keramik, tuğla, fırın buluntusu, sediment	50-300.000
Elektron Spin Rezonans (ESR)	Kireçtaşı, mercan, hayvan kabukları, diş minesi	1000-milyar
Fisyon İz Kazıma	Apatit, mika, volkanik cam, zirkon	1000-20 milyon
Arkeomanyetizma	Keramik, tuğla, fırın buluntusu	0-5000
Aminoasit salkımlanması	Organik maddeler	2000-2milyon

Işıma tarihlemede, radyasyon hasarının yoğunluğu ışık olarak dedekte edilir. Radyasyon hasarı ve dolayısıyla gizli (görünmeyen) sinyal, ısı veya ışığa maruz kalma yoluyla sıfırlanabilir. Örneğin arkeolojik bir çömlek için sıfırlama, üretimi sırasında yüksek sıcaklıkta

fırında pişirilmesiyle gerçekleşir. Sediment içinse sıfırlama işlemi erozyon, taşınma ve depozisyon boyunca mineral taneciklerinin güneş ışığına maruz kalmasıyla gerçekleşmektedir. Güneş ışığına maruz kalma ile sıfırlanma olayına aynı zamanda ağartma da denir. Işığa veya ısıya maruz kalmak, ışıma sinyalini tamamen ağartır ya da ağarmayan küçük bir kısım kalacak şekilde sıfırlar (Şekil 2.10). İster bir çömlek parçası olsun ister sediment sıfırlandıktan sonra, toprak içerisinde doğal olarak bulunan potasyum, uranyum, toryum ve ürünlerinin radyoaktif bozunmalarından kaynaklanan iyonize radyasyona maruz kalarak yeniden enerji depolamaya başlar. Çok küçük bir katkı da kozmik ışınlardan gelir. Yani sıfırlama olayı etkinliğini yitirdikten sonra ışıma sinyali tekrar birikmeye başlayacaktır. Tarihlendirilecek olan zaman sıfırlama olayının gerçekleştiği zamandır (Vandenbergh, 2004).



Şekil 2.10 Işıma tarihleme metodunun şematik gösterimi

Işıma sinyali aynı sıfırlama olayı, ısı veya ışık, kullanılarak laboratuarda da sıfırlanabilir. Böylece yayımlanan ışımaya sinyali kaydedilebilir. Eğer sinyal ısı kullanılarak elde ediliyorsa termal uyartımlı ışımaya (TL), ışık kullanılarak elde ediliyorsa optik uyartımlı ışımaya (OSL) olarak adlandırılır. Işıma metodu ile elde edilen sinyal ölçümleri örneğin tarihlendirilecek olan olaydan bugüne kadar soğurduğu iyonize radyasyon dozu ile ilişkilidir. Bu doz eşdeğer doz, arkeolojik doz veya paleodoz olarak isimlendirilir ve SI olarak birimi Gray'dir (Gy). Eğer iyonize radyasyonun akısı sabit kabul edilirse, taneciklerin gömülme zamanı, eşdeğer dozun yıllık doza bölünmesiyle hesaplanabilir ve aşağıdaki şekilde yaş denklemiyle ifade edilebilir (Aitken, 1985,1999).

$$Yaş = \frac{Eşdeğer Doz (Gy)}{Yıllık Doz (Gy/y)} \quad (2.9)$$

Yıllık doz bazen yıllık radyasyon dozu veya doz hızı olarak da isimlendirilir ve örneğin maruz kaldığı iyonize radyasyon hızına karşılık gelir. Birimi genellikle Gy.ky⁻¹ veya mGy.y⁻¹ olarak verilir. Yıllık doza ait hesaplamalar Aitken (1985,1990b) tarafından özetlenmiştir.

Işıma tarihleme ilk olarak TL metodunun kullanılmasıyla seramik tarihleme konusunda geliştirilmiştir. Temel prosedür Martin Aitken'nin öncülüğünde Oxford Laboratuvarı tarafından 1970'li yılların sonunda ortaya çıkarılmıştır (Aitken, 1985; Feathers, 2000 a). Sediment tarihleme için OSL'nin geliştirilmesinden sonra bile (Huntley et al., 1985) seramik tarihleme çalışmaları için TL kullanılmaya devam edilmiştir Sediment tarihlemede OSL'nin esas avantajı ışığa en duyarlı tuzakların elimine

edilmesindeki kolaylıktır. Fakat bu durum seramik örnekleri için problem değildir. OSL'nin seramikler için bir avantajı az miktarda örnek gerektirmesi olabilir fakat bu konuda sınırlı çalışma yapılmıştır (Barnett 2000a; Guibert et al., 2001; Hong et al., 2001; Öke and Yurdatapan, 2001). Seramik malzemeler genellikle, TL sinyallerine göre daha zayıf OSL sinyalleri üretirler (Hong et al., 2001) ve ısıtılmamış malzemeden farklı davranabilirler (Barnett 2000a; Feathers, 2003).

2.8 Işıma Tarihlemede Tanecik Boyutunun Önemi

Işıma tarihleme çalışmalarında kullanılan mineralin tanecik boyutu büyük önem taşımaktadır. Tanecik boyutuna göre sıklıkla kullanılan 2 farklı metot vardır. İlki 1970 yılında Fleming tarafından geliştirilen 90 µm ve üzeri büyüklükteki taneciklerin kullanıldığı kaba tanecik metodu, diğeri ise 1971 yılında Zimmermann tarafından geliştirilen 4-11 µm büyüklüğündeki taneciklerin kullanıldığı ince tanecik metodudur.

Işıma tarihlemede genellikle kuvars veya feldspatın polimineral ince tanecik veya kaba tanecikleri kullanılır. Kaba taneciklerin kullanılması hem kısa menzilli alfa radyasyonunun etkilerinin ortadan kaldırılması, hem de ışıma özellikleri oldukça iyi anlaşılmış tek bir mineral içermesi nedeniyle ince taneciklere göre avantajlara sahiptir. Kaba tanecik kullanılarak tarihleme hala günümüzde de sıklıkla kullanılmakla birlikte (Barnett, 2000a), pek çok seramik örneği yeterli miktarda kaba tanecik boyutunda minerale sahip değildir (Feathers, 2003).

2.9 Eşdeğer Doz

Arkeolojik bir örneğin en son ısıya maruz kaldığı zamandan laboratuvarda ölçümüne kadar geçen sürede çevresindeki ve kendi içerisindeki iyonlaştırıcı radyasyondan ve kozmik ışıklardan depoladığı toplam doz miktarına eşdeğer ve ya arkeolojik doz adı verilir. Bir örneğin arkeolojik dozunun belirlenmesinde TL ve ya OSL sinyalleri kullanılabilir. TL ölçümleri için örnek matrisinden kimyasal yöntemler kullanılarak çıkartılan mineral alüminyum veya çelik diskler üzerine yaklaşık 4–6 mg olacak şekilde yerleştirilir ve bilinen sabit bir ısıtma hızı ile oda sıcaklığından yaklaşık 450–500 °C'ye kadar ısıtılır. Ölçümle elde edilen ışımaya sinyalinin büyüklüğünün sıcaklığın fonksiyonu olarak çizilmesiyle oluşan eğriye parıldama eğrisi (glow curve) adı verilir. Basit olarak parıldama eğrisinde görülen her bir pik malzeme içindeki tek bir tuzığa karşılık gelmektedir. Doğal malzemelerde ise bu olay daha karmaşıktır ve bir pik üstüste binmiş birkaç pikten oluşabilmektedir. İyonize radyasyona maruz kaldıktan sonra tuzaklarda yakalanan elektronlar iletkenlik bandından ne kadar çok aşağıda bulunurlarsa bu elektronları tuzaklardan kurtararak iletkenlik bandına çıkmalarını sağlayacak enerji miktarı da o derece büyük olacaktır. Dolayısı ile verilen bir parıldama eğrisinde yüksek sıcaklıklarda görülen pikler derin tuzaklara karşılık gelmektedir ve düşük sıcaklık piklerine göre daha kararlı oldukları için tarihlendirme çalışmalarında bu piklerin kullanılması daha uygundur.

Eşdeğer doz genellikle, örneğin doğal sinyaliyle, aynı örneğin laboratuvar koşulları altında kalibre edilmiş bir iyonize radyasyon kaynağına (genellikle $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ gibi) maruz bırakılmasıyla elde edilen ışımaya sinyalinin karşılaştırılmasıyla belirlenir. Bu karşılaştırma için

örneğin doz cevap eğrileri yani büyütme eğrilerinden yararlanır. Bu eğriler düşük dozlarda doğrusal olma eğilimindedir. Yüksek dozlarda ise $I = I_{\infty}(1 - e^{-D/D_0})$ ile üstel doyum şeklindedir. Burada I, D dozundaki ışıma şiddeti, I_{∞} ulaşılabilen maksimum sinyal ve D_0 ise eğriyi tanımlayan bir parametredir (Wintle, 1997; Murray and Roberts, 1998).

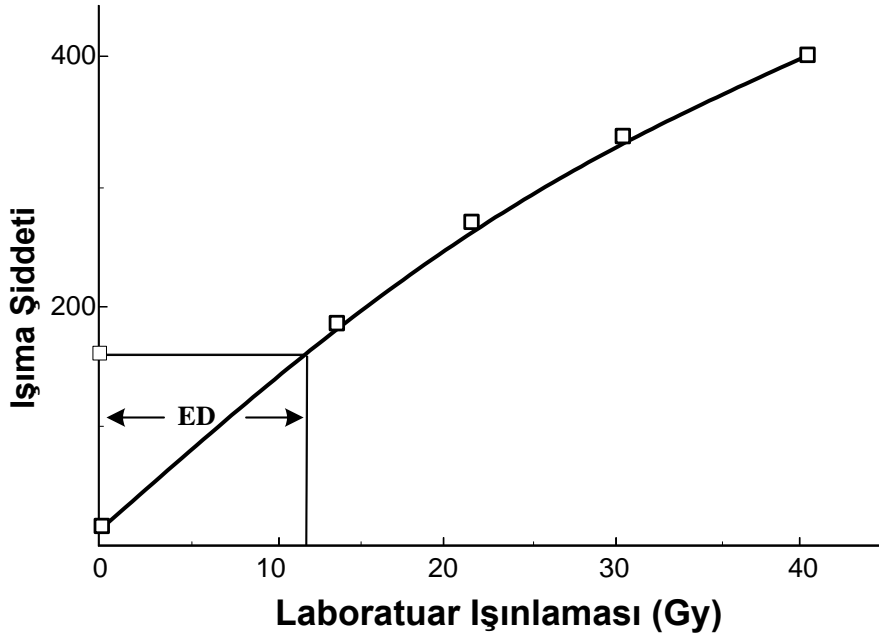
TL metodu ile arkeolojik dozun belirlenmesi için birçok analitik metot bulunmaktadır. Bunlar kullanılan örnek sayısına ve dozlama yöntemine bağlı olarak farklı isimler alırlar.

Tekli örnek yönteminde arkeolojik dozun belirlenmesi için tek bir planşet örnek yeterlidir. Çoklu örnek yönteminde ise birbirine özdeş oldukları kabul edilen aynı örneğe ait çok sayıda planşet kullanılır. Ancak pratikte bu durum pek olası değildir. Bu nedenle planşetler arasında normalizasyona ihtiyaç duyulur. Çoklu örnek yönteminin bir dezavantajı ise bir analizin tamamlanması için tekli örnek yöntemine göre daha fazla süreye ihtiyaç duyulmasıdır (Murray and Wintle, 2000; Murray and Wintle, 2003; Fattahi and Stokes, 2005; Ege, 2009). Tekli örnek yönteminin en büyük avantajı az örneğe ihtiyaç duyulmasıdır. Arkeolojik örnekler gibi büyük değere sahip malzemeler için bu oldukça önemli bir özelliktir. Tek bir planşetin eşdeğer dozun belirlenmesinde yeterli olmasından dolayı normalizasyona ihtiyaç yoktur. Böylece planşetten planşete değişebilecek ışıma karakteristikleri arasındaki farklılık elimine edilmiş olur (Ege, 2009).

2.9.1 Yenileme doz metodu

Yenileme doz metodu ilk defa Wintle ve Huntley (1979) tarafından ortaya atılmıştır. Bu metotta öncelikle örneğin doğal sinyali ölçülür. Ağartılmayan kalıntı sinyale ulaşan örneğe laboratuvar koşullarında

bilinen dozlar verilerek büyüme eğrisi elde edilir. Arkeolojik doz doğal doza ulaşmak için verilen doz değeri olarak alınır (Şekil 2.11). Bu metodun avantajı doğal TL sinyali, büyüme eğrisinin lineer olmayan kısmına karşılık gelen yaşlı örnekler için bile kolaylıkla kullanılabilir olmasıdır (Liritzis, 2000a). Bununla birlikte doğal sinyali ölçmek için örneğin ısıtılmasıyla örneğin ışıma duyarlılığında değişiklik meydana gelebilir yani daha az veya fazla dozlama aynı ışıma şiddetini verebilir. Bu nedenle büyüme eğrilerinde bu değişimler dikkate alınmalıdır (Feathers, 2003).



Şekil 2.11 Yenileme yöntemi ile elde edilen örnek bir büyüme eğrisi.

Bu yöntemde büyüme eğrisini ekstrapole etmeye gerek olmadığından eşdeğer doz belirlemede güvenilirdir. Büyütme eğrisinin kesin şekli ve seçilen matematiksel fonksiyonu önemsizdir ve bu nedenle

eşdeğer dozun güvenilirliği artar. (Wintle, 1997; Lepper et al., 2003; Murray and Mejdahl, 1999; Duller, 1994a).

Kullanılan örnek sayısına göre tek örnek yenileme doz metodu (**SARD**) ve ya çoklu örnek yenileme doz metodu (**MARD**) olarak adlandırılır. Eğer çoklu örnek kullanılıyorsa 2 kabul yapılması gereklidir. Bunlar;

- a) Örneklerin kalıntı sinyallerinin yaklaşık aynı seviyede ve çok düşük olduğu
- b) Örnekler arası duyarlık değişiminin hemen hemen aynı olduğudur.

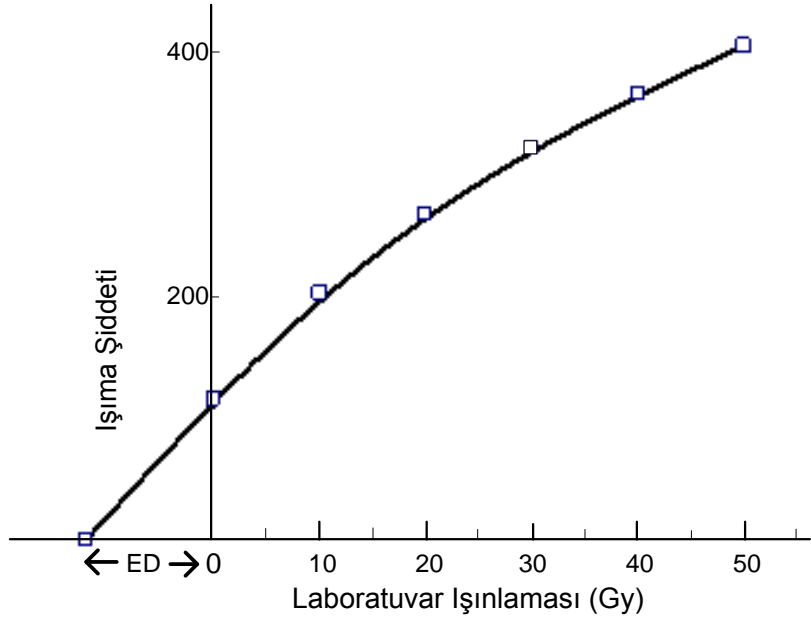
Aksi takdirde eşdeğer doz doğrulukla hesaplanamayacaktır.

2.9.2 Ek doz metodu

Bu metotta farklı örnek gruplarına doğal dozun üzerine bilinen laboratuvar dozları verilerek ışınma sinyalleri ölçülür. Örnekler ağırlıklarına göre normalize edildikten sonra eklenen doza karşı ışınma sinyalini gösteren büyütme eğrisi çizilir. Örneğin doğal sinyali bu eğrinin en küçük noktasıdır. Bu eğri sıfır doza ekstrapole edilirse X eksenini kestiği nokta eşdeğer dozu verecektir (Şekil 2.12). Fakat düşük dozlarda büyütme eğrisi lineer üstü davranış göstermesinden dolayı eğrinin ekseni kestiği nokta her zaman eşdeğer dozu vermez. Bu nedenle de bir düzeltme uygulanması gerekir.

Bu metotta örneğin laboratuvar ışınlamalarına ve gömülü olduğu süre içindeki doğal ışınlamalara duyarlılığının aynı olduğu varsayılır.

Fonksiyon verilere uyarlanır ve eşdeğer doz uyarlanan çizginin sıfıra uzatılmasıyla elde edilir.



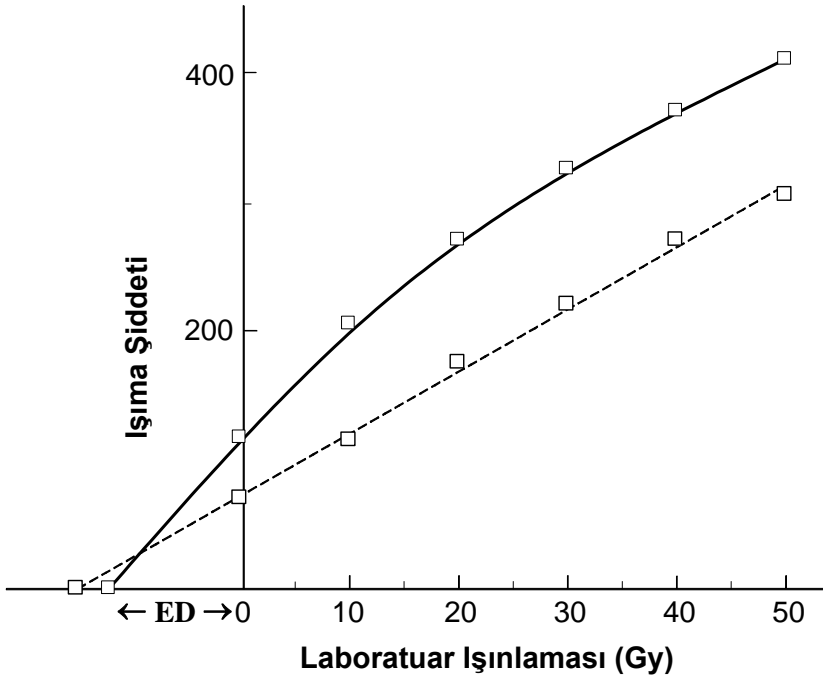
Şekil 2.12 Ek doz yöntemi ile elde edilen örnek bir büyütme eğrisi.

Bu metod ekstrapolasyon gerektirdiği için özellikle genç örneklerde beklenenin altında yaşlar verebilmektedir. Bu metotta kullanılan örnek grupları üzerinde yalnızca bir ölçüm yapılabilir. Bununla birlikte farklı örnek grupları arasında normalizasyona ihtiyaç vardır.

Kullanılan örnek sayısına göre tek örnek ek doz metodu (**SAAD**) ve çoklu örnek ek doz metodu (**MAAD**) gibi farklı isimler alır.

2.9.3 Diğer metotlar

Kısmi ağartma yöntemi 1980 yılında Wintle ve Huntley tarafından öne sürülmüştür. Ek doz yönteminin değişik bir biçimidir (Liritzis, 2000a; 2000b; Aitken, 1985). Hazırlanan örneklerin bir kısmı ek doz metodunda olduğu gibi bilinen laboratuvar dozlarına maruz bırakılarak büyütme eğrisi çizilir. Diğer örnekler ek dozlar verilmeden önce kısa bir süre ışığa maruz bırakılarak kısmi ağartma uygulanır. Bu örnekler de diğer grup örnekler uygulanan prosedür tekrarlanarak büyütme eğrisi çizilir. Böylece farklı eğime sahip iki büyütme eğrisi elde edilir. Bu eğrilerin kesim noktası arkeolojik dozu verecektir (Şekil 2.13). Bu protokol birikim sırasında taneciklerin ağarmasına bağlıdır.



Şekil 2.13 Kısmi ağartma yöntemi ile elde edilen örnek bir büyütme eğrisi.

Bu metotta ağartma işlemi sırasında örnek farklı sürelerde ışığa bırakılarak eğrilerin aynı noktada kesişip kesişmediği kontrol edilebilir. Böylece eşdeğer dozun beklenilenin üzerinde çıkma olasılığı ortadan kaldırılmış olur. Bu metot uzun uygulama prosedürü nedeni ile çok sık kullanılmamaktadır.

Slide tekniği ilk kez Valladas ve Gillot (1978) ve Readhead (1988) tarafından öne sürülmüş, daha sonra Prescott ve ark. (1993) ve Huntley ve ark. (1993) tarafından sediment tarihleme için geliştirilmiştir. Ek doz ve yenileme doz metotlarının her ikisi de kullanılır. Bu metotlar uygulandıktan sonra elde edilen büyütme eğrilerinin şekilleri aynı ise (genellikle aynıdır) yenileme doz metodu ile elde edilen büyütme eğrisi iki eğriyi paralel hale getirmek için artan bir faktör uygulaması yoluyla duyarlık değişimi için düzeltilebilir. Bu prosedür doyum seviyesine yakın örnekler için uygun değildir. Bu düzeltme yapıldığında eğriler arasındaki yatay uzaklık (doz eksenini boyunca) eşdeğer dozu verecektir (Feathers, 2003).

2.10 Yıllık Doz

Termoluminesans yöntemi ile bir çömleğin yaşının belirlenmesinde, çömlek parçasının toprakta gömülü olduğu süre boyunca aldığı radyasyon dozunun bilinmesi gereklidir. Bu dozun büyük bir kısmının çömleğin kendi içerisindeki radyoelementlerden kaynaklanmasına rağmen, kaba tanecik tarihleme tekniğinde çevredeki toprakta bulunan radyoelementlerin neden olduğu gama ışınlarından da önemli bir katkı vardır. Bu toprak dozu toplam etkin dozun %50 sine yakın olabilir (Aitken, 1969). Kuvars çok düşük düzeyde U, Th ve K içerir. Bu nedenle tanecikleri çok az bir alfa aktivitesine sahip olmasına

rağmen, taneciklerin içsel doz hızının ihmal edilebilir olduğu varsayılır (Aitken, 1998). Bir örneğe gelen doz katkısının %45'i alfa parçacıklarından, %30'u beta parçacıklarından, %21 gama ve %3'ü de kozmik ışınlardan kaynaklanır.

Arkeolojik bir örnek için yıllık doz

$$Yıllık\ Doz = D_{\alpha} + D_{\beta} + D_{\gamma} + D_k \quad (2.10)$$

İfadesi ile verilir.

D_{α} : Yıllık alfa radyasyonu katkısı

D_{β} : Yıllık beta radyasyonu katkısı

D_{γ} : Yıllık gama radyasyonu katkısı

D_k : Yıllık kozmik radyasyon katkısıdır.

Yıllık radyasyon dozunun belirlenmesinde kullanılan pek çok analitik metot vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Dolaylı olarak belirleme:

1. radyoelement konsantrasyonlarının belirlenmesi
2. α , β ve γ ışını sayımı

Doğrudan belirleme:

3. α - $Al_2O_3:C$, $CaSO_4:Dy$, $CaF_2:Dy$ gibi dozimetreler yardımıyla α , β ve γ dozlarının belirlenmesi (Hossain, 2003).

Analitik metotların büyük çoğunluğu U, Th ve K tayini yoluyla yıllık radyasyon dozunu tayin etmek için kullanılabilir. Sadece, beta parçacığı yayımlayan Rb tayin edilebilmekle birlikte çok nadir olarak yapılır çünkü Rb un yıllık doza katkısı oldukça küçüktür (%1 kadar). Bu metotlara dolaylı ölçüm metotları adı verilir çünkü öncelikle bir

radyonüklidin konsantrasyonu veya sayım hızı belirlenir. Daha sonra nükleer tablolarında verilen radyasyon tipleri ve bunların yayımladığı parçacıkların enerjilerinin ölçülmesine dayanarak birim zaman ve kütle başına soğurulan enerji hesaplanabilir (Adamiec ve Aitken, 1998). En sık kullanılan dolaylı teknikler: (n,γ) reaktör nötron aktivasyon analizi (NAA) – K, U ve Th için, fisyon iz kazıma sayımı – U, Th için, gecikmiş nötron analizi (DNA) – U için (Pernica ve Wagner 1982); Endüksiyonla Çiftlenmiş Plazma – Kütle Spektrometresi (ICP-MS) – K, U ve Th için (Preusser ve Kasper 2001); X-ışını floresans (XRF) – K, U ve Th için (Olley et al 1997); ve atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) ve alev fotometri – K için (Aitken 1985, Hossain, 2003).

ZnS ekran kullanılarak kalın kaynak α sayımı (TSAC), alfanın kendi içerisindeki aktivitesinden yararlanarak doğrudan alfa doz hızının belirlenmesi için en yaygın yaklaşımdır. Alfa sayımı 1960 öncelerinde lüminesans tarihleme için benimsenmiştir (Tite and Waine, 1962). Lüminesans tarihinin ilk zamanlarında laboratuvarların çoğu sadece alfa doz hızının belirlenmesinde değil, aynı zamanda K'un kimyasal analizi (genellikle alev fotometri) ile birlikteki U ve Th'un beta ve gama doz hızının belirlenmesinde de kalın kaynak α sayımını kullanmışlardır. U ve Th'un beta ve gama doz hızının belirlenmesi için sayım hızının doz hızına dönüşümü örnekteki U:Th konsantrasyonuna bağlıdır. Bu metodun ana dezavantajı alfa menzili ile karşılaştırıldığında ince olan bir kaynak hazırlamak için zahmetli kimyasal işlemleridir (Tite and Waine, 1962; Wintle, 2008).

Sanderson (1988) tarafından geliştirilen NE102A plastik sintilatörün veya Botter Jensen ve Mejdahl (1985, 1988) tarafından geliştirilen Riso beta GM çoklu sayıcı sistem kullanılması beta doz ölçümü için en çok kullanılan yaklaşımlardır. Az miktarlardaki örneğin

kullanılması, yüksek verim, düşük maliyet ve düşük artortam seviyesinin elde edilebilmesinden dolayı (Riso beta GM çoklu sayıcı sistemde anti coincidence “guard dedektör” kullanarak) beta doz ölçümleri için uygun metotlardır. Sonuçların güvenilirliği U ve Th bozunum serilerindeki dengenin kurulmasına bağlıdır.

Gama ışını yoluyla doz hızı ölçümü için en yaygın yaklaşımlar NaI(Tl) ve Ge gama ışını spektrometreleridir. Ge gama ışını spektrometresi, elemental konsantrasyonlar dışında, mükemmel enerji rezülasyonu sayesinde U ve Th bozunum zincirlerindeki radyonüklidlerin miktarını hesaplayabilir, yani radyoaktif denge hakkında bilgi edinilir (Chowdhary et al., 1982; Guibert ve Schvoerer, 1991; Meakins et al., 1979, Murray et al 1987, Murray ve Aitken 1988, Olley et al 1997, Prescott ve Hutton, 1995). Ölçümler düşük artortam koşullarında yapılmalıdır. Sayım zamanını indirmek için ise Marinelli geometrisi kullanılır. Sonuç olarak, gama ışını spektrometresinin kullanımının yüksek tutarı, ağır oluşu ve alandaki pratik olmayan kullanımı nedeniyle genellikle laboratuvar ölçümleriyle sınırlandırılır (Hossain, 2003).

Dolaylı metotta örneğin gömülü olduğu zamanda radonun topraktan kaçışının derecesi ile ilgili belirsizlik gibi pek çok zorluk vardır. Kaçışın derecesi mevsime bağlı olarak değişir, yağışlı havada kaçış daha az olacaktır. Bununla birlikte toprağın nemliliği, yoğunluğun değişimi dolayısıyla efektif absorpsiyon katsayısının değişimi yoluyla gama dozunu etkiler. Diğer bir zorluk ise ortamın farklı türdeki toprak veya kayaları içerebilmesidir. Bunların radyoaktif içerikleri bilinse bile, arkeolojik olarak gömülme durumunun geometrisi çömlük parçasının aldığı dozun güvenilir bir tahminini yapmayı imkansız hale getirecek kadar karmaşık bir yapıda olabilir. Bu zorluklar TLD kullanılarak uzun

dönem ve yerinde (insitu) ölçümler yoluyla ortadan kaldırılabılır (Aitken,1969).

Doğrudan metot ile yıllık dozun belirlenmesinde kullanılan termoluminesans dozimetri fosforları ilk olarak personel dozimetri ve nükleer tehlike için, alfa beta ve gama doz hızlarını belirlemekte kullanılmıştır (Aitken, 1968,1969; Bailiff, 1976; Bailiff ve Aitken, 1980; Bowman, 1976; Mejdahl, 1978; Murray, 1981). Yaygın olarak kullanılan iki TLD $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ ve $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ 'dur (Aitken, 1985). Bu doğrudan metot düşük maliyeti ve ekstra elektronik içermemesi nedeniyle ilgi çekicidir. Alfa radyasyonu duyarlılığı düşük olmasına rağmen bu TLD'ler kullanılarak beta ve gama doz hızı tahmininin etkin olduğu kanıtlanmıştır (Murray, 1981). Bu metodun esas dezavantajı kapsül içerisine yerleştirilen TLD'nin iyi bir sonuç elde etmek için birkaç ay veya yaklaşık bir yıllık süre boyunca (fakat bununla birlikte bu prosedür radon kaçıışı ve su içeriğindeki sezonsal değişimleri içermesi açısından avantaja sahiptir) alanda gömülü olmasıdır (Feathers, 2003).

Akselrod ve ark. (1990) TLD için bir materyal olarak karbon ile katkılanmış $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ anyon eksikliği olan alüminyum oksiti sunmuşlardır. Yapısında oksijen boşluğu içermesi yoluyla Al_2O_3 'ün dozimetrik karakteristiklerini geliştirmişlerdir. Tek kristal $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ in avantajı yüksek TL duyarlılığı nedeniyle çevresel dozimetride kısa dönem maruz kalmalar (gün mertebesinde) için uygun olmasıdır (Botter Jensen, 2000. Pek çok araştırmacı bu materyali incelemiş ve gama (Akselrod et al., 1993; Kitis et al., 1994; Kortov et al., 1994; Moscovitch et al., 1993a,b; Musk, 1993), beta (Brown et al., 1993; Gökusu et al., 1999) ve alfa radyasyonuna (O'Brien et al., 1993, Mukherje and Lucas, 1993) karşı yüksek duyarlığa sahip olduğunu bulmuşlardır. Bunun yanında, özellikle tarihleme uygulamaları için ilginç olan Al_2O_3 'ün sahip olduğu

foton enerji cevabının neredeyse kuvars ve feldspatınkiyle (Akselrod et al., 1990) aynı olmasıdır. TL dozimetrisinde bu materyalin kullanımını sınırlayan bir faktör yüksek sıcaklıklarda TL hassasiyetinin azalmasıdır (Kortov et al., 1994).

2.10.1 Doğal radyoaktivite

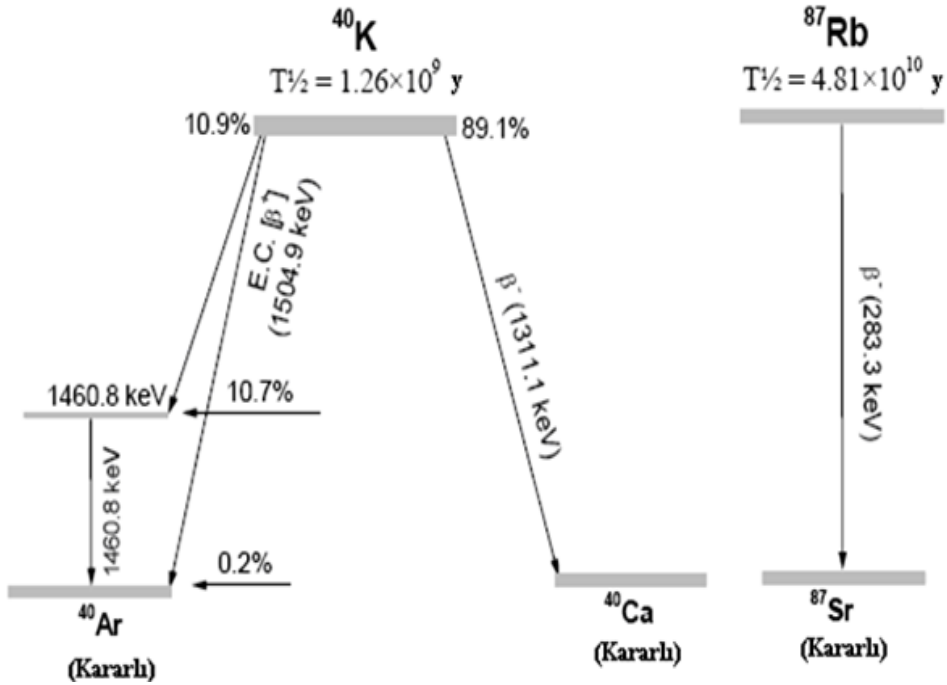
Yıllık doz doğada bulunan uzun ömürlü radyonüklitler ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U ve bozunum ürünleri, ^{40}K ve ^{87}Rb , ve kozmik radyasyondan kaynaklanmaktadır (Şekil 2.14-2.17). Bu radyonüklitler bozunarak farklı gericilik güçlerine sahip alfa, beta parçacıkları ve/veya gama ışınları yayımlarlar. Işıma tarihlemede alfa ve beta parçacıklarının yıllık doza katkıları kısa menzilleri nedeniyle örneğin yakın çevresi ile sınırlıdır. Gama ışınları ise ~30-50 cm'lik yüksek gericilik güçleri nedeniyle yıllık doz hesaplamalarında önemli bir rol oynar.

1970'ler boyunca alfa, beta ve gama yayımlarının hızları ve enerjileri hakkındaki yeni bilgiler periyodik olarak yenilenen durdurma gücü ve menzil tablolarında geçerli olmuştur. 1978 yılında Warren ^{87}Rb bozunumunun da doz hızına katkıda bulunduğunu söylemiştir. 1970'lerin sonunda Bell (1976, 1977, 1979), Aitken ve Bowman (1975) tarafından verilen değerleri revize ederek ilgili bozunumların birleştirilmiş hallerini çizelge olarak vermiştir. Geçen 20 yıl boyunca, bunlar ilk olarak Nambi ve Aitken (1986) daha sonra da Adamiec ve Aitken (1998) tarafından revize edilerek nükleer veriler değiştirilmiştir (Wintle, 2008).

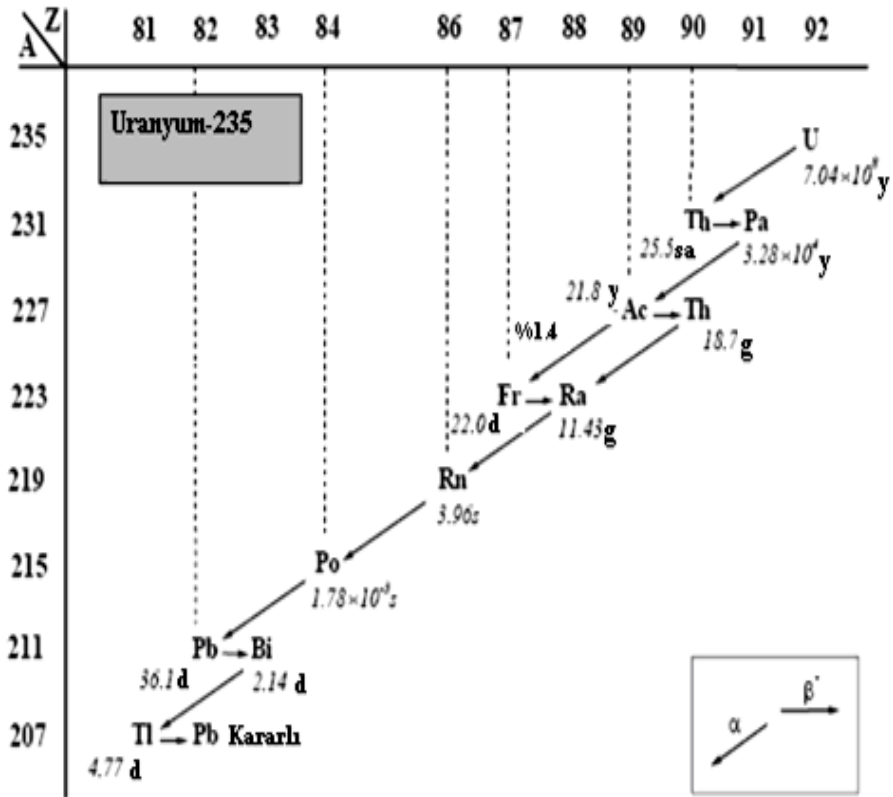
Işıma ölçümleri için kullanılacak olan tanecik büyüklüğüne bağlı olarak radyasyonların farklı gericilik güçleri göz önüne alınarak yıllık doz hesaplamaları yapılmalıdır. Zimmermann tarafından geliştirilen ince tanecik (fine grain) tekniğinde tanecikler tüm radyasyon tiplerinin

giriciliğini sağlayacak kadar küçüktür (4–11 μm). Fleming tarafından geliştirilen kaba tanecik (Coarse grain) tekniğinde ise yaklaşık 90 μm ve üstü tanecikler kullanılır. Bu tez çalışmasında da kullanılan kaba tanecik metodunda, uygulanan kimyasallar nedeni ile örneğin dış tabakası aşındırılır. Alfa parçacıklarının giriciliği μm mertebesindedir. Aşındırma işlemi ile çevresel radyoaktiviteden gelen alfa katkısının tamamı beta katkısının da bir kısmı etkin bir şekilde ortadan kaldırılmış olur. Kaba tanecikler için yıllık doz, beta radyasyonu katkısının %90'ı ve gama ve kozmik radyasyon katkısından oluşur (Denklem 2.11). Kaba tanecikler için farklı radyasyon türlerine göre giricilikleri Şekil 2.18'de verilmiştir.

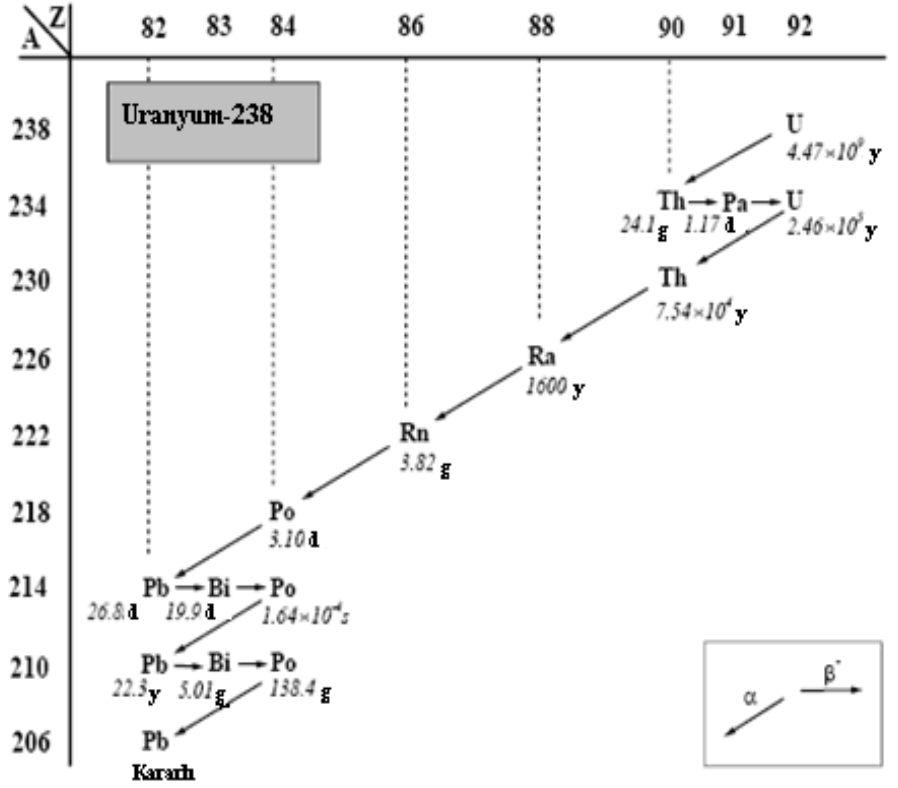
$$\text{Yıllık Doz} = 0.90D_{\beta} + D_{\gamma} + D_k \quad (2.11)$$



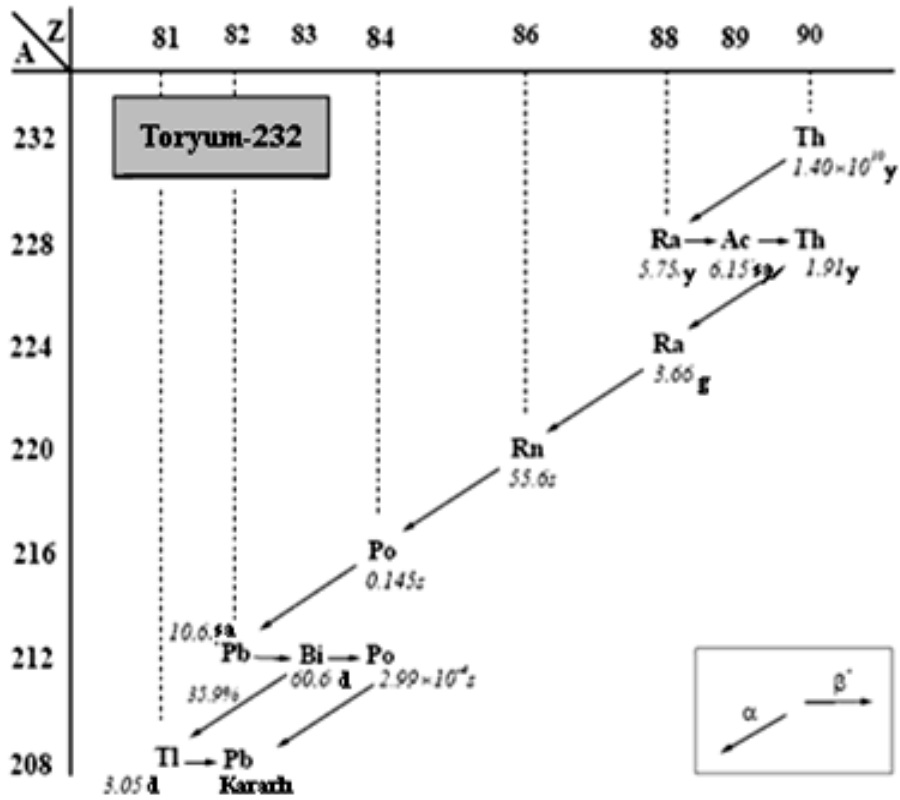
Şekil 2.14 ^{40}K ve ^{87}Rb radyonüklitlerinin bozunum şemaları (Hossain, 2003).



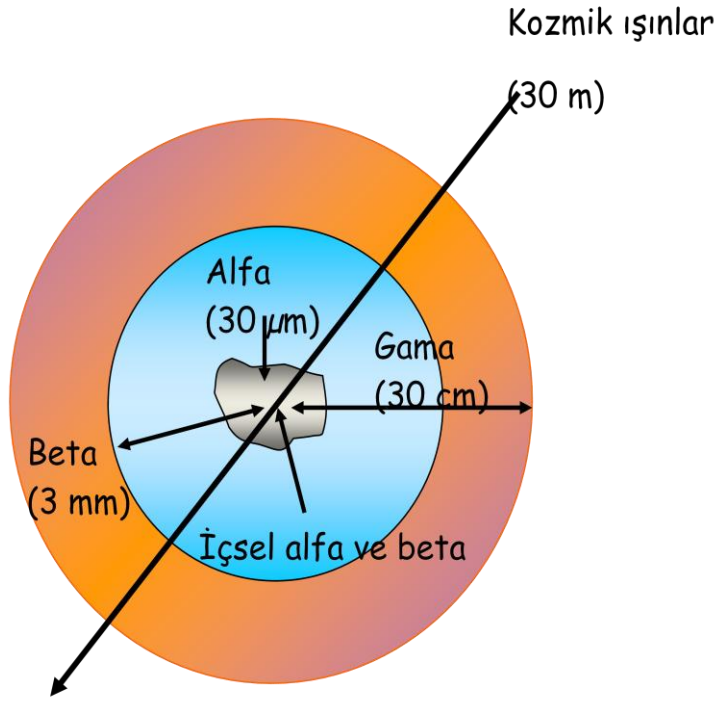
Şekil 2.15 ^{235}U serisinin bozunum şeması (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir (Hossain, 2003).



Şekil 2.16 ^{238}U serisinin bozunum şeması (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir (Hossain, 2003).



Şekil 2.17 ^{232}Th serisinin bozunum şeması (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir (Hossain, 2003).



Şekil 2.18 Kaba tanecik boyutundaki bir malzeme için farklı radyasyon türlerine göre giricilik güçleri

2.10.2 Kozmik radyasyon katkısı

Yıllık doza kozmik radyasyon katkısı $^{235,238}\text{U}$, ^{232}Th ve ürünleri, ^{40}K ve ^{87}Rb radyoelementlerinin katkıları ile kıyaslandığında genellikle çok küçüktür. Esas kozmik radyasyon atmosferin üst tabakaları ile etkileşir ve bir ikincil parçacık yağışı üretir. Bu ikincil parçacıkların çoğu düşük enerjilidir ve dünya atmosferi tarafından soğurulur. Deniz seviyesinde, kozmik radyasyon temel olarak muon ve elektronlardan oluşur. Elektronlar 50 cm'lik sediment tabakası tarafından tamamen absorblanır (Aitken, 1985). Lüminesans tarihlemeye ilgilenecek, jeografik enlem ve boylama bağıllık gösteren muonlardır. Kozmik ışınlarla maruz

kalma deniz seviyesinden yukarı çıktıkça artar çünkü dünyanın atmosferi bir zırh gibi davranmaktadır.

Kozmik ışınlar genellikle doğrudan ölçülmez. Yerin altında herhangi bir derinlikte, 5 km üzerindeki herhangi bir yükseklikte ve herhangi bir jeomanyetik enlemdeki kozmik doz hızının hesaplanmasına ilişkin ifadeler literatürde mevcuttur (Prescott ve Stephan, 1982; Ege, 2009). Bu çalışmada kozmik radyasyon katkısı $Al_2O_3:C$ dozimetreler kullanılarak doğrudan metot ile belirlendiği için teorik hesaplamalar kullanılmamıştır.

2.10.3 ^{87}Rb katkısı

^{87}Rb , beta yayımlayıcı bir radyoizotoptur. Birçok örnekte karşılaşılan potasyum rubidyum oranı 200:1 şeklindedir (Aitken, 1985; Adamiec and Aitken, 1998). Yayımladığı beta parçacığının düşük enerjili olmasından dolayı (283 keV) sadece dış katmanda kalacaktır. Asitle aşındırmanın sonucu olarak da dozunun azalması yüksektir. Kaba tanecik metodunda Rb'un katkısı ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın katkısı ile karşılaştırıldığında oldukça az olduğundan ihmal edilir. Bununla birlikte eğer taneciklerde önemli miktarda K bulunuyorsa Rb'un içsel doz hızına katkısı dikkate alınmalıdır (Mejdahl, 1987).

2.10.4 Nem etkisi

Arkeolojik bir örneğin gözenekleri arasında bulunan su, mineral taneciklerine ulaşabilecek radyasyonun bir kısmını soğuracaktır. Zimmermann (1971) tarafından hazırlanan nükleer tablolar kullanılarak suyun soğurma katsayısı silikatlarınkı ile karşılaştırıldığında alfa radyasyonu için %50, beta radyasyonu için %25 ve gama radyasyonu için

ise %14 daha yüksek olduğu gösterilmiştir. 1990 yılında Aitken ve Xie tarafından, beta ve gama radyasyonları için verilen değerler değiştirilmiştir. Bu sonuçlara göre, suyun doz absorpsiyonu nedeni ile, nemli örnek içindeki doz hızı kuru örneğe göre daha az olacaktır. rnek doğal ortamı içinde şiddetli yağmur veya aşırı sıcak gibi farklı iklim koşullarına maruz kalır. Bu nedenle örneğin yıllık doz hızı kuru malzemenin ölçümlerinden elde edildiğinde, nem etkisi dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde yaş tahmininde hatalara neden olabilmektedir.

Yaş tayininde nem düzeltmesi örneğin, örnekleme zamanındaki nem içeriği belirlenerek yapılır. Eğer rneğin nem içeriği iklimsel ve mevsimsel değişiklikler veya insan aktiviteleri gibi nedenlerle değişiyorsa, yapılması gereken örneğin gömülü olduğu tüm süre boyunca nem içeriğindeki değişikliklerin belirlenmesidir. Afrika bölgesi gibi sürekli kuru veya İngiltere gibi sürekli yağış alan yerlerde örneğin daima kuru veya doymuş olması dışında, su içeriğinin belirlenememesi işıma tarihleme yöntemi ile elde edilen duyarlılık ve doğruluk sınırları içerisindedir. Örneğin doygunluk seviyesi veya gözenekliliği, yaş üzerine bir st limit koyar. Gözeneklilik faktörü (W) tamamen doygunluğa ulaşmış bir örneğin su içeriğinin tamamen kurutulmuş örnek ağırlığına oranından belirlenir. Tipik bir sediment rneği için doygunluk seviyesi %20-40 aralığında değişir. Keramik rnekleri yüksek gözenekliliğe sahip olduğu için W faktörünün sedimentlerden daha yüksek olması beklenir. Bu noktada örneğin gömülü olduğu süre içinde doygunluk seviyesine ne kadar yaklaşmış olduğu sorusu ortaya çıkar. F doygunluk kesri örneğin gömülü olduğu süre içindeki varsayılan ortalama su içeriğine karşılık gelir (Aitken, 1985; Ege, 2009).

$$W = \frac{W_d - W_k}{W_k} \quad (2.12)$$

$$F = \frac{W_y - W_k}{W_d - W_k} \quad (2.13)$$

Burada

W_d : örneğin suya doymuş ağırlığı

W_k : örneğin kuru ağırlığı

W_y : örneğin alandan alındığı andaki yaş ağırlığı

Eğer doz hızları kuru malzemeden elde edilirse, gerçek doz hızları aşağıdaki uygun faktörler kullanılarak hesaplanabilir.

$$D_\alpha = \frac{D_{\alpha,kuru}}{1 + 1,50 \times W \times F} \quad (2.14)$$

$$D_\beta = \frac{D_{\beta,kuru}}{1 + 1,25 \times W \times F} \quad (2.15)$$

$$D_\gamma = \frac{D_{\gamma,kuru}}{1 + 1,14 \times W \times F} \quad (2.16)$$

2.10.5 Minerallerin asitle aşındırılması

Doz hesaplamaları yapılırken, kullanılan mineralin tanecik büyüklüğüne bağlı olarak, maruz kalınan radyasyonun farklı giricilik güçleri de dikkate alınır. Zimmermann (1967,1971) tarafından geliştirilen

ince tanecik (Fine Grain) tekniğinde 4–11 µm tanecik büyüklüğüne sahip mineraller kullanılır. Bu tanecik büyüklüğü alfa ve beta parçacıklarının tüm girciliğini sağlayacak kadar küçüktür. Bu nedenle azalma etkisi ihmal edilemez (Vanderberghe, 2003). Fleming (1966, 1970) tarafından geliştirilen kaba tanecik (Coarse Grain) tekniğinde ise yaklaşık 90 µm ve üzeri büyüklükteki tanecikler kullanılmaktadır.

Işıma ölçümlerinde, ister ince tanecik kullanılsın ister kaba tanecik, malzemenin hazırlanması sırasında örneğin dış tabakası birkaç mm olacak şekilde eğelenerek atılır. Bu nedenle de dışarıdan gelebilecek olan alfa radyasyonu katkısı etkin bir şekilde ortadan kaldırılır. İnce tanecikler çömlek parçasının bulunduğu çevredeki topraktan gama radyasyonuna, kendi içerisinden de alfa ve beta radyasyonuna maruz kalırlar. Kaba tanecikler ise yine çevredeki topraktan gama radyasyonuna maruz kalmasının yanında, içeriden sadece beta radyasyon dozu katkısı vardır. Fakat bu katkı uygulanan asitle aşındırma işlemi sırasında azaltılmış olacaktır. Alfa radyasyonu katkısı ise aşındırma ile tamamen elimine edilir.

Çömleğin TL tarihlemesi için klasik kaba tanecik tekniğinde parçacıklar oda sıcaklığında yaklaşık 40 dk konsantre HF ile işleme sokulur. Bu işlemin 3 sebebi vardır:

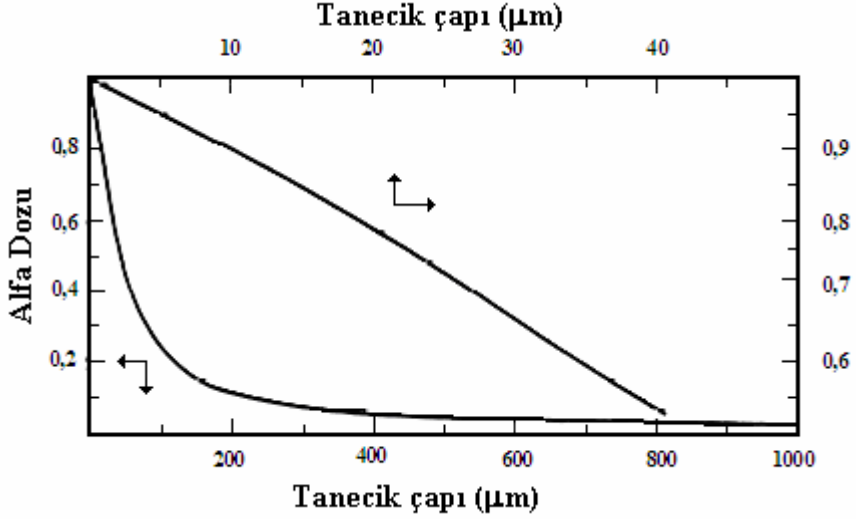
- 1) kuvars olmayan taneciklerin çoğunu çözmek
- 2) fırınlama boyunca kuvars içerisine difüze olan safsızlıklardan kaynaklanan bozulmuş yüzey renklerini atmak (bu kuvarsin şeffaflığını geliştirir ve ışıma eğrisinin şeklinin düzgün olmasını sağlar)
- 3) örnek matrisindeki alfa dozunu azaltmak

Kaba tanecik metodunda kısa menzilleri nedeniyle alfa parçacıkları taneciklerin sadece en dış katmanına doz bırakabilirler. Bu katman hidroflorik asit (HF) ile tanecikler aşındırıldığında örnek matrisinden uzaklaştırılabilir. Böylece bu taneciklerde ölçülen eşdeğer doz yalnızca daha yüksek gericilik gücüne sahip beta, gama ve kozmik radyasyondan meydana gelecektir. Beta parçacıkları da bu katmandan geçerken dozlarının bir kısmını burada bırakırlar. Asitle aşındırma işlemi bu bölgeyi etkileyerek beta katkısının da bir kısmını azaltmış olur. Bu azalmanın yıllık doz hesabında dikkate alınması gerekir. Kuvarsın genellikle, kristal örgü yapısı içerisindeki dislokasyon çizgileri boyunca çok yüksek bir oranla, düzensiz bir şekilde aşındığı bilinir (Lang and Miuscov, 1967; Bell and Zimmermann, 1978).

U ve Th bozunum serilerinde yayımlanan alfa parçacıklarının ortalama menzilleri yaklaşık 25 μm mertebesindedir. Bu nedenle alfa radyasyonu, kuvars tanecikleri içinden geçerken ciddi bir azalmaya uğrayacaktır. Kuvars taneciklerinin en iç katmanı ihmal edilebilir bir alfa dozu alır. İnce tanecikler ile kıyaslandığında, kaba kuvars tanecikleri tarafından alınan ortalama alfa dozu daha az olacaktır. Şekil 2.19 kuvars tanecikleri tarafından alınan ortalama alfa dozunun tanecik çapı ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Sonuç olarak kaba tanecikler için HF asidin uygulanması ve 100 μm 'den büyük taneciklerin kullanılması sebebiyle alfa dozunun ihmal edilebilir düzeyde olduğu varsayılır.

Bu aşınma işleminin mineraller tanecikleri üzerinde izotropik olduğu kabul edilerek, Norveç kuvarsları üzerinde yapılan ağırlık kaybı deneyleri (Bell and Zimmerman, 1978) bu asit uygulama işleminin alfa dozundaki hesaplanan azalmaya göre yaklaşık 6 μm 'lik dış tabakayı attığını göstermiştir. Ortalama radyoaktivite ve düşük alfa verimli (~0.035) tipik kuvars taneciklerine sahip bir çömlek parçası için 100 μm

çaplı taneciklerdeki toplam TL ye alfa katkısı yaklaşık %5'tir (Fleming, 1970; Bell and Zimmerman, 1978).

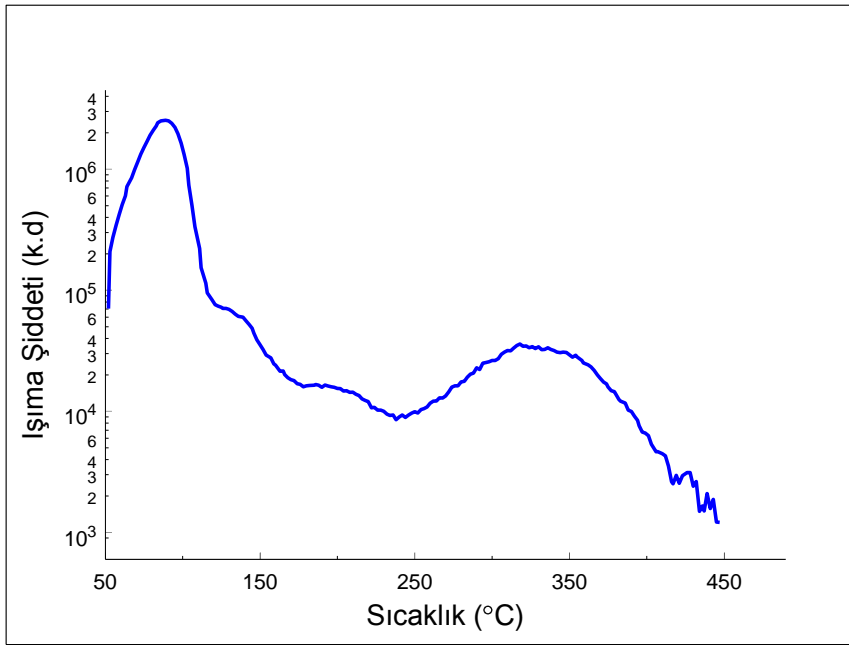


Şekil 2.19 Eşit toryum ve uranyum aktivitelere sahip bir matris içine gömülmüş verilen çapta bir kuvars taneciği için ortalama alfa dozunun değişimi (Aitken, 1985).

2.11 Kuvars Mineralinin Işıma Özellikleri

Kuvars, feldspatdan sonra, yer kabuğunda en çok bulunan mineraldir (ağırlıkça %12,6). Bileşiminin %100'e yakını SiO_2 ten oluşmaktadır. Volkanik kayaların çoğunda esas bileşen, sedimentlerde ise ikincil malzeme olarak bulunur. En çok bulunan formu düşük sıcaklık trigonal alfa kuvarstır. Bu kuvars 575 °C ve normal basınç altında, hegzagonal yüksek sıcaklık kuvarsa (beta kuvars) dönüşür (Deer et al. 1992). 1970'li yılların başlarından beri kuvars, termal uyarımlı ışırma tarihlemede yoğun bir şekilde kullanılmıştır (Aitken, 1985; Veronese et al., 2008; Hütt et al., 2001; Göksu et al., 2001; Benea et al., 2007; Sampson et al., 1972; Wang and Zhou, 1983).

Uyarılmış bir kuvars minerali oda sıcaklığından 500 °C'ye kadar ısıtıldığında birçok TL piki gösterir. 300 °C'nin üzerindeki iki pik HF asit ile işleme sokulmuş ve elenmiş çömlek parçasına ait kaba tanecik boyutundaki kuvars taneciklerinde gözlenmektedir (Fleming, 1970). Dozimetrik uygulamalarda yararlı olan tuzakların ışımaya eğrileri 200°C veya daha yüksek sıcaklıklardadır.



Şekil 2.20 Arkeolojik örneklerden elde edilen kaba tanecik kuvars minerallerine ait TL pikleri

Doğal kuvars minerali mavi (460-480 nm), turuncu (610-630 nm) ve düşük sıcaklık pikleri için UV-mor bölgede (360-420 nm) 3 temel emisyon bandına sahiptir (Wintle, 1997). UV bölgesindeki emisyon bandı sadece OSL ölçümlerinde gözlemlenmektedir (Wintle, 2008).

Kuvarsta en yaygın ışım pikleri 110, 160, 220, 325 ve 375 °C'dedir (Wintle 1997). 110 °C piki sadece laboratuvar ışınlaması ile elde edilebilir (Fleming 1973). 325 ve 375 °C deki pikler sırasıyla hızlı ağaran ve yavaş ağaran pikler olarak bilinir (Franklin ve Hornyak, 1990). 325 °C piki optiksel uyartım yoluyla 375 °C pikinden daha hızlı ağartılır. Çalışmada kullanılan arkeolojik örneklerden elde edilen kaba tanecik kuvars minerallerine ait TL pikleri Şekil 2.20'de verilmiştir. 325 °C'de, bir omuz şeklinde gözlenen pikin güvenilir olmayan bir doz cevabına sahip olduğu bulunmuş ve "malign" olarak adlandırılmıştır (Fleming 1970). Bu pik yaklaşık 380 nm'de bir emisyonla sahiptir. 325 °C pikine sebep olan elektronların kullanıldığı lüminesans merkezinin termal sönümlenme gösterdiği Wintle (1975) tarafından seramik örneğinden çıkartılan kuvars için tanımlanmıştır. Bu yeniden birleşme süresince merkezin radyatif olmayan yeniden uyarılma olasılığının artması anlamına gelir. Kinetik parametrelerle yapılan çalışmalar sonucunda 325 °C pikinin 10^6 yıla kadar tarihleme için kararlı olduğu gösterilmiştir (Wintle, 2008). Avusturya kuvarsları üzerine Scholefield et al 1994 tarafından yapılan çalışmada 375 °C pikinin yaklaşık 480 nm'de bir emisyonla sahip olduğunu belirtmişlerdir. McKeever ve ark. (1985) tarafından bu emisyonun kuvars örgüsünde bir hol tuzağı olarak davranan AlO_4 olduğu gösterilmiştir. Tuzak parametreleri üzerine yapılan çalışmalar bu pikin yüksek termal stabiliteye sahip olduğunu işaret etmiştir ($E=1,66$ eV, $\log_{10}S=13$ ve 15 C de $\tau > 10^8$ y) (Aitken 1985). Bu pikin oldukça düşük dozlarda doyumluğa ulaştığı ve 50 ka üzerindeki yaşların tarihlemesi için yararlı olmadığı rapor edilmiştir. Bununla birlikte bu pik, yıllık dozun çok düşük olduğu (0,5 Gy/ka), laboratuvar ve doğal radyasyona karşı sature olmayan bir cevap gösteren örnek üzerinde Avustralyada yapılan çalışmada 500 ka'ya kadar olan tarihleme çalışmaları başarı ile uygulanmıştır (Huntley et al., 1993).

Tarihleme için dikkati çeken diğer bir pik sadece laboratuarda ışınlanan örneklerde gözlenen 110 °C pikidir ve H₃O₄ hol merkezine karşılık gelen yaklaşık 380 nm de maksimum bir emisyonu sahiptir (Yang and McKeever, 1990). Bu pikin yüksekliği, 500 °C'ye ısıtıldıktan sonra gözlenen, doza bağlı duyarlık değişimini göstermek için kullanılabilirdiği öndoz (predose) tarihleme tekniğinin temelini oluşturmuştur (Fleming 1973). Franklin ve ark. (1995) 110, 180, 220 ve 325 °C'deki piklerin tümünün aynı lüminesans merkezlerini kullandığını ve bunların pik emisyonlarının örnek sıcaklığının artışıyla daha yüksek dalgaboylarına kaydığı sonucuna ulaşımlardır (Wintle, 2008).

TL ölçümlerindeki bir zorluk da termal sönümlemedir (Wintle 1975). Örneğin sıcaklığı artırıldığında ışımaya verimi sıkça düşer. Kuvarsta verimdeki bu düşüş sıcaklık artarken radyatif olmayan yeniden birleşmelerin olasılığının artmasıyla açıklanabilir (Mott and Gurney, 1948; Thomsen, 2004).

2.12 Işıma Verimi

Bir örneğe aynı miktarda verilen gama veya beta radyasyonu ile elde edilen ışımaya sinyali aynıdır. Bunun anlamı ışımaya neden olan beta ve gama radyasyonunun aynı verime sahip olmasıdır.

Alfa radyasyonunun verimi güçlü iyonizasyon özeliğinden dolayı diğerlerine göre daha düşüktür. Kuvars kristali içerisine giren bir α -parçacığı gittiği yol üzerindeki tüm tuzakları doyunluğa ulaştırır. Beta ve gama radyasyonu daha yüksek giriciliğe sahip oldukları için uzun mesafelerde eşit olarak dağılan bir iyonizasyona neden olurlar. Alfa parçacıkları ise sadece kısa yolu üzerinde iyonizasyon yapacağı için

meydana gelen elektronların büyük kısmı boşa gitmiş olacak ve soğurulan doz başına meydana gelen ışıma az olacaktır (Vanderberghe, 2003). Bu oran genellikle beta ve gama radyasyonları ile kıyaslandığında 0,5 ile 0,05 arasında bir katsayıdır.

Zimmermann (1971) ϵ veya k-değeri, Aitken ve Bowman (1975) a değeri ve Huntley ve arkadaşları (1988) b-değeri gibi katsayılarla alfa parçacıklarının düşük etkinliğini açıklamaya çalışmışlardır. (Vandenbergh, 2003).

Bu tezde ışıma ölçümleri için kaba tanecik kuvars minerali kullanılmıştır. Uygulanan kimyasal işlemlerle birlikte alfa dozunun etkin olduğu mineralin dış tabakası aşındırıldığı için toplam doza alfa katkısı ihmal edilir. Aynı zamanda kuvars kristalinin kendi içerisinde radyoaktiviteye sahip olmamasından dolayı da yıllık doz hesaplamalarında beta, gama ve kozmik radyasyondan gelen katkılar değerlendirilmiştir.

3. MATERYAL METOT

3.1 Örnekleme Alanı

Arkeolojik örnekleme alanı olarak İzmir tarihindeki önemi nedeniyle Bornova Yeşilova mevkisindeki Yeşilova Höyüğü seçilmiştir. Yeşilova Höyüğü; İzmir ili merkezinde, Bornova ilçesi Karacaoğlan mahallesindeki Çimentaş'a ait arsaların içinde yer almaktadır. Höyük, Bornova Ovası'nın ortasında Manda çayı ile Gökdere'nin birleştiği alandadır. Yerleşim alanı bugünkü sahile kuş uçuşu 3.5-4 km. mesafededir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Yeşilova Höyüğü'nün kuşbakışı görüntüsü

Höyüğün yerleşiminin yaklaşık 200-300 m. çapında bir alanı kapsadığı düşünülmektedir. Günümüzden 8-9 bin yıl önce başladığı anlaşılan Neolitik Çağ olarak adlandırılan, insanların yerleşik hayata yeni geçtikleri dönemi içeren kültür toprağı en az 4-5 m. kalınlığındadır.

Yeşilova Höyüğü'nün bulunduğu yer İzmir 1 Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'nun 13.01.2005 tarih ve 257 sayılı kararı uyarınca 1. derece arkeolojik sit ilan edilmiştir.

İzmir Arkeoloji Müzesi Başkanlığı ve Ege Üniversitesi Edebiyat Fak. Arkeoloji Bölümü Öğretim Üyesi Yard. Doç. Dr. Zafer DERİN'in sorumluluğu altında Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün 11.07.2005 gün - 97932 sayılı yazısı ve 30.06.2006 gün ve 106960 sayılı yazılarıyla iki yıl kurtarma kazısı yapılmıştır.

Prehistorik dönemde zengin bitki örtüsü ve hayvan kaynaklarıyla uygun çevre koşullarına sahip Bornova Ovası, İzmir'in ilk yerleşimcilerine ev sahipliği yapmıştır. Höyüğün yüzeyinde çok az miktarda Geç Roma keramiğı dışında herhangi bir bulguya rastlanmamış, ancak kesitlerde yüzey toprağının 0.80 m altında Neolitik ve Kalkolitik Çağa ait buluntular tespit edilmiştir.

Yüzey toprağının 4 metre altında kalan ilk yerleşim Neolitik Çağın başında başlamış (MÖ.6500 ve öncesinde) ve Neolitik Çağın sonuna doğru en zengin dönemine ulaşmıştır. Yerleşim kısmen Kalkolitik Çağ süresince de (günümüzden 6 bin yıl önce) devam etmiştir. Höyük alanı sıklıkla gelen sel baskınlarından sonra terk edilmiş ve sonunda tamamen alüvyon tabakası altında kalmıştır (Şekil 3.2).

Yeşilova Höyüğü'ndeki yerleşim 3 kültür katından oluşmaktadır. Buna göre katlar yüzeyden başlayarak;

I. Kat Geç Roma –Erken Bizans dönemi

II. Kat (1-2 tabakaları) Kalkolitik Dönem

III.Kat (1-8 tabakaları) Neolitik Dönem şeklinde sıralanabilir (Şekil 3.3).

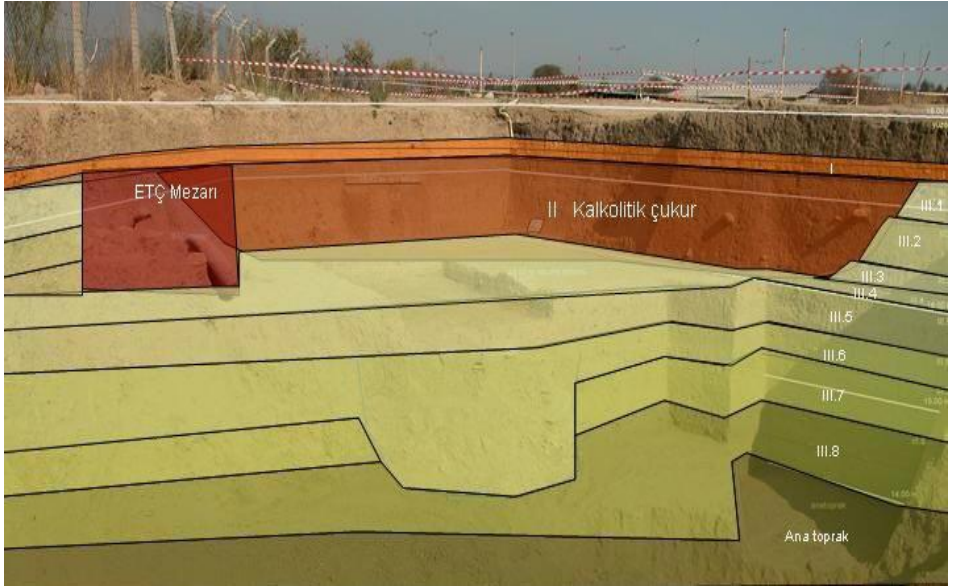
Höyük katları arasında günümüzden 5000 yıl öncesinde Erken Tunç Çağ'ına (ETÇ) ait herhangi bir buluntuya rastlanmamasına karşın, yerleşim alanı tümüyle terk edildikten sonra Yeşilova Höyüğü'nün bir bölümü ETÇ mezarlığı olarak kullanıldığı anlaşılmıştır. Geç Roma döneminde de olasılıkla çiftlik şeklinde bir yer olarak kullanılmıştır.

2005-2006 yılında gerçekleştirilen kazı çalışmaları sonucunda Yeşilova Höyüğü'nün sadece İzmir'in değil aynı zamanda Ege Bölgesi'nin bilinen en eski yerleşim merkezlerinden biri olduğu anlaşılmıştır. Alt katların keramikleri ve buluntuları İzmir ve çevresinin en erken Neolitik Çağ bulgularını oluşturmaktadır.

Çalışmada kullanılan arkeolojik örnekler Neolitik çağa ait olan örneklerdir. Tarih öncesi uygarlığında yeni iklim şartlarına ve onun oluşturduğu çevreye uyum sağlayan insanoğlunun besin üretime geçtiği ilk döneme Neolitik Çağ adı verilmiştir. Eski tanımlarda tarım, hayvan evcilleştirme, yerleşik yaşam ve çanak çömleğin olduğu döneme de Neolitik Çağ adı verilmektedir.



Şekil 3.2 Yeşilova Höyüğü kazı alanı.



Şekil 3.3 Yeşilova Höyüğü'ne ait kültür katlarının şematik gösterimi.

Çalışmada kullanılan örneklerin alındığı III.kat Yeşilova Höyüğü'nün en uzun süreli ve en kalın kültür katıdır. 3 metre kalınlığındaki Neolitik kültür katı ana toprak üzerinden itibaren 8 tabakaya sahiptir. Bu katta Ege Bölgesi'nin tüm Neolitik sürecini izlemek mümkündür. Hemen her tabakada sel izlerine ait çamur-kil birikintisi vardır. Bazı tabakalar yağış ve sel baskınlarının ardından toprağın kurumasından sonra beton gibi sertleşmiştir. Killi toprak yağmur ve sel gibi doğal olaylarda yerleşimin büyük oranda tahribata uğramasına neden olmuştur. Buluntular Yeşilova Höyüğü Neolitik sürecinin III.1-2, 3-5 ve 6-8. katlarda kendi içinde üç dönemde geliştiğini ortaya koymuştur.



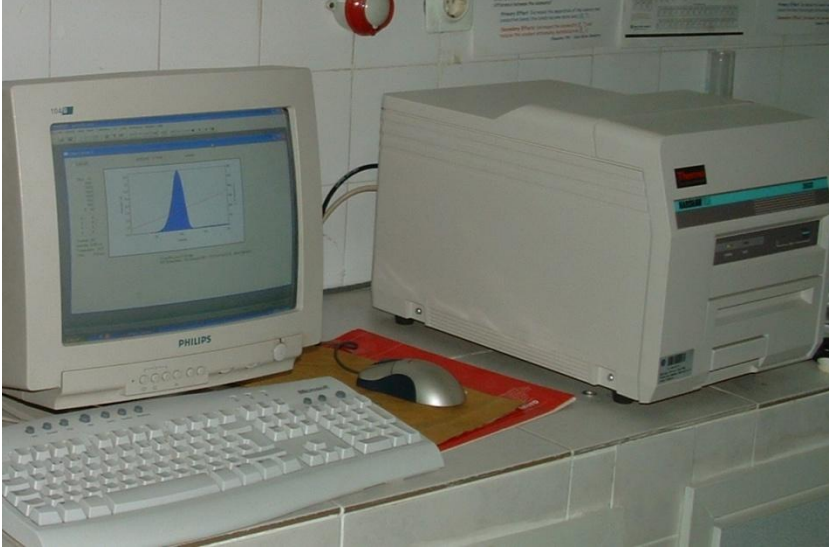
Şekil 3.4 Yeşilova Höyüğü kazısından alınan ve çalışmada kullanılan Neolitik döneme ait keramik örneklerine ait bazı resimler

Neolitik dönem keramikleri yüzyıllar boyunca değişim göstermişlerdir. Neolitik döneme ait erken yapı katının (III.7-8) keramikleri kahverenginin tonları (açık, koyu, grimsi kahve), sarı ve krem astarlıdır. Keramikler kısmen perdahlı, orta derecede pişmiş ve el yapımıdır. Kilin içine katkı maddesi olarak kum, küçük taşçık ve deniz hayvan kabuğu katılmıştır. Mika hamura katılmayıp iç ve dış yüzeye sıvazlanmış gibi görülmektedir (Şekil 3.4). Bu çağa ait olan örneklerin yüzeyinde herhangi bir sır tabakası ve boyaya rastlanmamaktadır (www.yesilova.ege.edu.tr).

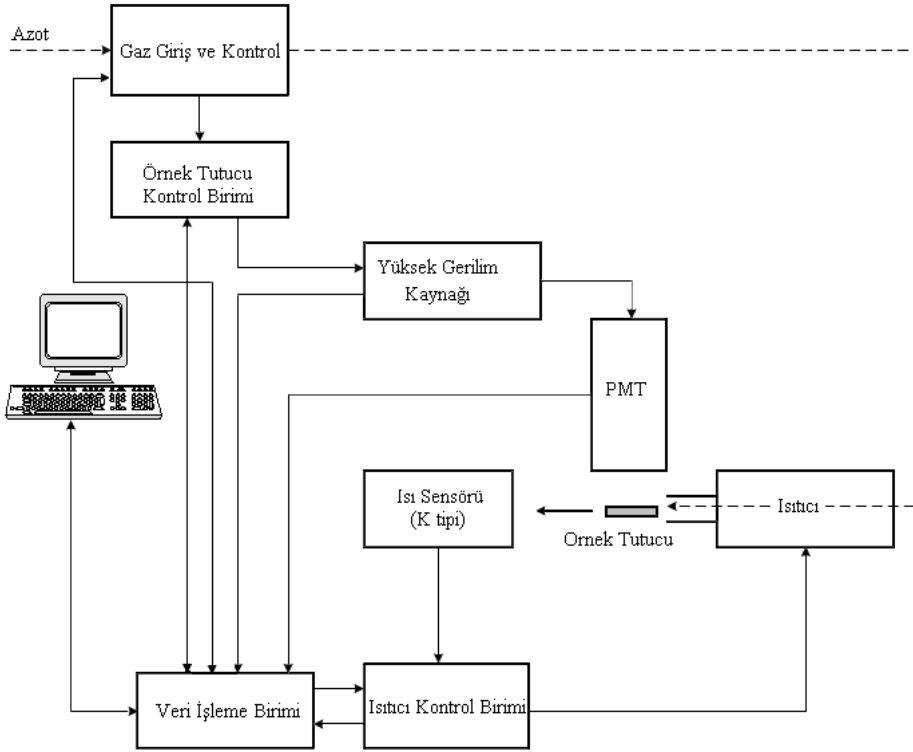
3.2 Termolüminesans Dozimetre (TLD) Okuyucu Sistemi

Çalışmadaki tüm ışına ölçümleri için Harshaw 3500 TLD okuyucu sistem kullanılmıştır. Bu sistem bilgisayar bağlantılı el ile işletilen bir okuyucudur (Şekil 3.5). TLD okuyucu ve seri iletişim port ile bağlantılı WinREMS (Windows Radiation Evaluation and Management System) programının çalıştırıldığı bir bilgisayar olmak üzere iki temel bileşeni vardır.

Genel olarak bir TLD okuyucu sistem ısıtma işleminin yapıldığı bir örnek tablası, ısıtma süresince meydana gelen ışımanın belirlenip toplandığı, elektronik olarak ışına verilerinin aktarıldığı, görüntülendiği ve kaydedildiği kısımlardan meydana gelmektedir (Şekil 3.6). Çalışmada kullanılan sistemde örnek tablası 150 mm çapındadır. Cr-Ni alaşımından yapılmış olan örnek tablası tek bir örnek için tasarlanmıştır. Isıtma işlemi boyunca sıcaklık kontrolü K tipi ısı çifti (termocouple) kullanılarak yapılmıştır. Sistem ile örnekler oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar lineer olarak ısıtılabilir.

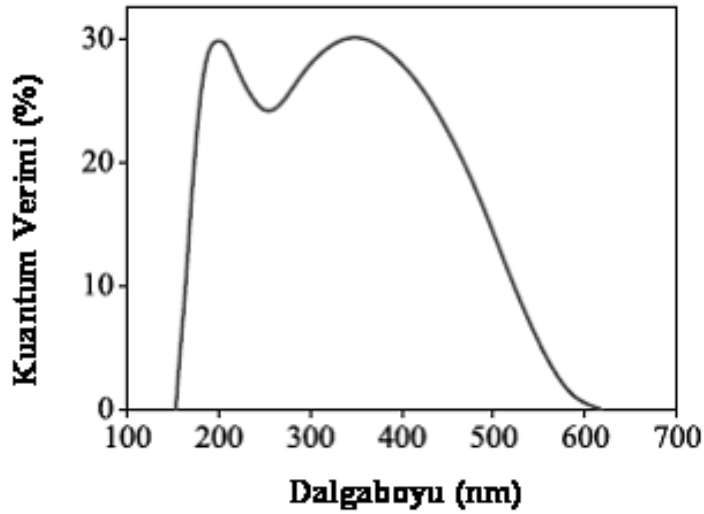


Şekil 3.5 TLD okuyucu sistemi (Harshaw TLD 3500).



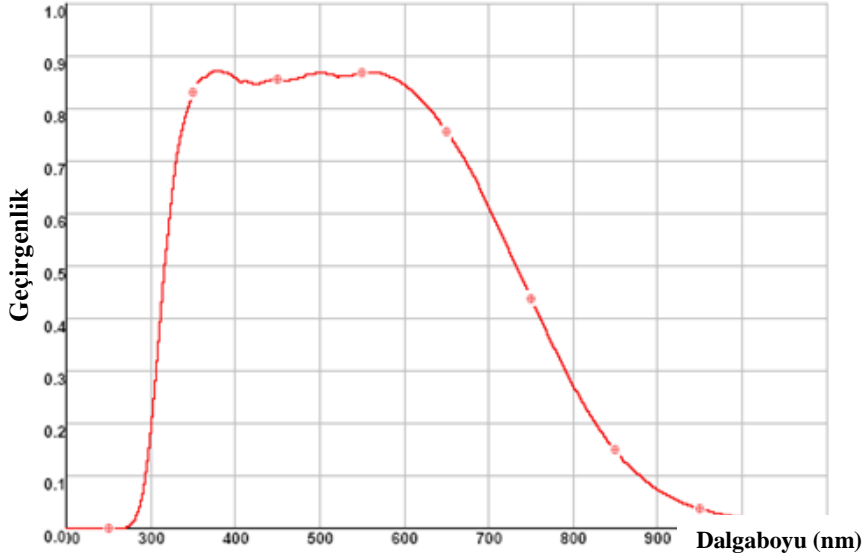
Şekil 3.6 Basit bir TLD okuyucu diyagramı.

Isıtma işlemi ile yayımlanan ışımada bulunan bir fotoçoğaltıcı tüp (PMT-EMI 9235QA) kullanılarak belirlenmektedir. Bu PMT 400 nm’de maksimum dedeksiyon verimine sahiptir (Şekil 3.7). Çalışmamızda kullanılan $Al_2O_3:C$ TL dozimetreler (420 nm) ve kuvars mineralleri (380 nm) bu dalga boyu civarında ışımaya verdikleri için bu fotoçoğaltıcı tüp çalışma için uygundur (Wintle, 1997; McKeever et al., 1995). Fotoçoğaltıcı tüpe gelen ışımaya sinyalleri yükselttilerek WinREMS programına aktarılır. Bu program ile ışımaya sinyalleri bilgisayar ekranında görüntülenir ve kaydedilebilir.



Şekil 3.7 TLD okuyucu sistemde kullanılan fotoçoğaltıcı tüpün foton dalga boyuna bağlı olarak kuantum verimi.

Fotoçoğaltıcı tübün önüne ısıtıcı yüzeyden veya örnekten gelen siyah cisim ışması olarak adlandırılan ve yüksek sıcaklıklarda oluşan ışımaya etkisini azaltmak için ısı soğurucu bir filtre (Schott KG-1) ve fotoçoğaltıcı tüpü gelebilecek çok yüksek şiddetteki ışıktan koruyabilmek için nötral yoğunluklu filtre kullanılmıştır (Şekil 3.8).

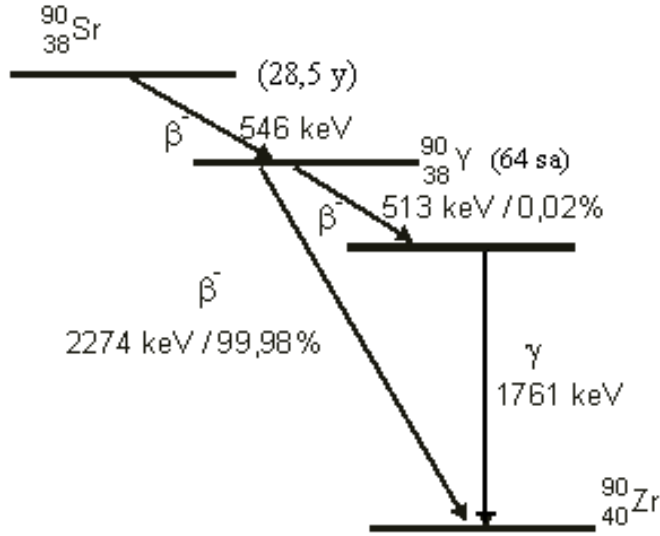


Şekil 3.8 KG-1 filtresinin geçirgenlik spektrumu.

3.3 ⁹⁰Sr Beta Kaynağı Kalibrasyonu

Yıllık ve eşdeğer dozun belirlenmesi aşamalarında laboratuvar ışınlamaları için 28 yıl yarı ömre ve 650 MBq aktiviteye sahip ⁹⁰Sr/⁹⁰Y beta kaynağı kullanılmıştır. ⁹⁰Sr/⁹⁰Y radyonüklidinin bozunum şeması Şekil 3.9'da verilmiştir.

Işıma şiddeti değerlerinden doz değerlerine geçebilmek için öncelikle kaynağın her bir malzeme için verdiği eşdeğer doz değerlerinin belirlenmesi gerekir. Kaynak kalibrasyonu için çalışmada kullanılan Al₂O₃:C TL dozimetreler ve Merck stabilize kuvars örnekleri sıfırlanarak üzerlerinde birikmiş olabilecek yükler tamamen boşaltılmıştır. Daha sonra bu malzemeler Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM), SSDL'de (Sekonder Standart Dozimetri Laboratuvarı) Cs-137 kaynağı ile ışınlanmıştır.



Şekil 3.9 ^{90}Sr radyonüklidinin bozunum şeması.

İnce ve kalın $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ TL dozimetreler 10 mGy, kuvars mineralleri ise 250 mGy'lik dozlara maruz bırakıldıktan sonra TLD okuyucu ile parıldama eğrileri kaydedilmiştir. Aynı malzemeler sıfırlandıktan sonra ince ve kalın $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ TL dozimetreler 10 s'lik, kuvars mineralleri ise 15 s'lik sürelerde laboratuarda bulunan beta kaynağına maruz bırakılmışlar ve yine parıldama eğrileri kaydedilmiştir. Parıldama eğrilerinin uygun aralıktaki integrasyonlarının oranından yararlanarak kaynağın her bir malzeme için verdiği eşdeğer doz değeri bulunmuştur.

3.4 Eşdeğer Doz Ölçümleri için Örneklerin Hazırlanması

İzmir Yeşilova Höyüğünden örneklerin alınmasından sonra ışık görmemesi için örnekler siyah poşetler içerisinde saklanmıştır. Tarihlendirilecek örneğin TL sinyalinin sönümlenmemesi için tüm ışımaya ölçümleri laboratuarda kırmızı ışık altında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak

örnekleme alanından getirilen malzemelerin nem içerikleri belirlenmiştir (Bölüm 4.2). Bu çalışmada 140-250 µm arasındaki kaba tanecik kuvars minerali kullanılmıştır. Arkeolojik örneğin ışık görmüş olma ihtimali ve dışarıdan gelen alfa ve beta radyasyonu katkısını elimine etmek için örneğin yaklaşık 3 mm'lik dış tabakası eğelenerek atılmıştır. Daha sonra örnekler havanda yavaş hareketlerle dövülmüştür. Dövme işlemi sırasında örnek sık sık eleklerden geçirilerek 140-250 µm boyutundaki tanecikler ayrılmıştır.

Kaba tanecik boyutuna ayrıştırılmış örnek içerisindeki karbonatları uzaklaştırmak için %10'luk HCl asit çözeltisi kullanılmıştır. Örnek zaman zaman karıştırılarak kimyasal reaksiyonun hızlanması sağlanmıştır. Bir gece boyunca HCl içerisinde bekletilen örnekteki kimyasal reaksiyonun sona ermesinin ardından saf su ile defalarca yıkanarak nötralize edilmiştir. Daha sonra kuruması için 40 °C sıcaklığındaki etüve bırakılmıştır.

Örnek matrisi içerisindeki organik bileşenleri uzaklaştırmak için örnek içerisine %30'luk H₂O₂ eklenmiş ve kimyasal reaksiyonun hızlanması için karıştırılmıştır. Örnek içerisinde büyük oranlarda organik malzeme bulunmadığı için yaklaşık 1 saatte kimyasal reaksiyon sona ermiştir. Reaksiyonun sona ermesinin ardından örnek saf su ile iyice yıkanarak nötralize edilmiş ve yine kuruması için 40 °C sıcaklığındaki etüve bırakılmıştır.

Son olarak örnek önce 40 daha sonra 5 dakika boyunca %40'luk HF asit içerisinde bekletilmiştir. Böylece kuvars olmayan taneciklerin çoğu çözelti fazına geçmiş, taneciklerin şeffaflığı artmış ve örnek matrisindeki alfa dozu ihmal edilebilecek düzeye azaltılmıştır. Kimyasalların uygulanmasından sonra örnek tekrar 140 µm'lik elekten ıslak eleme

yoluyla geçirilmiş ve böylece işlemler sırasında meydana gelebilecek tanecik boyutundaki azalmalar dikkate alınmıştır.

Uygulanan kimyasal işlemlerden sonra örnek matrisi içerisinde siyah partiküller gözlenmiştir. Bu partiküllerin manyetik özellik göstermesinden yararlanarak örnek miktatıs kullanılarak temizlenmiştir. Bu işlemten sonra bile örnek içerisinde az da olsa safsızlıklar gözlemlenmiştir. Bu safsızlıkların neler olduklarının anlaşılması için İzmir Yüksek Teknolojisi Malzeme Araştırma Merkezinde EDX detektörlü SEM taramalı elektron mikroskobu ile örneğin içerik analizi yaptırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ağır sıvı kullanılarak kuvars örnekleri saf olarak elde edilmiştir. Saflaştırılan kaba tanecik boyutundaki kuvars mineralleri 10 mm çapında 0,5 mm kalınlığındaki çelik diskler üzerine yaklaşık 6-7 mg olacak şekilde hazırlanarak eşdeğer doz ölçümleri için hazır hale getirilmiştir.

3.5 Eşdeğer Dozun Belirlenmesi için Işıma Ölçümleri

Eşdeğer dozun belirlenmesi aşamasında tüm ışıma ölçümleri Harshaw TLD 3500 okuyucu kullanılarak alınmıştır. Sistemin örnek tablası tek örnek için uygun olması nedeniyle eşdeğer dozun belirlenmesi için tek örnek yenileme metodu (SAR) kullanılmıştır. SAR metodunun en önemli avantajı özellikle arkeolojik örnekler gibi değerli malzemelerle çalışıldığında gerekli olan örnek miktarının az olmasıdır. Bu metotta 6-7 mg'lık tek bir disk üzerine hazırlanmış örnek yeterlidir. Bununla birlikte istatistiksel hatanın azaltılması için hazırlanan 4 disk ile ölçümler tekrarlanmıştır. SAR metodu tek örnek üzerinde uygulandığı için normalizasyon gerektirmez. Halbuki çoklu örneklerde diskler arasında ağırlık ve/veya malzemenin ışıma duyarlığında farklılıklar olabilir. Bu

nedenle de normalizasyon yapılır. Bu durum elde edilen sonuçlardaki hata oranlarını artırmaktadır. (Duller 1994a; 1994b; 2004; Prescott and Robertson, 1997). SAR metodunun bu avantajlarının yanı sıra en büyük dezavantajı aynı örneğin defalarca dozlanarak ısıtılmasıdır. Bu durum kuvars kristallerinin duyarlılığını değiştirebilir. Tekli örnek yöntemi ile ilgili çalışmalar son yıllarda ön ısıtma ve duyarlılık değişimi v.b. gibi deneysel süreçte karşılaşılan problemlerin çözümüne ilişkin gelişmelere bağlı olarak artmıştır (Jacobs et al., 2006; Michael and Zacharias, 2006). Kullanılan örneklerde duyarlılık değişiminin olup olmadığını kontrol edebilmek için her bir ışıma ölçümünden sonra örneğe test dozu verilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda örneklerin duyarlılığında bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir.

SAR metoduna göre örnekler için uygun ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesi için hazırlanan örneğin doğal ışıma sinyali ölçüldükten sonra örneğe laboratuvarında doğala yakın dozlar verilir. Daha sonra farklı ön ısıtma sıcaklıkları uygulanarak parıldama eğrileri alınır. Doğal parıldama eğrisine en çok benzeyen eğriyi veren sıcaklık değeri ön ısıtma sıcaklık değeri olarak kabul edilir (Göksu et al., 2001). Çalışmada örneklere 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240 ve 250 °C lik ön ısıtma sıcaklıkları uygulanmıştır. Uygun ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesinden sonra örneğe ait doz cevap eğrisinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bununla ilgili olarak hazırlanan örneklerin önce doğal sinyalleri alınmıştır. Daha sonra $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β kaynağı ile örneklere farklı dozlar verilerek her ışınlama sonrasında Harshaw TLD okuyucusu ile $2\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ ısıtma hızı kullanılarak $50\text{ }^\circ\text{C}$ 'den $450\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye parıldama eğrileri ve bunu takiben ortam ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerden yararlanarak net parıldama eğrileri elde edilmiştir.

Bu parıldama eğrilerin birbirine oranından yararlanarak uygun plato aralığı belirlenmiştir. Bu sıcaklık aralığındaki integrasyonlar kullanılarak büyütme eğrileri çizilmiştir. Bu eğriler üzerinde doğal sinyale karşılık gelen doz değeri örneğe ait eşdeğer dozu verecektir. Eşdeğer doz değerlerinin hesaplanan yıllık doz değerlerine oranından örneklerin yaşları belirlenmiştir.

3.6 Yıllık Dozun Belirlenmesi

Bu çalışmada yıllık dozun belirlenmesinde mevsimsel değişimlerinde dikkate alındığı doğrudan metot kullanılmıştır. Bu metot ile TLD'lerin parıldama eğrilerinin dozla orantılı olmasından yararlanır.

3.6.1 Yıllık doza gama ve kozmik radyasyon katkısının belirlenmesi

Bu metot kapsamında düşük doza karşı duyarlı oldukları bilinen ve çevresel radyasyon dozunun belirlenmesinde sıklıkla kullanılan α - $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetreler kullanılmıştır (Burbidge and Duller, 2003; Kalchgruber et al., 2003; Göksu et al., 1999, 2001; Göksu and Schwenk, 2000; Hütt et al., 2001; Veronese et al., 2008). Bu dozimetreler yaklaşık 5 mm çapında ve 1 mm kalınlığındadır. $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ iyi ısı iletimi, radyasyon hasarlarına karşı direnci, geniş bant aralığı ve kimyasal tepkisi gibi faktörler radyasyon dozimetrisinde önemli avantajlar sağlamaktadır. $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ 'ye göre duyarlılığı 60 kat daha fazladır (Akselrod, et al., 1993). Akselrod ve ark. (1993) dozimetrelerin karanlıkta saklandığında sönmülenmesinin yıllık %5'ten az olduğunu söylerken Musk (1993) 3 ay içinde bu değerın %21 olduğunu göstermiştir. Bu dozimetrenin TL doz yanıtı geniş bir aralık için doğrusaldır. Artalanı yaklaşık $1\mu\text{Gy}$ kadardır.

Yüksek duyarlılığı ve düşük artalanı dolayısıyla doğrusallık aralığı 10^{-7} 'den 10 Gy'e kadar uzanır ve bu değerden sonra yavaşça doğrusallıktan sapmaya başlar (Akselrod et al., 1993). Yaklaşık olarak 30 Gy'de doyuma ulaşır. Söz konusu geniş doz yanıt aralığı, dozimetreye kişisel dozimetre ve çevresel radyasyonun izlenmesi gibi çok geniş bir kullanım alanı sağlamıştır (Bøtter-Jensen, 2000; Akselrod et al., 1990, 1993; McKeever et al., 1995). Bu avantajlarıyla birlikte $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ 'in kullanımını sınırlayan en önemli faktörlerden biri ışık duyarlılığıdır. Işık duyarlılığı ışık etkisiyle solma ve ışınlanmış örneklerde derin tuzaklardan sığ tuzaklara ışık uyarımıyla yük transferi şeklindedir. Bu nedenle tavlama, ışınlama ve örnekleme alanında yapılan işlemler sırasında dozimetreler ışık geçirmeyen siyah kutu ve poşetler içerisinde taşınarak korunmuştur.



Şekil 3.10 Doğrudan metot ile yıllık doza gama kozmik radyasyon katkısının belirlenebilmesi için hazırlanan kalın $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ dozimetreler.

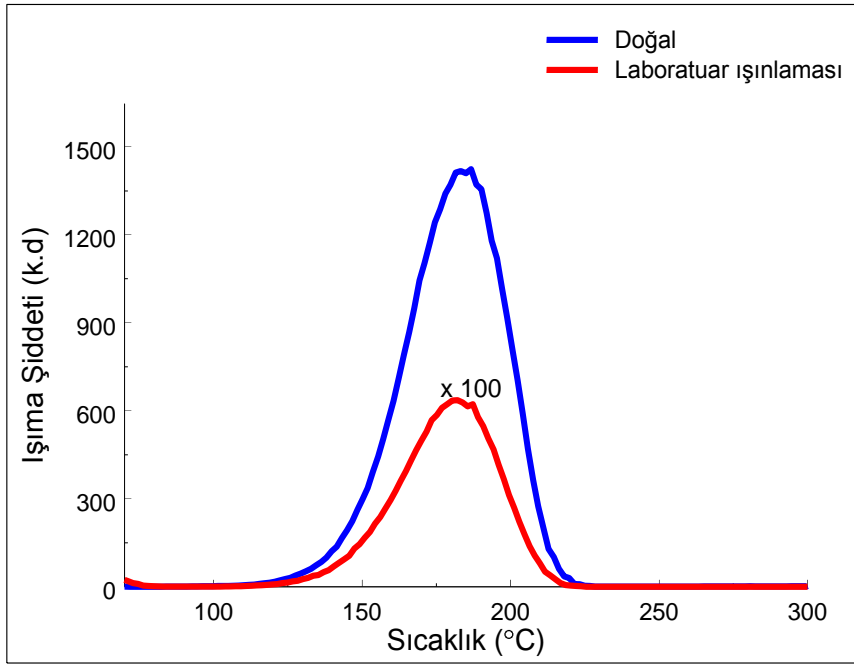
$\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetrelerinin bir diğerk özeliği de kendi içerisinde çok kararlı olmakla birlikte aynı grupta üretilmiş dozimetrelerin duyarlığı arasında bile farklılıklar görülebilmektedir. Bu nedenle tüm çalışma boyunca kullanılan dozimetreler numaralandırılarak çalışılmıştır.

Doğrudan metot ile yıllık doza gama ve kozmik radyasyon katkısının belirlenebilmesi için hazırlanan dozimetreler örnekleme alanına gömülür. Öncelikle dozimetrelerin çevreden almış olabilecekleri olası bir radyasyon dozunun etkisinin silinmesi için literatürde de belirtildiği gibi $900\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 15 dakika tavlanaarak sıfırlanmıştır (Akselrod et al., 1993; McKeever et al., 1995). Dozimetrelerin toprakta kaldığı süre boyunca çevreden gelebilecek beta radyasyonu katkısını engellemek, nemden korumak ve dozimetrelerin ışığa karşı duyarlı olmasından dolayı ışık görmemesi için alüminyum folyo ile tek tek paketlenerek plastik tüpler içerisine yerleştirilmiştir (şekil 3.10).



şekil 3.11 Yeşilova Höyüğü'nde $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetrelerin gömüldükleri örnekleme noktasına (III. Kat, 7. katman) ait bir resim.

Matris etkisini göz önüne almak için tüpler örnekleme alanına ait toprak ile doldurulmuştur. Hazırlanan tüpler geometriyi sağlayabilmek için alanda örneklerin toplandığı noktalarda yaklaşık 30 cm derinliğinde (gama radyasyonunun girciliği yaklaşık 30 cm'dir) açılan deliklere yerleştirilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.12 Örnekleme alanına gömülmüş doğal ve laboratuvarında ışınlanmış olan kalın $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ TL dozimetrelere ait örnek parıldama eğrileri.

Dozimetreler burada tüm mevsimsel değişiklikleri içerecek şekilde 14 ay bekletildikten sonra yerlerinden çıkartılmış ve laboratuvarında Harshaw TLD 3500 sistemi ile doğal parıldama eğrileri alınmıştır. Her bir dozimetrenin laboratuvarında kalibrasyonu yapılmış $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta

kaynağı ile yaklaşık 31 mGy'lik laboratuvar dozları verilerek parıldama eğrileri alınmıştır (Şekil 3.12). Elde edilen parıldama eğrilerininin 125–250 °C sıcaklık aralığında integrasyonları alınmış ve aralarındaki orantıdan yararlanarak doğrudan metot ile doğal çevrenin verdiği yıllık gama + kozmik radyasyon dozu belirlenmiştir.

3.6.2 Yıllık doza beta radyasyonu katkısının belirlenmesi

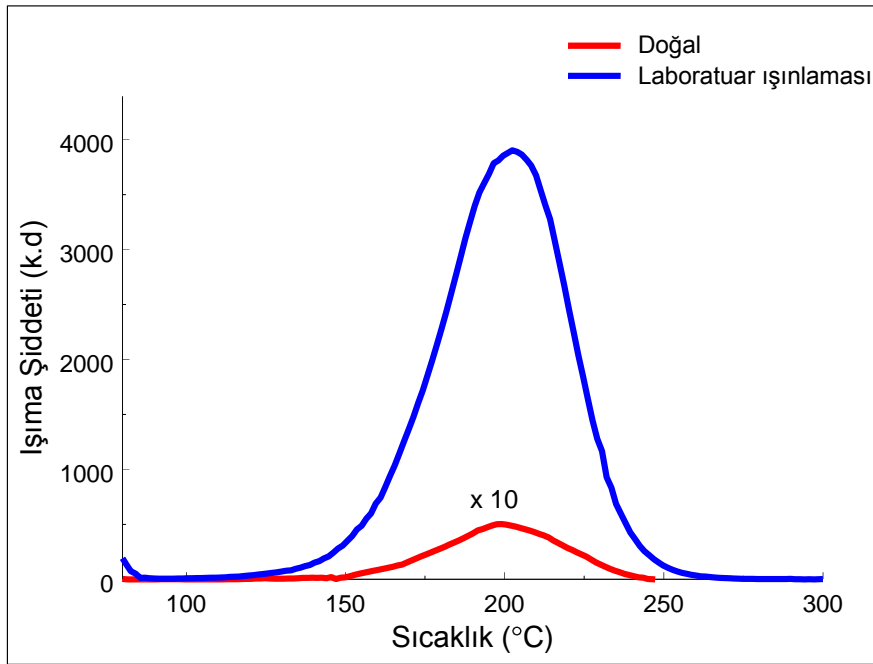
Doğrudan metot ile yıllık doza beta katkısı için ince $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ TL dozimetreler kullanılmıştır. Dozimetreler ilk olarak literatürde de belirtildiği gibi 400 °C'de 30 dakika tavlansarak sıfırlanmıştır (Göksu et al., 1999; El-Faramawy et al., 2004).



Şekil 3.13 Doğrudan metot ile yıllık doza beta radyasyonu katkısının hesaplanması için hazırlanan ince $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetreler

Arkeolojik örnek ve art ortamın belirlenebilmesi için stabilize mercek kuvars örnekleri, ~2 gr olacak şekilde kaplar içerisine

yerleştirilmiş ve kapların üzeri Mylar ile kaplanmıştır. İnce $Al_2O_3:C$ dozimetreler Myların üzerine yerleştirilerek örnek üzerine sabitlenmiştir (Şekil 3.13). Hazırlanan bu örnekler, doğal radyasyondan gelecek katkıyı önlemek için, kalın kurşun zırh içerisinde yaklaşık 8 sekiz hafta bekletilmiştir (Göksu et al. 1999; Brown et al 1993). Bu süre sonunda dozimetreler kurşun zırh içerisinden çıkarılarak Harshaw TLD 3500 sistemi ile parıldama eğrileri kaydedilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Yıllık doza beta radyasyonu katkısının belirlenmesi için kullanılan ince $Al_2O_3:C$ TL dozimetrelerine ait örnek parıldama eğrileri.

Her bir dozimetre 5 sn (~ 26 mGy) $^{90}Sr/^{90}Y$ beta kaynağına maruz bırakılarak parıldama eğrileri kaydedilmiştir. Bu eğrilerin 125–250 °C

arasında integrasyonları alınmış ve aralarındaki orantıdan yararlanarak örneğin yıllık beta radyasyon dozu belirlenmiştir.

3.7 Örneklerin Nem İçeriklerinin Belirlenmesi

Daha önce bahsedildiği gibi suyun absorpsiyonundan dolayı nemli ortamda bulunan örneğe ait yıllık doz hızı kuru ortamda bulunan bir örneğe göre daha düşük olacaktır. Bu da yaş hesaplamalarında yanlışlıklara yol açar (Zimmermann, 1971; Aitken ve Xie, 1990; Aitken, 1985; Vandenberghe, 2003; Ege, 2009).

Doğrudan metot ile yapılan yıllık doz ölçümlerinde beta radyasyonu katkısı hesaplanırken kuru örnek kullanılır bu nedenle de öncelikle örneğin nem içeriğinin belirlenerek düzeltme yapılması gerekir. Bunun için ilk olarak arkeolojik örnek bulunduğu ortamdan alınır alınmaz yaş ağırlığı (W_y) belirlenir. Daha sonra aynı örnek etüvde 40 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar tamamen kurutulur ve ağırlığı belirlenir (W_k). Son olarak da kurutulan örneğin alabileceği kadar su alarak doyumluğa ulaşması sağlanır. Doygunluğa ulaşan örneğin ağırlığı (W_d) ölçülür. Çalışmada bunların belirlenmesinin ardından W ve F faktörleri Denklem 2.12 ve 2.13 kullanılarak belirlenir. Elde edilen bu faktörler yardımıyla düzeltilmiş beta radyasyonu doz hızı Denklem 2.15 kullanılarak bulunur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde beta kaynağının kalibrasyon sonucunda ince ve kalın $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetrelere ve kaba tanecik kuvars malzemesine verdiği eşdeğer doz hızı değerleri, doğrudan metot ile elde edilen yıllık doz hızı değerleri ve SAR tekniğine göre örneklerin eşdeğer dozları ve bu verilerden yararlanarak arkeolojik örneğin yaş sonuçları verilmiştir.

4.1 Beta Kaynağının Kalibrasyon Sonuçları

Laboratuvar ışınlamalarında kullanılan $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) radyoaktif atık deposundan temin edilmiştir. Bu nedenle çalışmada kullanılacak her bir malzeme için verdiği eşdeğer dozun belirlenmesi yani o malzemeye göre kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Bölüm 3.3’de açıklandığı gibi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, SSDL’de (Sekonder Standart Dozimetri Laboratuvarı) Cs-137 kaynağı ile ışınlanan ince ve kalın $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetrelere (10 mGy) ve kaba tanecik kuvars minerallerinin (250 mGy) parıldama eğrileri kaydedilmiştir.

Çizelge 4.1 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β kaynağının, ÇNAEM Sekonder Standart Dozimetre Laboratuvarı’na göre, çalışmada kullanılan malzemelere verdiği eşdeğer doz hızları.

Malzeme Adı	Eşdeğer Doz ($\text{mGy}\cdot\text{s}^{-1}$)
İnce $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$	5,16±0,31
Kalın $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$	3,16±0,35
Kuvars	5,30±0,60

Daha sonra laboratuvar ışınlamalarında kullanılan $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ kaynağı ile belirli sürelerde ışınlamalar yapılmıştır. Her iki parıldama eğrisindeki pik alanları arasındaki orandan yararlanarak kaynağın çalışmada kullanılan malzemelere verdiği eşdeğer doz hızları bulunmuştur (Çizelge 4.1).

4.2 Nem Analizi

Nem düzeltilmesi ölçümlerinde önce örneklerin alandan alındıktan sonraki yaş ağırlıkları, ardından kurutulduktan sonraki ve son olarak da suya doyurulduktan sonraki ağırlıkları ölçülmüştür. Elde edilen bu değerler ve hesaplanan W (gözeneklilik) ve F (doygunluk kesri) faktörleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Yeşilova Höyüğü arkeolojik alanına ait örneklerin yaş, kuru, suya doymuş ağırlıkları ve bu değerlerden yararlanarak hesaplanan W ve F faktörleri.

Örnekleme Alanı	Yaş Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Doymuş Ağırlık (gr)	W	F
Yeşilova Höyüğü	5,48	4,78	6,45	0,35	0,42

4.3 Yıllık Doz Ölçüm Sonuçları

Doğrudan ölçüm metoduna göre hazırlanan kalın $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dozimetreler höyükte örneklerin alındığı seviyelere yerleştirilmiştir. Burada 14 ay bekletildikten sonra laboratuvarında TLD okuyucu ile

parıldama eğrileri alınmıştır. Doğal ve laboratuarda ~31 mGy dozla ışınlanmış bu dozimetrelerin parıldama eğrilerinin 125-250 °C sıcaklık aralığındaki integrasyon değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu değerlerden örnekleme alanına ait yıllık doza gama ve kozmik radyasyon dozu ($D_{\gamma} + D_k$) katkısı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 Örneklerin doğrudan ölçüm metoduna göre yıllık $D_{\gamma} + D_k$ doz hızı değerleri.

Bölge Adı	$D_{\gamma} + D_k$ (mGy.y ⁻¹)
Yeşilova	1,67±0,06

Gama ve kozmik radyasyon katkısı hesaplanırken dozimetreler örnekleme alanında doğal şartlarda bırakıldığı için herhangi bir nem düzeltmesi yapılmasına gerek yoktur (Çizelge 4.3).

Yıllık doza beta katkısının belirlenebilmesi için ince $Al_2O_3:C$ dozimetreler kurutulmuş örneklerin üzerine yerleştirilerek 8 hafta kurşun zırh içerisinde bekletilmiştir. Bu süre sonunda dozimetrelerin ışımaya sinyalleri kaydedilmiştir.

Daha sonra ^{90}Sr beta kaynağı ile kullanılan dozimetrelere ~26 mGy'lik doz verilerek ışımaya sinyalleri kaydedilmiştir. Her bir dozimetre için parıldama eğrilerinin 125-250 °C sıcaklık aralığındaki integrasyonlarından yararlanılarak yıllık doza beta radyasyonu katkısı hesaplanmıştır. Bu değerler kurutulmuş örneklerden hesaplandığı için W, F faktörleri ve Denklem 2.15 kullanılarak nem düzeltmesi yapılmıştır.

Kurutulmuş örneklerde nem düzeltmesi yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra elde edilen beta doz hızı değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Doğrudan ölçüm metoduna göre kurutulmuş örneklerde nem düzeltmesi yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra elde edilen yıllık D_{β} doz hızı değerleri.

Bölge Adı	D_{β} (mGy.y ⁻¹) (K)	D_{β} (mGy.y ⁻¹) (N)
Yeşilova	2,2±0,31	1,86±0,26

K:Kurutulmuş örneklerden, N:Nem düzeltmesi yapılarak

Yıllık dozun genel formülü Denklem 2.10’da verildiği gibi

$$\text{Yıllık Doz} = D_{\alpha} + D_{\beta} + D_{\gamma} + D_k$$

olarak ifade edilir (Aitken, 1985).

Tarihlemede kullanılacak olan tanecik boyutuna göre bu ifadede bazı değişiklikler yapılır. Bu çalışmada 140-250 μm arasındaki tanecikler kullanılarak Fleming tarafından geliştirilmiş olan kuvars kaba tanecik yöntemi (Quartz Inclusion Technique) uygulanmıştır (Fleming, 1970; Aitken 1985, 1990b). Örnek içerisinden kuvars mineralinin ayrıştırılması sırasında uygulanan kimyasallardan biri de hidroflorik asittir. Çalışmada HF kullanılması nedeniyle kuvars minerallerinin dış yüzeyi asit ile aşındırılmıştır. Bu nedenle kristale dışarıdan gelen alfa katkısının tamamı ve beta katkısının %10’u ihmal edilmektedir (Bell, 1979; Mejdahl, 1979; Aitken, 1985).

Yukarıdaki ifadeden yararlanarak hesaplanan yıllık doz hızı değeri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

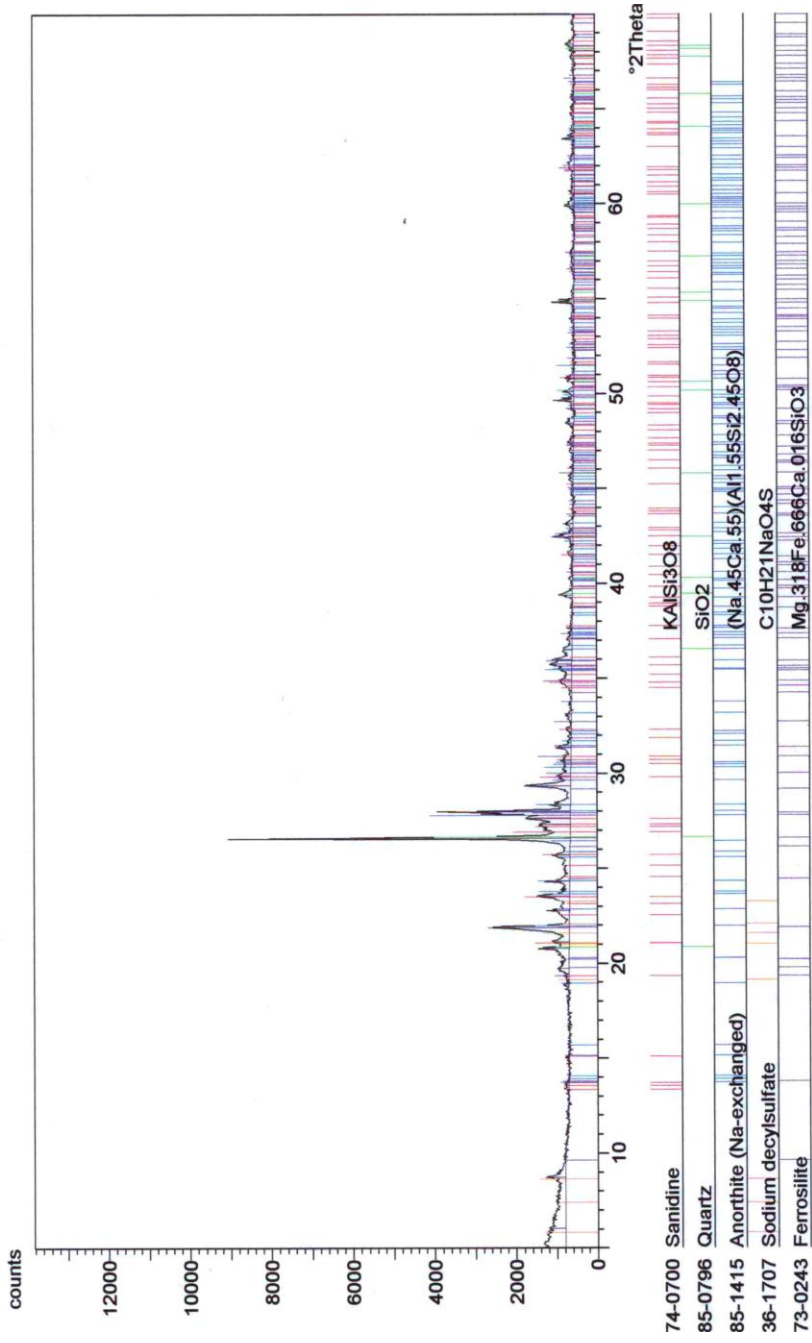
Çizelge 4.5 Yıllık doz hızı değeri

Bölge Adı	Yıllık Doz Hızı (mGy.y ⁻¹)
Yeşilova	3,34±0,47

4.4 Eşdeğer Doz Ölçüm Sonuçları

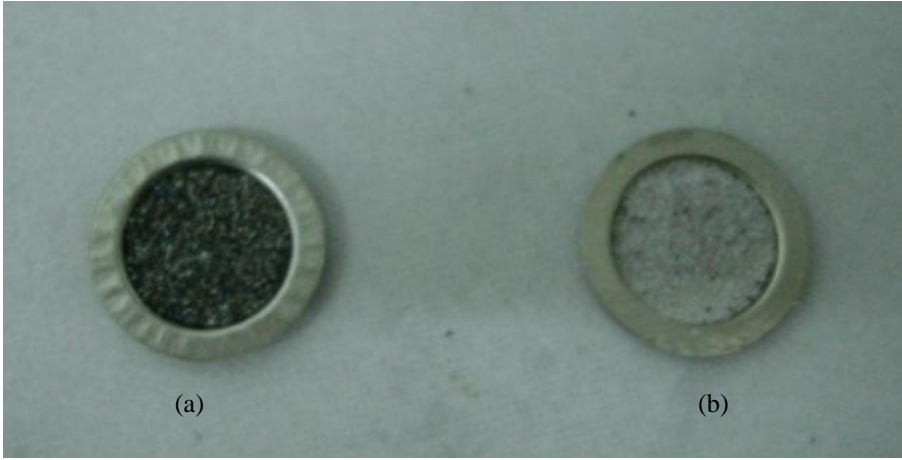
4.4.1 Örneklerin XRD ve SEM analizleri

Işıma metodu ile arkeolojik örneklerin tarihlendirilmesi çalışmalarında kullanılan örnekler bu metodun yaş sınırları içerisindedir. Arkeolojik verilere dayanarak çalışma alanı olarak seçilen Yeşilova Höyüğü’nün tarihinin 8500 yıl öncesine dayandığı öngörülmektedir. Öncelikle örneğin bir dozimetre gibi davranarak çevreden aldığı iyonlaştırıcı radyasyon dozunu üzerinde tutabilecek mineral içeriğine sahip olup olmadığı veya hangi minerale sahip olduğu belirlenmelidir. Bunun için örneklerin İzmir Yüksek Teknolojisi Malzeme Araştırma Merkezinde X-ışını Kırınım Analizi (XRD) yaptırılmıştır (Şekil 4.1). Elde edilen sonuçlara göre örneklerin kuvars minerali yönünden zengin olduğu görülmüştür. Bu nedenle çalışmada kuvars mineralinin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4.1 Yeşilova Höyüğünden alınan arkeolojik örneğe ait XRD analizi

Örnek içerisinde kuvars mineralini ayırmak için bir seri kimyasal prosedür uygulanmıştır (Bölüm 3.4). Uygulanan bu kimyasal işlemlerden sonra örnek içerisinde siyah partiküller olduğu ve bunların manyetik özellik gösterdiği gözlenmiştir. Bu partiküller mıknatıs kullanılarak temizlenmiştir (Şekil 4.2).



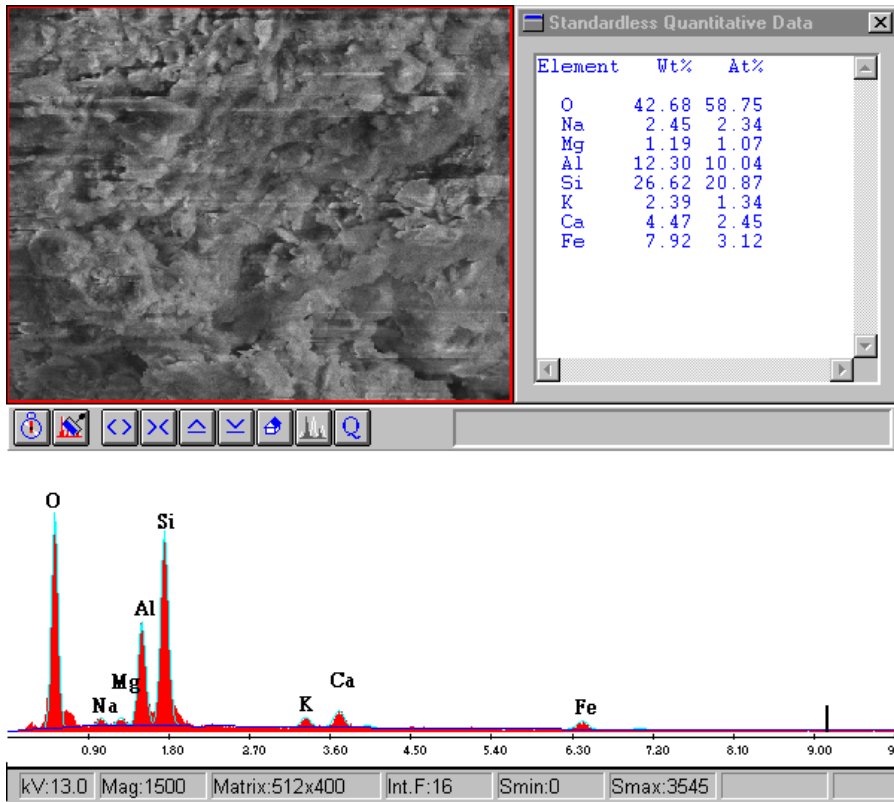
Şekil 4.2 (a) Hazırlanan örneğe mıknatıs ile ayırma işlemi uygulanmasından önce, (b) mıknatıs ile ayırma işleminden sonra

Bu temizleme işleminden sonra bile siyah partiküllerin tam olarak temizlenmediği görülmüştür. Bu safsızlıkların neler olduklarının anlaşılması ve uygulanan kimyasal işlemlerin etkisinin incelenebilmesi için kimyasal prosedürün uygulandığı ve uygulanmadığı iki örneğin İzmir Yüksek Teknolojisi Malzeme Araştırma Merkezinde EDX detektörlü SEM taramalı elektron mikroskobu ile içerik analizi yaptırılmıştır. Analiz sonucunda örnek içerisinde demir gibi metallerle rastlanmıştır (Şekil 4.3-4.4).

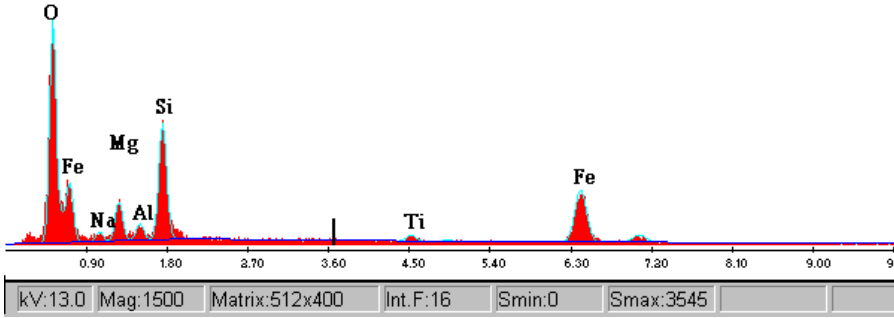
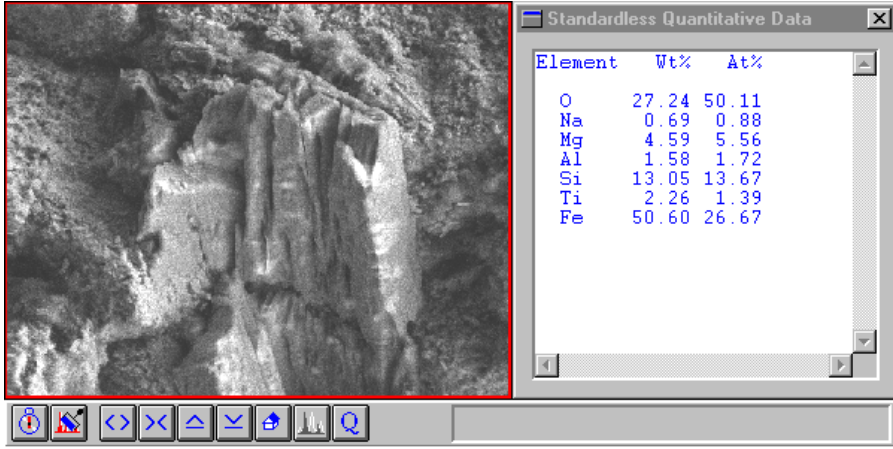
Eski dönemlere ait çanak çömlek parçaları genellikle o bölgeye ait içerisinde yüksek konsantrasyonda demir içeren kil gibi malzemelerden

yapılmaktadır. Malzeme içerisindeki demir bileşikleri (magnetit) toz haline getirilmiş bir örnekte genellikle siyah renkli parçacıklar şeklinde gözlenmektedir (Watanabe et al., 2008).

Demir dünyada özellikle sediment ve killerde bulunan bir elementtir. Bu nedenle keramiklerde az veya çok miktarda bulunması beklenen bir sonuçtur. Örnekte demirin varlığı yayımlanan ışık miktarını azaltmakla birlikte TL veya OSL yöntemi ile tarihle çalışmalarını engellemektedir. Fakat yine de örneğin saf olması tercih edilir (Watanabe et al., 2008).



Şekil 4.3 Kimyasal işlem uygulanmamış arkeolojik örneğin EDX detektörlü SEM taramalı elektron mikroskobu ile yapılan element analizi.



Şekil 4.4 Kimyasal işlem uygulanan arkeolojik örneğin EDX detektörlü SEM taramalı elektron mikroskobu ile yapılan element analizi.

Yukarıda verilen EDX sonuçlarına göre kimyasal işlemler sonucunda örnek içerisindeki çoğu elementin (ışınmayı etkileyen) yüzde ağırlığının azaldığı gözlenirken demir elementinin yüzde ağırlığı artmıştır. Buradan uygulanan kimyasal işlemlerin demir oksit bileşiğine bir etkisinin olmadığı sonucu çıkarılabilir.

Daha sonra örnekler, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği öğretim üyesi Prof. Dr. Osman CANDAN ile birlikte alttan aydınlatmalı Polarize mikroskop ile incelenmiştir. Bu inceleme sırasında

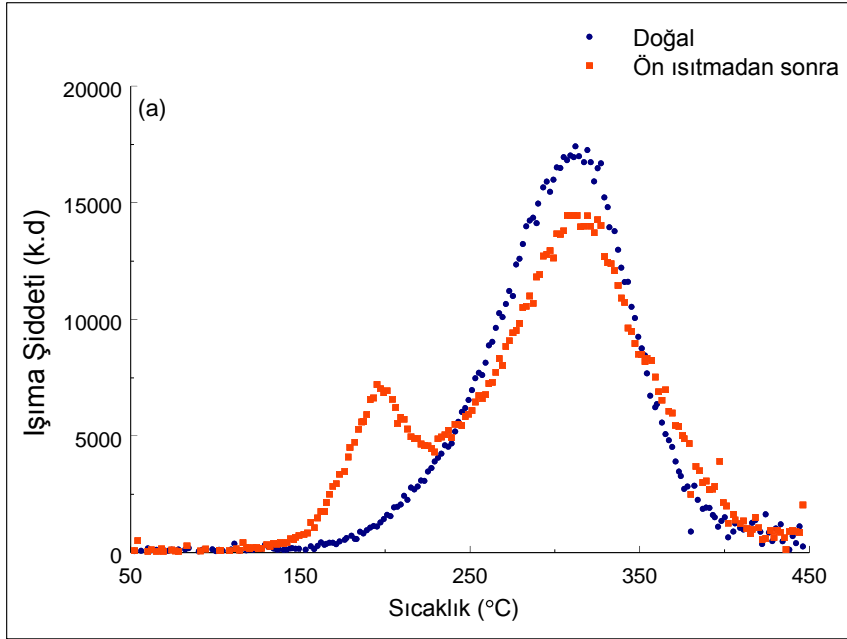
birçok kuvars kristalinin içerisinde çok ince yüzeyler halinde safsızlıklar (demir bileşikleri) olduğu gözlenmiştir. Prof. Dr. Osman CANDAN ile yapılan görüşme sonrasında bu safsızlıkların bir kısmının kendi başına birer kristal olduğu, bir kısmının da kuvarsın oluşumu sırasında meydana geldiği ve malzemenin dışında bir kaplama şeklinde değil iç kısmında olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak uygulanan kimyasal ayırıştırma işleminin saf kuvars mineralleri elde edilmesinde yeterli olmadığına karar verilmiştir. İçinde ince yüzeyler halinde safsızlıklar içeren kuvars minerallerinin yoğunluğu saf kuvars minerallerinden farklı olacaktır. Bu nedenle yoğunluk farkından yararlanarak saf kuvars kristallerinin ayırıştırılmasına karar verilmiştir. Kuvarsın yoğunluğu $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$ 'tür. İçerisindeki safsızlıklarla birlikte kuvarsın yoğunluğu bu değerden daha yüksek olacaktır. Yoğunluk farkından yararlanarak ayırıştırma işlemi için bromoform veya sodyum politungustat kullanılır. Bromoformun insan ve çevre sağlığı açısından tehlikeli olması nedeniyle bu çalışmada $2,82 \text{ g.cm}^{-3}$ 'lük yoğunluğa sahip olan sodyum politungustat ($3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) çözeltisi tercih edilmiştir. Bu sıvı içerisine atılan örnek bir süre bekletildikten sonra içerisinde safsızlık bulunan kuvars mineralleri dibeye çökmektedir. Saf kuvars mineralleri ise sıvı yüzeyinde toplanmıştır. Ağır sıvının kullanılmasıyla örnek içerisinden saf kuvars minerali ayırıştırılmıştır.

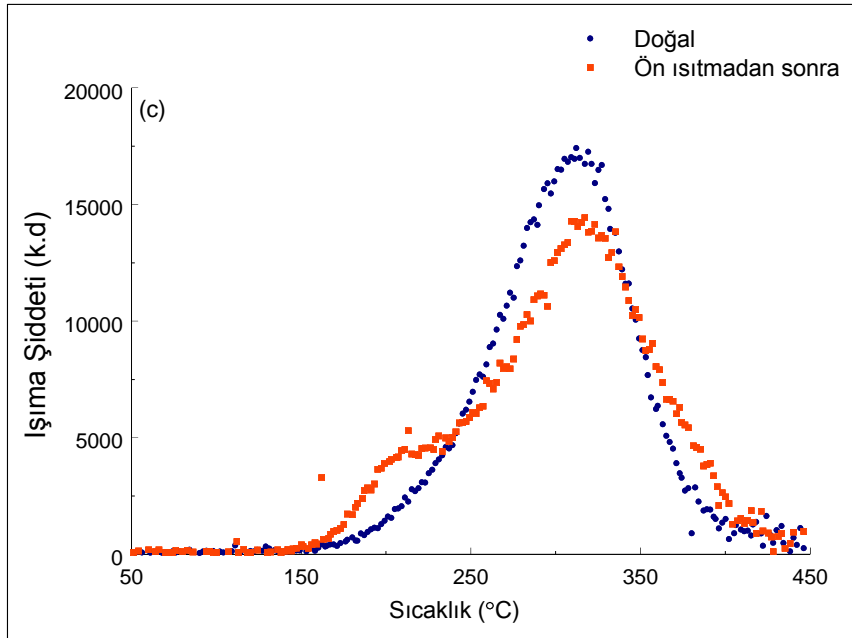
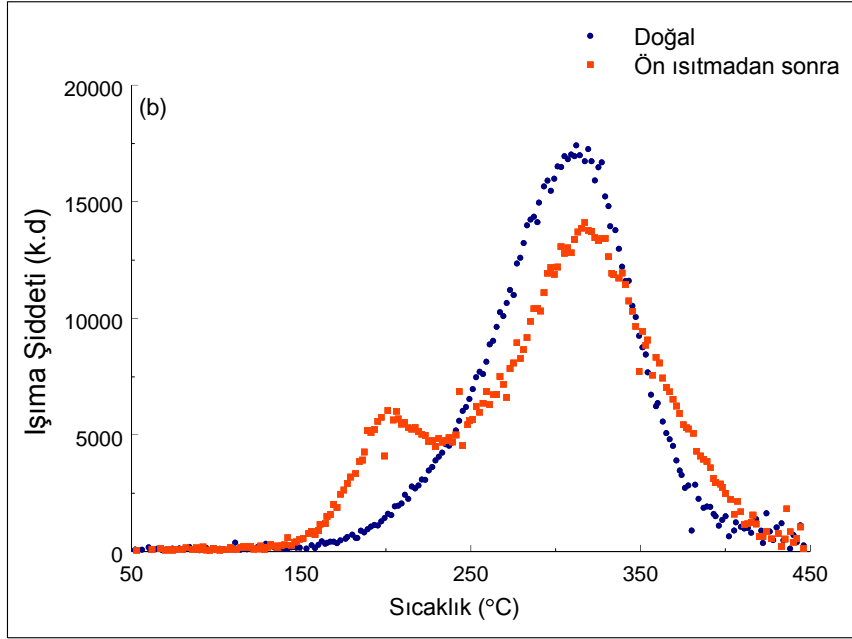
4.4.2 Ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesi

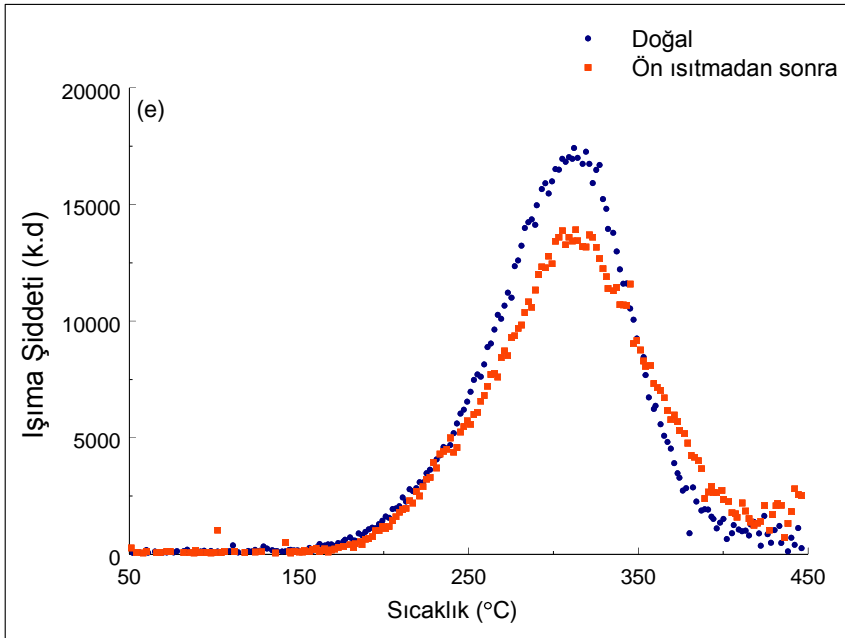
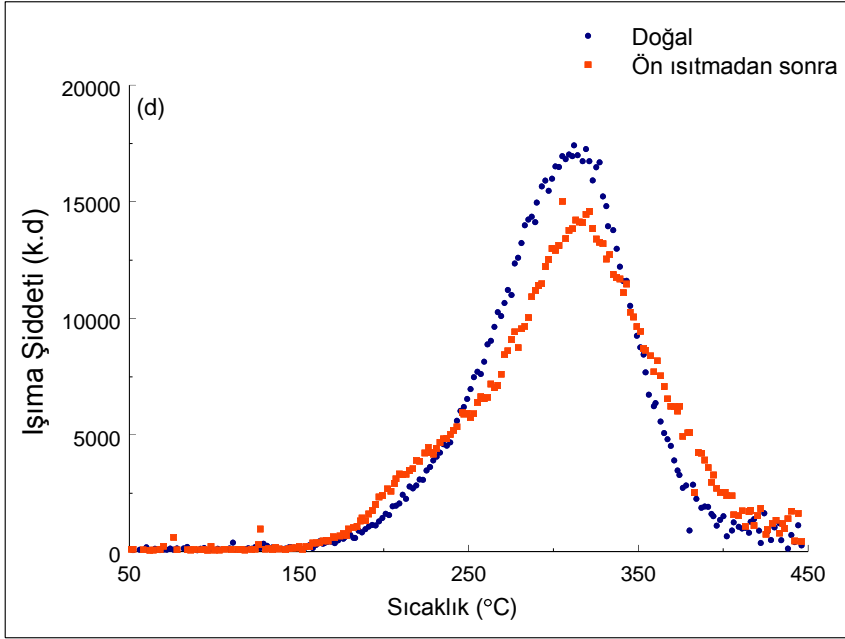
Kimyasal işlem ve ağır sıvı ayrımı uygulanarak elde edilen saf kuvars örneklerinin tarihlendirilmesi için ısıtma ölçümlerine başlamadan önce bu ölçümlerde kullanılacak ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesi gerekir. Ön ısıtma sıcaklığının belirlenebilmesi için kaba tanecik boyutunda hazırlanan örnekler ($140\text{-}250 \mu\text{m}$) birkaç mg olacak şekilde çelik diskler üzerine yerleştirilmiştir. İlk olarak ön ısıtma yapılmaksızın

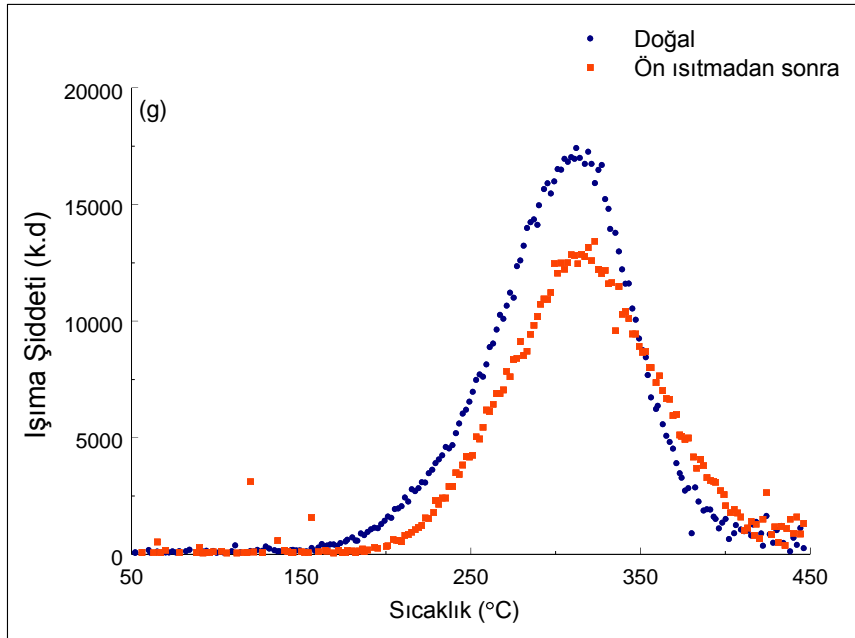
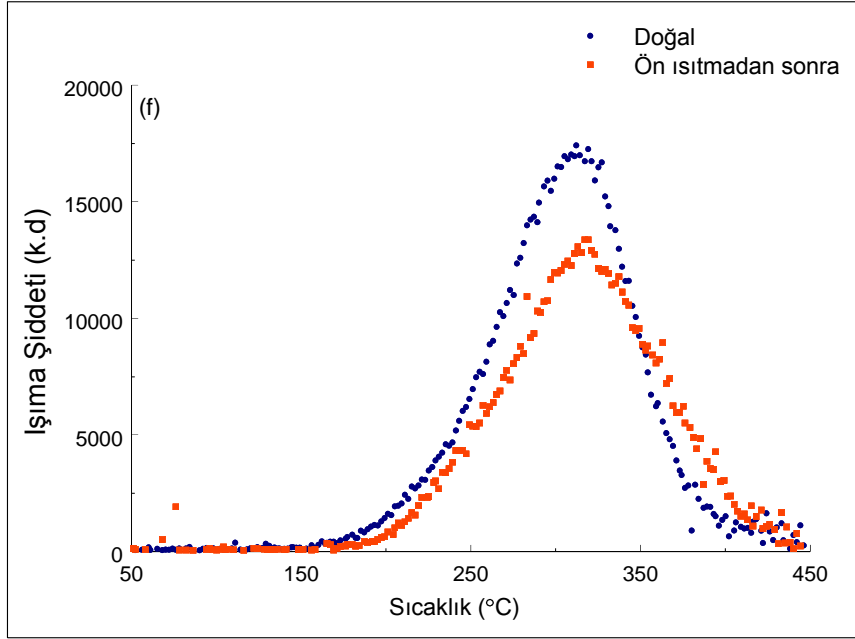
örneklerin doğal ışımaya sinyalleri ölçülmüştür. Örnekler laboratuvarında $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β -kaynağı ile ışılandıktan sonra 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240 ve 250 °C'lik (Şekil 4.5 a,b,c,d,e,f,g,h) ön ısıtmalar kullanılarak parıldama eğrileri alınmıştır. Işıma ölçümleri için en uygun ön ısıtma sıcaklığı doğal parıldama eğrisine en iyi uyum gösteren sıcaklıktır (Göksu and Schwenk, 2000; Göksu et al.,2001). Uygulanan sıcaklığa bağlı olarak örnek duyarlılığını değiştirebilmektedir. Murray ve Roberts (1998) 200-300 °C lik bir ön ısıtma işleminin duyarlık değişimine neden olmadığını belirtmişlerdir (Ege, 2009).

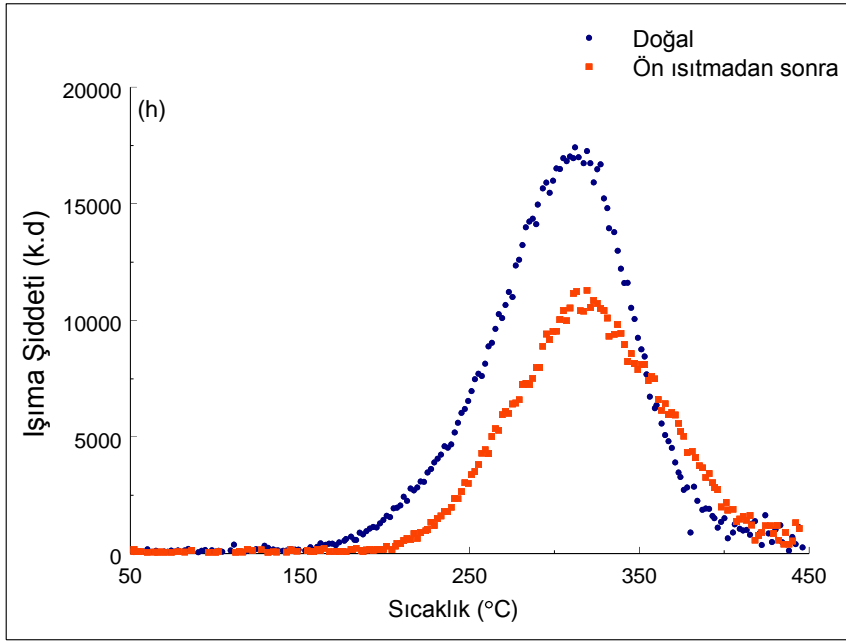
Örneklere uygulanan ön ısıtma işlemlerinden sonra doğal sinyale en iyi uyum sağlayan ön ısıtma sıcaklığı olarak 220 °C olarak belirlenmiştir. Eşdeğer dozun belirlenmesi için yapılacak olan tüm ışımaya ölçümlerinde bu ön ısıtma sıcaklığı uygulanmıştır.







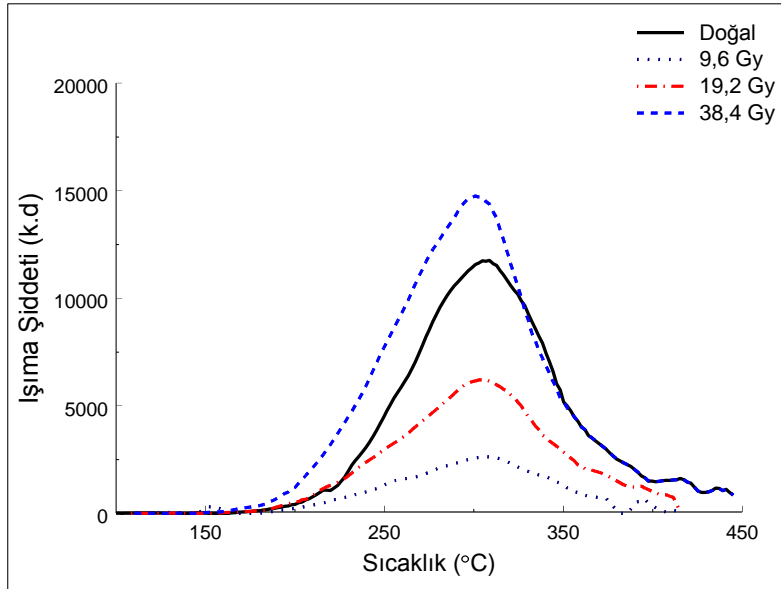
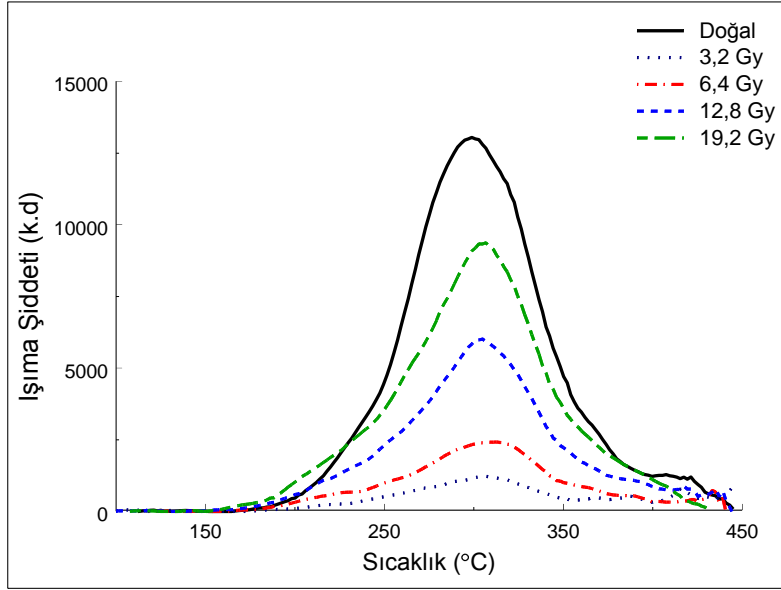




Şekil 4.5 Arkeolojik örneklere ait doğal ve (a) 180 (b) 190 (c) 200 (d) 210 (e) 220 (f) 230 (g) 240 ve (h) 250 °C'lik ön ısıtmalar sonrasında alınan TL ışıma eğrileri.

4.4.3 SAR tekniğine göre belirlenen eşdeğer doz değerleri

Eşdeğer dozun belirlenmesi için 4 adet çelik diske örnek matrisinden saflaştırılan birkaç mg kuvars minerali hazırlanmıştır. Her bir örneğin doğal sinyali alındıktan sonra laboratuardaki kalibre edilen $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β kaynağı ile farklı sürelerde dozlar verilerek her bir ışınlama sonrasında parıldama eğrileri ve bunu takiben art ortam ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerden yararlanarak net parıldama eğrileri elde edilmiştir (Şekil 4.6).

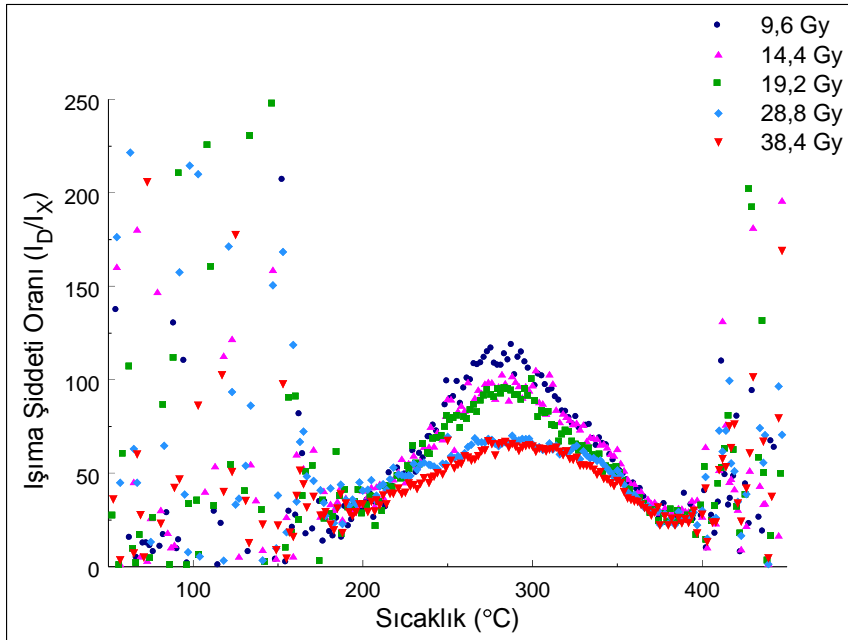


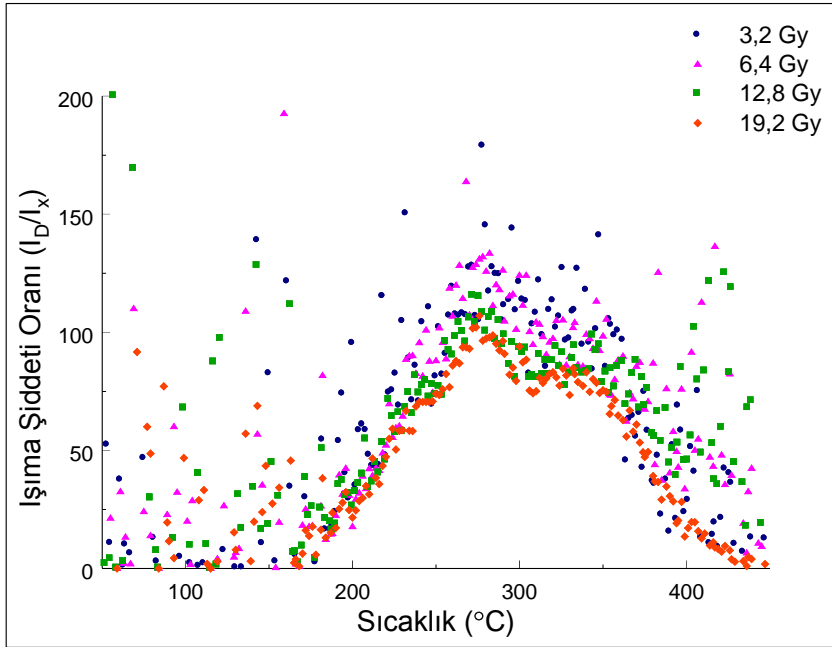
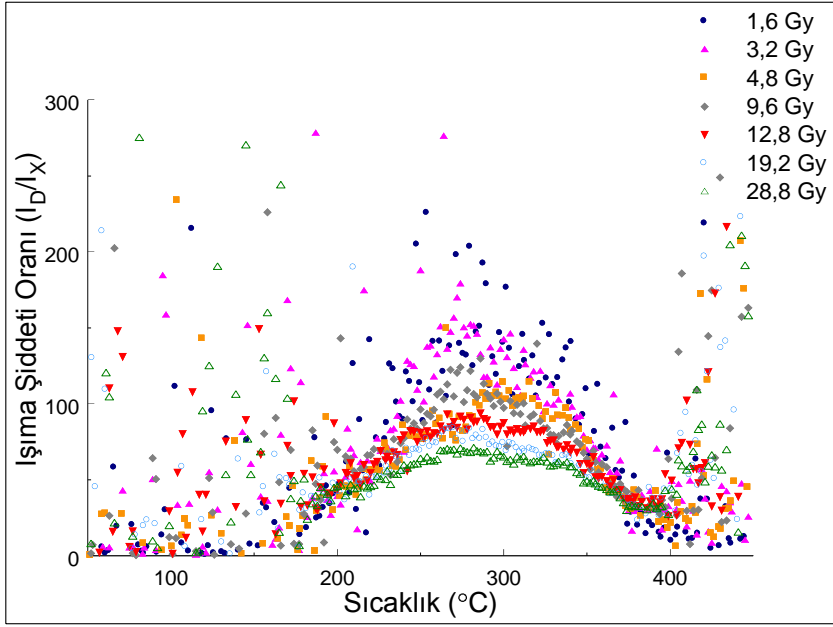
Şekil 4.6 Doğal ve $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ kaynağı ile farklı dozlarda ışınlamaların ardından alınan arkeolojik alan kuvars örneğine ait TL parıldama eğrileri.

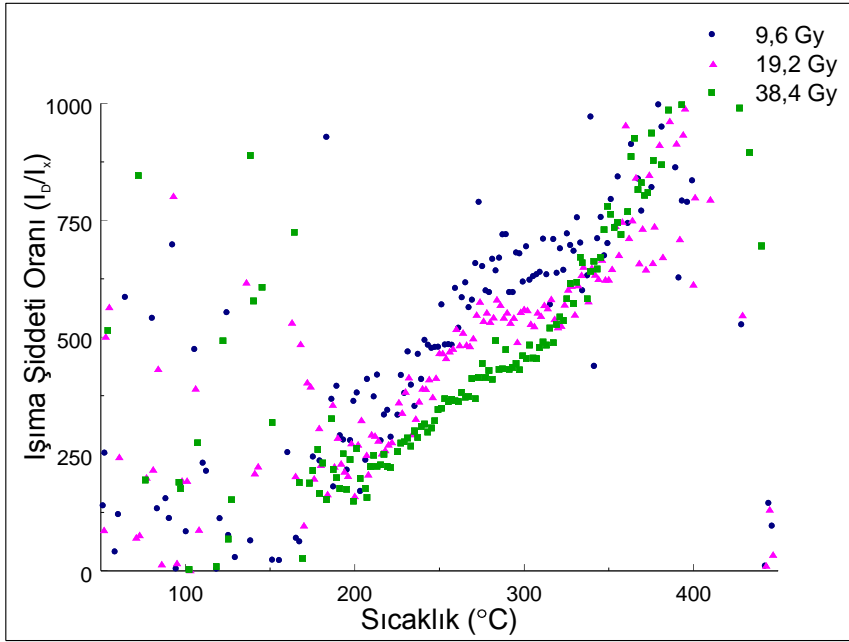
Yapılan ölçümlerden elde edilen net parıldama sinyallerinin doğal sinyale oranından yararlanarak literatürde belirtildiği gibi her bir doz değeri için plato testi yapılmıştır (Şekil 4.7).

Plato testinde doğal ışımaya sinyallerinin (I_D), laboratuvar ışınlamaları ile elde edilen ışımaya sinyaline (I_X) oranından yararlanır. Elde edilen oranın sıcaklığa göre çizilen grafiği incelenir. Bu grafiklerde düz olarak gözlenen yani oranın sabit kaldığı bölgelere plato adı verilir. Bu plato bölgelerinin yaşam ömürlerinin örneğin yaşıyla kıyaslanabilecek kadar uzun olduğu ifade edilir ve tarihlleme için integrasyon alanları bu plato bölgesinde kalan aralıktan belirlenir (Aitken 1985,1990b).

Plato testi sonuçlarına göre Yeşilova Höyüğü arkeolojik örnekleri için uygun integrasyon aralığı olarak 275-300 °C seçilmiştir.



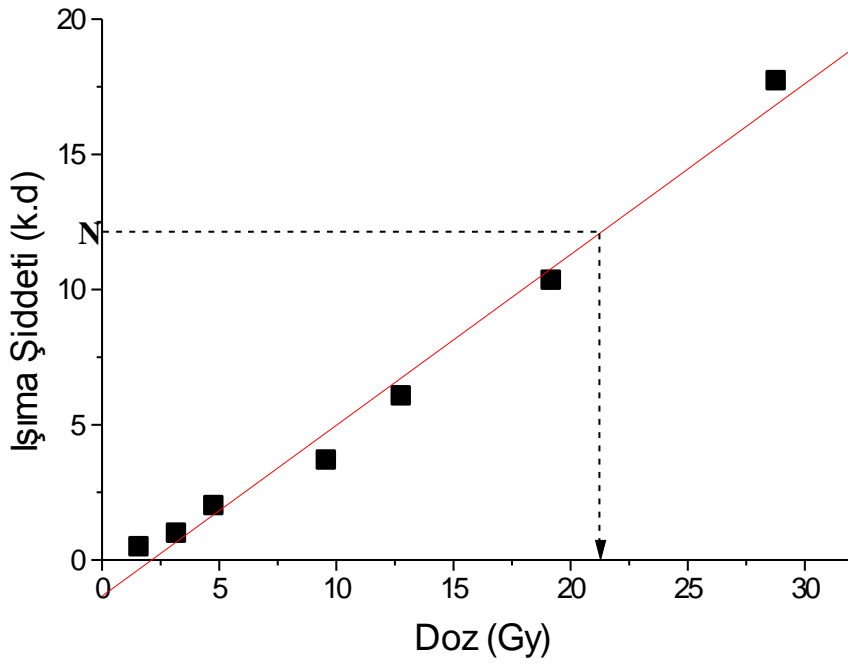
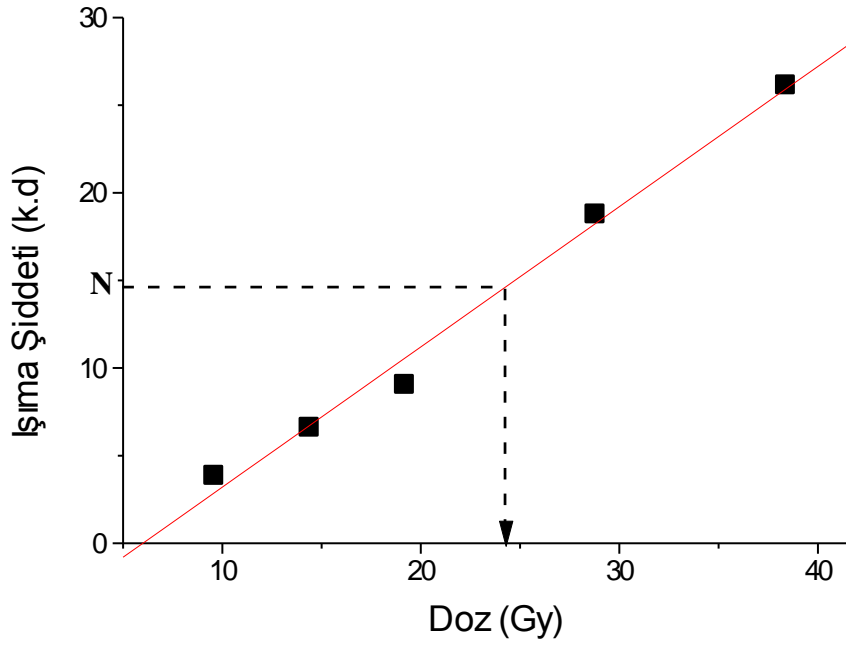


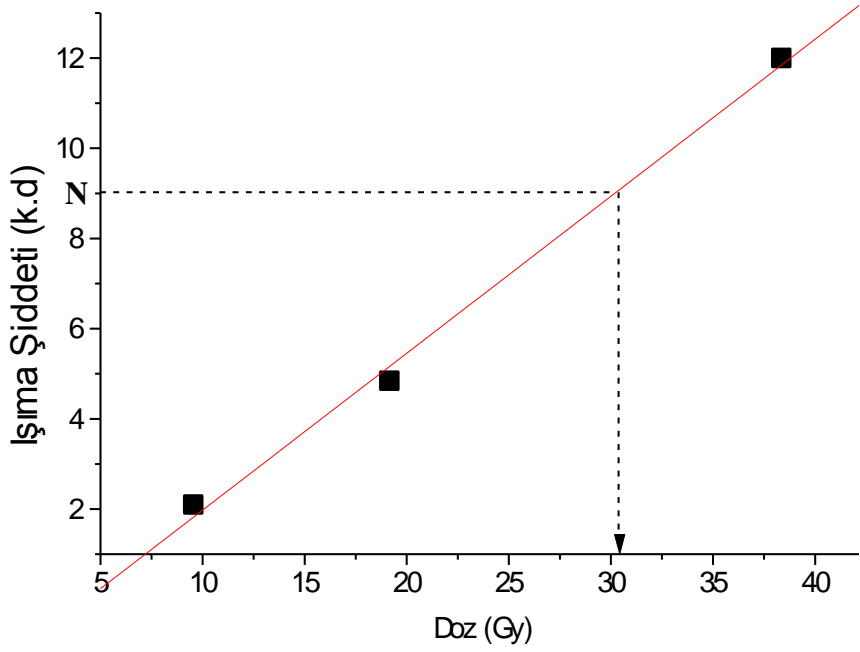
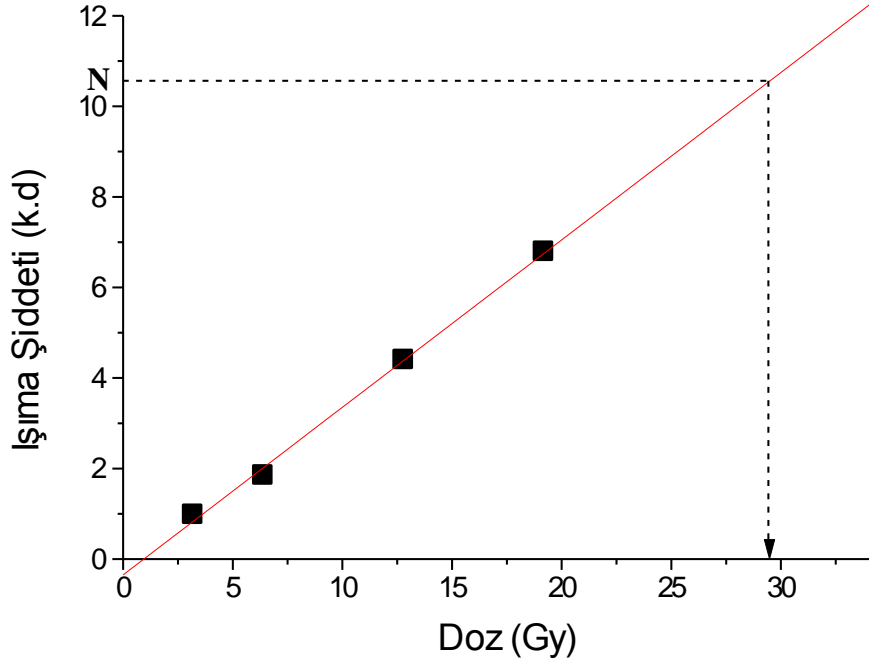


Şekil 4.7 Yeşilova Höyüğü arkeolojik alan örneklerine ait TL plato testi sonuçları (I_D : doğal sinyal şiddeti, I_x : x dozuna bağlı şiddet).

Plato testi ile uygun sıcaklık aralığının bulunmasından sonra eşdeğer dozun belirlenmesi için büyütme eğrileri çizilir. Bunun için, her bir örneğin doğal ve yapay ışınlamalarla elde edilen parıldama eğrilerinin belirlenen sıcaklık aralığındaki integrasyonları alınır. Her laboratuvar dozlamasına karşılık gelen integrasyon değerlerine göre bir grafik çizilir. Çizilen bu eğrilere büyütme eğrileri adı verilir (Şekil 4.8).

Büyütme eğrilerinin çizilmesiyle elde edilen doğru denklemi göz önüne alınarak, doğal sinyalin x ekseninde kestiği nokta eşdeğer dozu verecektir. Bu verilere göre Yeşilova Höyüğü III. Kat 7. Katmana ait arkeolojik örneklerin eşdeğer dozu yaklaşık 26 ± 4 Gy olarak hesaplanmıştır.





Şekil 4.8 SAR tekniğine göre çizilen TL büyütme eğrileri.

Çalışmada kullanılan Yeşilova Höyüğü arkeolojik örneklerinin (III. Kat 7. Katman) eşdeğer ve yıllık dozu ve Denklem 2.9 kullanılarak elde edilen yaş değeri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Yeşilova Höyüğü arkeolojik örneklerine ait hesaplanan eşdeğer doz, yıllık doz hızı ve yaş değeri.

Örnek Adı	Eşdeğer Doz (mGy)	Yıllık Doz Hızı (mGy.y ⁻¹)	Yaş (y)
Yeşilova	25.883±4.412	3,34±0,47	7.749±1.713

Elde edilen sonuçlara göre incelenen keramik örneklerinin pişirilme yani yapım tarihinden bugüne yaklaşık 8000 yıllık bir süre geçtiğini ifade etmektedir. Elde edilen bu yaş değeri örneklerin, arkeolojik bulguların da işaret ettiği gibi, neolitik döneme ait olduklarını göstermektedir.

Romanya'da, keramikler üzerinde TL, OSL ve IRSL ışıma teknikleri kullanılarak yapılan bir tarihleme çalışmasında örneklerin yaşlarının 6300-7700 y aralığında olduğu bulunmuştur. Elde edilen bu yaşlar proje çalışmasında kullanılan örnekler ile aynı döneme (Neolitik dönem) aittir. Bu çalışma ışıma tekniklerinin neolitik döneme ait örnekler üzerinde başarı ile uygulanabileceğini göstermektedir (Benea et al., 2007).

Almanya'da Ichenhausen sinagogunda bulunan banyonun yaşı TL yöntemi kullanılarak Veronese ve arkadaşları (2008) tarafından proje çalışmasında olduğu kaba tanecik kuvars minerali kullanılarak belirlenmiştir. Banyonun duvarından alınan örneklerden banyonun yapım tarihi 1797±11-1772±16 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar

banyonun 1687 yılından beri bilinen eski sinagogun değil 1781 yılında inşa edilen yeni sinagoga ait olduğunu göstermiştir.

Türkiye’de Öke ve Yurdatapan tarafından Datça-Burgaz yöresindeki arkeolojik kazı alanından elde edilen çanak çömlek parçaları üzerinde ışınma tarihleme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada ince tanecik polimineral malzemeler kullanılmıştır. Eşdeğer doz, ek doz metodu kullanılarak 9.215 ± 0.623 Gy olarak saptanmış ve örneklerin yaşları 2340 ± 190 yıl olarak hesaplanmıştır (Öke ve Yurdatapan, 2000).

Son yıllarda dünyada ışınma metodu kullanılarak arkeolojik örneklerin tarihlendirilmesi konusundaki çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu konu üzerinde çalışan laboratuvarlar daha çok sediment tarihleme çalışmaları üzerine yönelmişlerdir.

Bu çalışma yörenin tarihine ışık tutması açısından çalışma ayrı bir öneme sahiptir. Daha önceden 5000 yıl olarak bilinen İzmir tarihinin daha eskiye dayandığı görüşü bu tez çalışması sonucunda bilimsel olarak da gösterilmiştir. Elde edilen veriler arkeolojik bulgularla uyum içerisindedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada İzmir Yeşilova Höyüğü arkeolojik örnekleri ışıma yöntemi kullanılarak tarihlendirilmiştir.

Çalışma alanının yıllık doz hızları doğrudan metot ile TLD'ler kullanılarak belirlenmiştir. Işıma ölçümleri için kaba tanecik (140-250 μm) kuvars tekniği (*quartz inclusion technique*) kullanılmıştır. Bu tekniğe göre yıllık doz hesaplamalarında sadece gama radyasyonu (D_γ), beta radyasyonunun bir kısmı (D_β) ve kozmik ışınların (D_k) katkısı dikkate alınırken alfaların katkısı ihmal edilmiştir. Doğrudan metot ile yıllık doz ölçümlerinde düşük doza karşı hassasiyetleri bilinen ince ve kalın $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$: C TL dozimetreler kullanılmıştır. Doğrudan metot ile yıllık doz ölçümlerinde dozimetrelerin çalışma alanında mümkün olduğu kadar uzun sürelerde ve farklı mevsimleri de içerecek şekilde bırakılması ölçümlerdeki hassasiyeti arttırmaktadır. Yıllık doza kozmik radyasyon katkısı teorik olarak da belirlenebilir. Bununla birlikte bu katkının da TLD'ler yardımıyla örnekleme alanında belirlenmesi teorik olarak belirlenen kozmik radyasyon katkısındaki hatalardan kaçınılmasını sağlamaktadır. Alana ait yıllık doz hızı değeri $3,34 \pm 0,47 \text{ mGy.y}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Eşdeğer doz ölçümlerinde az miktarda örnek gerektirmesi nedeniyle tekli örnek yenileme metodu (SAR) kullanılmıştır. Bu metotta tek örnek kullanılması yeterli olmasına rağmen, çalışmada istatistiksel hatanın azaltılması için ölçümler dört örnek üzerinde alınmıştır. Tüm ışıma ölçümlerinden önce kullanılacak olan önısıtma sıcaklığı $220 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Çizilen plato grafiklerinden ışıma sinyallerinin 275-

300 °C sıcaklık aralığındaki integrasyonlarından yararlanılmıştır. Elde edilen verilere göre eşdeğer doz 25.883 ± 4.412 mGy olarak bulunmuştur.

Örnekleme alanına ait yıllık doz hızı ve eşdeğer doz değerleri belirlenerek, keramik örneklerinin son ısıya maruz kaldığı tarih belirlenmiştir. Buna göre III. kat 7. Katmandan alınan örneklerin yaşı 7.749 ± 1.713 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre bulunan yaş değerindeki hata oranı yaklaşık %22'dir. Bu oranın yüksek olmasının sebeplerinden biri eşdeğer doz ve yıllık doz ölçümleri sırasında laboratorda ^{90}Sr beta kaynağı ile yapılan tüm ışınlamaların el ile süre tutularak yapılmasıdır. Bu işlemin otomatik ışınlayıcı ile gerçekleştirilmesi hata oranını oldukça düşüreceği düşünülmektedir. Işınlama ve ışınma sinyalinin ölçülmesi arasında örnek disk kaynağı ve TLD okuyucu sistem arasında taşınmaktadır. Bu durum disk üzerinde örnek kaybına neden olabilmektedir. 100 tanecikten sadece 4-6'sının ışınma verdiği düşünüldüğünde örneğin tek bir taneciğinin bile düşmesi hesaplanan yaşı etkileyecektir.

Çalışmada kullanılan TLD okuyucu tek bir örnek için tasarlanmıştır ve ışınma ölçümlerinde örnek disk örnek tablasındaki 150 mm çapındaki bir alan içerisine yerleştirilir. Her ne kadar disk aynı noktaya konulmak istense de ölçüm geometrisinde değişikliklerin olması kaçınılmazdır. Bu nedenle tarihlendirme çalışmaları için kullanılacak sistemin tablası örnek disk büyüklüğünde olmalıdır.

Sonuç olarak tarihlendirme çalışmalarında laboratuvar ışınlamaları için otomatik ışınlama ünitesinin kullanılması bir zorunluluktur. Işınlama ünitesi üzerinde bulunan bir sistem ile, hem ışınlama süresi, hem de örnek diskinin taşınması sırasında karşılaşılan problemler ortadan

kaldırılabilir. Aynı zamanda, çoklu örnek ölçümü alabilen ve özellikle tarihleme çalışmaları için tasarlanmış bir sistem kullanılması ile ölçüm geometrisinden kaynaklanabilecek hata oranlarının azaltılmasına ve yaş tayininde daha doğru sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

İzmir Yeşilova Höyüğü keramik örneklerinin termal uyarımlı ışıma tekniği ile tarihlendirildiği bu çalışma, bu bölgede yapılan ilk tarihleme çalışmasıdır. İzmir tarihinde önemli bir yere sahip olan bu höyükte yapılan çalışmalar diğer katmanların da tarihlendirilmesi için benzer çalışmalara yol gösterici nitelikte olması nedeniyle önemli bir araştırmadır.

Geniş tarihi ve jeolojik zenginlikleri olan ülkemizde araştırılan ve birçok alanda elde edilen malzemeler çok yüksek miktarda ödemeler yapılarak tarihlendirilmeleri için yurtdışındaki laboraturolara gönderilmektedir. Bu durum sadece maddi değil zaman açısından da büyük kayıplara yol açmaktadır. Ülkemizdeki en büyük eksikliklerden biri uluslararası düzeyde kabul gören bir tarihleme laboratuvarının bulunmamasıdır. Gerekli altyapının oluşturulması ve ülkemizde doğrulukla uygulanabilmesi için başka üniversitelerde de çalışmaların başlaması mutluluk vericidir. Bu konunun hızla geliştirilmesi ve ülke kaynaklarımızın yurtdışına akmaması için biz akademisyenlere büyük görevler düşmektedir. Diğer üniversitelerle ortak çalışmaların yapılması daha hızlı ve kesin sonuçların alınmasına katkı sağlayacaktır. Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar ile Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde ışıma tarihleme tekniğinin uygulanmasına olanak sağlayacak bilgi birikiminin oluşmasına katkıda bulunularak bu konuda ilk adım atılmıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adamic, G., Stoneham, D. and Göksu, H.Y.**, 1997, Accident dose estimation using porcelain. A comparison between different thermoluminescence methods, *Radiation Measurements*, 27 (2), 389-392pp.
- Adamic, G. and Aitken, M.J.**, 1998, Dose-rate conversion factors: update, *Ancient TL*, 16: 37-50pp.
- Aitken, M.J., Tite, M.S. and Reid, J.**, 1964, Thermoluminescent dating of ancient ceramics, *Nature*, 202, 1032-1033pp.
- Aitken, M.J.**, 1968, Low-level environmental radiation measurements using natural calcium fluoride, Proc. of the 2nd Int. Conf. on Lumin. Dosim., Gatlinburg, edited by Auxier J.A., Becker K, Robinson E.M. (Eds), CONF-680920, U.S. National Bureau Standards, Washington D.C. 281-290 pp.
- Aitken, M.J.**, 1969, Thermoluminescent dosimetry of environmental radiation on archaeological sites, *Archaeometry*, 109-114pp.
- Aitken, M. J., and Bowman, S. G. E.**, 1975, Thermoluminescent dating: assessment of alpha particle contribution, *Archaeometry*, 17, 132-8.
- Aitken, M.J.**, 1985, Thermoluminescence Dating, Academic Press, London, 359pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Aitken, M.J.**, 1990a, TLD Methods in Archaeometry, geology and sediment studies, *Radiation Protection Dosimetry*, 34(1/4):55-60pp.
- Aitken, M.J.**, 1990b, Science-based dating in Archaeology, Longman Archaeology Series, UK.
- Aitken, M.J.**, 1998, an Introduction to optical dating: the dating of quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence, *Oxford University Press*, USA.
- Aitken, M.J.**, 1999, Archaeological dating using physical phenomena, *Rep. Prog. Phys.* 62:1333-1376pp.
- Aitken, M.J. and Xie, J.**, 1990, Moisture correction for annual dose, *Ancient TL*, 8 (2):6-9pp.
- Akselrod, M.S., Kortov, V.S., Kravetsky, D.J. and Gotlib, V.I.**, 1990, Highly sensitive thermoluminescent anion defect α -Al₂O₃:C single crystal detectors, *Radiation Protection Dosimetry*, 33:119-122pp.
- Akselrod, M.S., Kortov, V.S. and Gorelova, E.A.**, 1993, Preparation and properties of α -Al₂O₃:C, *Radiation Protection Dosimetry*, 47:159-164pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Antonov-Romanovskii, V.V., Keirum-Marcus, I.F., Poroshina, M.S., Trapeznikova, Z.Z.**, 1956, *Conference of the Academy of Sciences of the USSR on the Peaceful Uses of Atomic Energy*, Moskow, USAEC Report AEC-tr-2435 (Pt.1), 239pp.
- Bailiff, J.K.**, 1976, Some new techniques in thermoluminescence dating, M.Sc. thesis, Oxford University. UK.
- Bailiff, J.K. and Aitken, M.J.**, 1980, Use of thermoluminescence dosimetry for evaluation of internal beta dose-rate in archaeological dating, *Nuclear Instruments and Methods*, 173, 423-429pp.
- Barnett, S.M.**, 2000a, Luminescence dating pottery from later prehistoric Britain, *Archaeometry*, 42, 431-457pp.
- Bell, W. T.**, 1976, The assessment of the radiation dose-rate for thermoluminescence dating, *Archaeometry*, 18, 107-111.
- Bell, W. T.**, 1977, Thermoluminescence dating: revised dose-rate data, *Archaeometry*, 19, 99-100.
- Bell, W.T.**, 1979, Attenuation factors for the absorbed radiation dose in quartz inclusions for thermoluminescence dating, *Ancient TL*, 8:2-13pp.
- Bell W.T.**, 1980, Alpha dose attenuation in quartz grains for thermoluminescence dating, *Ancient TL*, 12: 4-8pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Benea, V., Vandenberghe, D., Timar, A., Van Den Haute, P., Cosma, C., Gligor, M., Florescu, C.,**2007, Luminescence dating of neolithic ceramics from Lumea Nouă, Romania, *Geochronometria*, 28, 9-16pp.
- Bøtter-Jensen, L., Mejdahl, V.,** 1985, Determination of potassium in feldspars by beta counting using a GM multiscaler system, *Nuclear Tracks*, 10, 663-666pp.
- Bøtter-Jensen, L., Mejdahl, V.,** 1988, The automated Riso TL dating reader system, *Nuclear Tracks Radiation Measurements*, 14, 177-180.
- Bøtter-Jensen, L.,** 2000, Development of optically stimulated luminescence Techniques using natural minerals and ceramics and their application to retrospective dosimetry, PhD. Thesis, Riso National Laboratory, Denmark.
- Bowman, S.G.E.,** 1976, Thermoluminescent Dating: The Evaluation of Radiation dosage, Ph.D. Thesis, University of Oxford, UK.
- Brown, C.K., Bolch, W.E. and Poston J.W.Sr,** 1993, Characterization of Al₂O₃:C thermoluminescent dosimeter response to beta radiation, *Health Physics*, (6 suppl.), S41.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Bölükdemir, M.H.**, 2007, Sodyum klorür ve potasyum klorür'ün optik uyarmalı lüminesans (OSL) kinetiği, *Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi*.
- Burbidge, C.I. and Duller, G.A.T.**, 2003, Combined gamma and beta dosimetry, using $Al_2O_3 :C$, for in situ measurements on a sequence of archaeological deposits, *Radiation Measurements*, 37: 285-291.
- Chowdhury, P., Hildebrandt, U. and Ney, J.**, 1982, High resolution Ge-Li gamma spectroscopy and ceramic phase analysis in TL dating of a medieval castle, *PACT J*, 6, 116-131.
- Daniels, F., Boyd, C.A., and Saunders, D.F.**, 1953, Thermoluminescence as a research tool, *Science*, 117, 343-349.
- Dean, J.S.**, 1978, Independent dating in archaeological analysis, *Adv. Archaeol. Method Theory*, 1, 223-55pp.
- Debenham, N.C. and Aitken, M.J.**, 1984, Thermoluminescence dating of stalagmitic calcite, *Archaeometry*, 26, 155-170pp
- Duller G.A.T.**, 1994a, Luminescence dating of sediments using single aliquots: new procedures, *Quaternary Geochronology (Quaternary Science Reviews)* 13, 149-156pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Duller G.A.T.**, 1994b, Luminescence dating of poorly bleached sediments from Scotland, *Quaternary Geochronology (Quaternary Science Reviews)*, 13, 521-524pp.
- Duller G. A. T.**, 2004, Luminescence dating of Quaternary sediments: recent advances, *Journal of Quaternary Science*, 19(2), 183-192pp.
- Ege, A.**, 2009, Işıma teknikleri kullanılarak jeolojik örneklerin tarihlendirilmesi, *Ege Üniversitesi, Doktora Tezi*.
- El-Faramawy, N. A., Göksu, H.Y. and Panzer, W.**, 2004, Thermoluminescence dosimetric properties of a new thin beta detector (LiF:Mg, Cu, P; GR-200F) in comparison with highly sensitive Al₂O₃:C beta dosimeters, *Journal of Radiological Protection*, 24: 273–282pp.
- Fattahi, M. and Stokes, S.**, 2005, Dating unheated quartz using a single aliquot regeneration dose red thermoluminescence protocol (SAR RTL), *Journal of Luminescence*, 115:19-31pp.
- Feathers, J.K.**, 2000a, Luminescence dating and why it deserves wider application It's About Time: A History of Archaeological Dating in North America, ed S Nash (Salt Lake City, UT: The University of Utah Press) 152–66 pp

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Feathers, J.K.**, 2003, Use of luminescence dating in archaeology, *Measurement Science and Technology*, 14, 1493-1509pp.
- Fleming, S.J.**, 1966, Study of thermoluminescence of crystalline extracts from pottery, *Archaeometry*, 9: 170-173pp.
- Fleming, S.J.**, 1970, Thermoluminescence dating: refinement of the quartz inclusion method, *Archaeometry*, 12: 133-145pp.
- Fleming, S.J.**, 1973, The pre-dose technique: a new thermoluminescent dating method, *Archaeometry*, 15(1): 13-30pp.
- Franklin, A.D. and Hornyank, W.F.**, 1990, Isolation of the rapidly bleaching peak in quartz TL glow curves, *Ancient TL*, 8, 29-31pp.
- Franklin, A.D., Prescott, J.R., Scholefield, R.B.**, 1995, The mechanism of thermoluminescence in an Australian sedimentary quartz, *Journal of Luminescence*, 63, 317-326pp.
- Garlick, G.F.J., Gibson, A.F.**, 1948, The electron trap mechanism of luminescence in sulphide and silicate phosphors, *Proc.Roy.Soc.*, London, A60: 574-590pp.
- Göksu, H. Y., Fremlin, J.H., Irwin, H.T. and Fryxell, R.**, 1974, Age determination of burnt flint by a thermoluminescent method, *Science*, 183, 651-654pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Göksu, H. Y., Stoneham, D., Bailiff, I.K. and Adamiec, G.,** 1998, A new technique in retrospective dosimetry: Pre-dose effect in the 230 °C TL glow peak of porcelain, *Applied Radiation and Isotopes*, 49 (1-2), 99-104pp.
- Göksu, H. Y., Bulur, E. and Wahl, W.,** 1999, Beta dosimetry using thin-layer α -Al₂O₃:C TL detectors, *Radiation Protection Dosimetry*, 84(1-4) : 451–455 pp.
- Göksu, H.Y., Schwenk, P.,** 2000, Investigation of the thermal stability of 210°C TL peak of quartz and dating the components of terrazzo from the monastery church of Tegernsee, *Radiation and Environmental Biophysics*, 39:301-308pp.
- Göksu, H.Y., Schwenk, P., Semiochkina, N.,** 2001, Investigation of the thermal stability of 210°C TL peak of quartz and dating the components of terrazzo from the monastery church of Tegernsee, *Radiation Measurements*, 33: 785–792pp.
- Grogler, N., Houtermans, F.G., Stauffer, H.,** 1960, Ueber die Datierung von Keramik und Ziegel durch Thermolumineszenz. *Helvetica, Physica Acta* 33: 595-596.
- Guibert, P., Vartanian, E., Roque, C., Schvoerer, M. and Bechtel, F.,** 2001, Luminescence dating of burnt materials: effects of preheat treatment on OSL and consequences for dating procedures, *Radiation Measurements*, 33, 439-444pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Guibert, P., Schvoerer, M.**, 1991, TL dating: low background gamma spectrometry as a tool for the determination of the annual dose, *Nuclear Tracks Radiation Measurements*, 18, 231-238pp.
- Harmankaya, S., Tanındı, O., Özbaşaran, M.**, 1997, TAY - Türkiye Arkeolojik Yerleşmeleri-2: Neolitik, *Ege Yayınları*, Takım ISBN 975-807-003-7, Cilt ISBN 975-807-010-X, İstanbul.
- Harmanşah, C.**, 2006, Termolüminesans-optik uyarımlı lüminesans sisteminin kurulması ve UV radyasyonun ölçümünde kullanılması, *Ege Üniversitesi, Doktora Tezi*.
- Hong, D.G., Yi, S.B., Galloway, R.B., Tsuboi, T. and Hashimoto, T.**, 2001, Optical dating of archaeological samples using a single aliquot of quartz stimulated by blue light, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 247, 179–84pp.
- Hossain, S.M.**, 2003, A critical comparison and evaluation of methods for the annual radiation dose determination in the luminescence dating of sediments. Ph. D. Thesis, Ghent University.
- Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I. and Thewalt, M.L.W.**, 1985, Optical dating of sediments, *Nature*, 313, 105-107pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Huntley, D.J., Hutton, J.T. and Prescott, J.R.,** 1993, The stranded beach-dune sequence of southeast South Australia: a test of luminescence dating, 0-800 ka, *Quaternary Science Reviews*, 12, 1-20pp.
- Hübner, S. and Göksu, H.Y.,** 1997, Retrospective dosimetry using the OSL pre-dose effect in porcelain, *Applied Radiation and Isotopes*, 48 (9), 1231-1235pp.
- Hütt, G. and Jaek, I.,** 2001, Advances in the luminescence dating: The optically stimulated luminescence based procedures and their physical background, *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, 50, 4, 214-232pp.
- Jacobs, Z., Wintle, A.G., Duller, G.A.T.,** 2006, Evaluation of SAR procedures for De determination using single aliquots of quartz from two archaeological sites in South Africa , *Radiation Measurements*, 41: 520-533pp.
- Jain, M., Botter-Jensen, L., Thomsen, K.J.,** 2007, High local ionization density effects in X-ray excitations deduced from optical stimulation of trapped charge in Al₂O₃:C, *Journal of Physics-Condensed Matter*, 19 (11): 116201.
- Kalchgruber, R., Fuchs, M., Murray, A.S., Wagner, G.A.,** 2003, Evaluating dose-rate distributions in natural sediments using α -Al₂O₃: C grains, *Radiation Measurements*, 37:293-297pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Karali, T.**, 1999, Luminescence studies of rare earth doped dosimeters, *Sussex University*, PhD Thesis.
- Kennedy, G.C. and Knopff, L.**, 1960, Dating by thermoluminescence; *Archaeology*, 13, 147-148pp.
- Kırıkkaya Buluş, E.**, 2002, Kocaeli (Kullar-Yaylacık) fayından alınan kuvars örneklerinin optik uyarmalı lüminesans (OSL) ve termolüminesans (TL) yöntemleri ile incelenmesi ve tarihlendirilmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi.
- Kitis, G., Papadopoulos, J.G., Chralambous, S. and Tuyn, J.W.**, 1994, The influence of heating rate on the response and trapping parameters of α -Al₂O₃:C, *Radiation Protection and Dosimetry*, 55, 183-190pp.
- Korotov, V.S., Milman, I.I., Kirpa, V.I. and Lesz, J.**, 1994, Some features of α -Al₂O₃:C dosimetric thermoluminescence crystals, *Radiation Protection and Dosimetry*, 55, 279-283pp.
- Lepper, K., Wilson, C., Gardner, J., Reneau, S., Lavine, A.**, 2003, Comparison of SAR techniques for luminescence dating of sediments derived from volcanic tuff, *Quaternary Science Reviews*, 22:1131-1138pp.
- Lang, A.R. and Miuscov, V.F.**, 1967, Dislocations and fault surfaces in synthetic quartz, *Journal of Applied Physics*, 38 (2), 2477.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Lian, O.B. and Roberts R.G.**, 2006, Dating the Quaternary: progress in luminescence dating of sediments, *Quaternary Science Reviews*, 25: 2449–2468pp.
- Liritzis, I.**, 2000a, Advances In Thermo- And Opto-Luminescence Dating of Environmental Materials (Sedimentary Deposits). Part I: Techniques, *Global Nest: the Int. J.* Vol 2(1), 3-27 pp.
- Liritzis, I.**, 2000b, Advances In Thermo- And Opto-Luminescence Dating of Environmental Materials (Sedimentary Deposits). Part II: Applications, *Global Nest: the Int. J.* Vol 2(1), 29-49pp.
- McKeever, S.W.S.**, 1985, Thermoluminescence of solids. Cambridge University Press, London.
- McKeever, S.W.S., Moscovitch, M., Townsend, P.D.**, 1995, Thermoluminescence Dosimetry Materials: Properties and Uses, Nuclear Technology Publishing, Kent .
- Meakins, R.L., Dickson, B.L. and Kelly, J.C.**, 1979, Gamma-ray analysis of K, U and Th for dose-rate estimation in thermoluminescence dating, *Archaeometry*, 21, 79-86pp.
- Mejdahl, V.**, 1969, Thermoluminescence dating of ancient Danish Ceramics, *Archaeometry*, 11, 99-104pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Mejdahl, V.**, 1978, Thermoluminescence dating: a thermoluminescence technique for beta-ray dosimetry, in .A Specialist Seminar of Thermoluminescence Dating., Oxford, *PACT*, Council Europe.
- Mejdahl, V.**, 1979, Thermoluminescence dating: beta-dose attenuation in quartz grains, *Archaeometry*, 21:61-72pp.
- Mejdahl, V.**, 1987, Internal radioactivity in quartz and feldspar grains, *Ancient TL*, 5 (2), 10-17pp.
- Miallier, D., Fain, J., Sanzelle, S., Daugas, J.P. and Raynal, J.P.**, 1983, Dating of the Butte de Clermont basaltic maar by means of the quartz inclusion method, *PACT* 9, 487-498pp.
- Michael, C. T. and Zacharias, N.**, 2006, Equivalent dose (palaeodose) estimation in thermoluminescence dating using a single aliquot of polymineral fine grains, *Radiation Protection Dosimetry*, 119 (1-4): 458–461pp.
- Morozov, G.V.**, 1968, The relative dating of Quaternary Ukrainian sediments by the thermoluminescence method, *8th International Quaternary Association Congress*, Paris, U.S. Geological Survey Library, Washington D.C., Cat. No. 208M8280, p. 167.
- Moscovitch, M., Tawil, R.A. and Svinkin, M.**, 1993a, Light induced fading in α -Al₂O₃:C, *Radiation Protection Dosimetry*, 47, 251-253pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Moscovitch, M., Kaufman, M.M., Rodgers, J.E. and Nirroomand-Rad A.**, 1993b, Ultra-low dose (100 nGy-100 µGy) response of α - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$, *Radiation Protection Dosimetry*, 47, 173-176pp.
- Mott, N.F., and Gurney, R.W.**, 1948, *Electronic Process in Ionic Crystal*, Oxford University Press, London.
- Mukherje, B. and Lucas, A.C.**, 1993, Light conversion efficiency of aluminium oxide dosimeters irradiation with ^{241}Am alpha particles, *Radiation Protection Dosimetry*, 47,177-179pp.
- Murray, A.S.**, 1981, Environmental Radioactivity Studies Relevant to Thermoluminescence Dating, Ph.D. Thesis, *University of Oxford*, UK.
- Murray, A.S., Marten, R., Johnston, A. and Martin, P.**, 1987, Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry, *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, 115, 263-288pp.
- Murray, A.S. and Aitken, M.J.**, 1988, Analysis of low-level Natural Radioactivity in Small Mineral Samples for use in Thermoluminescence Dating, using High-resolution Gamma Spectrometry, *Applied Radiation and Isotopes*, 39, 145-158pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Murray, A.S. and Roberts R.G.**, 1998, Measurement of the equivalent dose in quartz using a regenerative-dose single aliquot protocol, *Radiation Measurements*, 29:503-515.
- Murray, A.S. and Mejdahl, V.**, 1999, Comparison of regenerative-dose single-aliquot and multiple-aliquot (SARA) protocols using heated quartz from archaeological sites, *Quaternary Geochronology* 18: 223-229pp.
- Murray, A.S. and Wintle, A.G.**, 2000, Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol, *Radiation Measurements*, 32: 57-73pp.
- Murray, A.S. and Wintle, A.G.**, 2003, The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability, *Radiation Measurements*, 37: 377-381pp.
- Musk, J.H.**, 1993, Time-dependent and light-induced fading in Victoreen Model 2600-80 aluminium oxide thermoluminescence dosimeters, *Radiation Protection Dosimetry*, 47, 247-249pp.
- Nambi, K. S. V., and Aitken, M. J.**, 1986, Annual dose conversion factors for TL and ESR dating, *Archaeometry*, 28, 202–205pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- O'Brien, T.J., Dooremus, S.W., Moscovitch, M, Rodgers, J.E. and Popescu, G.F.,** 1993, Thermoluminescent response of aluminium oxide (α -Al₂O₃:C) to alpha particles, *Health Physics*, 64 (6 suppl.), S41.
- Olley, J.M., Roberts, R.G. and Murray, A.S.,** 1997, Disequilibria in the uranium decay series in sedimentary deposits at Allen's Cave, Nullarbor Plain, Australia: implications for dose rate determinations, *Radiation Measurements*, 27, 433-443pp.
- Öke, G.,and Yurdatapan, E.,** 2000, Optically stimulated luminescence dating of pottery from Turkey. *Talanta*, 53:15–119pp.
- Pagonis, V., Kitis, G., Furetta, C.,** 2006, Numerical and Practical Exercises in Thermoluminescence, Springer Pres, New York.
- Prescott, J.R., Huntley, D.J. and Hutton, J.T.,** 1993, Estimation of equivalent dose in thermoluminescence dating the Australian slide method, *Ancient TL*, 11, 1–5pp.
- Prescott, J. R. and Hutton, J.T.,** 1995, Environmental Dose Rates and Radioactive Disequilibrium from Some Australian Luminescence Dating Sites, *Quaternary Science Reviews*, 14:439-448.
- Prescott, J.R. and Robertson, G.B.,** 1997, Sediment dating by luminescence: a review, *Radiation Measurements*, 27, 893–922 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Randall, J.T. and Wilkins, M.H.F.**, 1945, Phosphorescence and electron traps:I. The study of trap distribution, *Proc. R. Soc.*,A84, 366-389pp.
- Readhead, M.L.**, 1988, Thermoluminescence dating of quartz in aeolian sediments from southeastern Australia, *Quaternary Science Reviews*, 7, 257-264pp.
- Sampson, E.H., Fleming, S.J., Bray, W.**, 1972, Thermoluminescence dating of colombian pottery in the Yotoco style, *Archaeometry*, 14, 1, 119-126pp.
- Sanderson, D.C.W.**, 1988, Thick source beta counting: a rapid method for measuring beta dose rates, *Radiation Measurements*, 14 (1-2), 203-207
- Thomsen, K.J.**, 2004, Optically stimulated luminescence techniques in retrospective dosimetry using single grains of quartz extracted from unheated materials, *Riso National laboratory*, Denmark, PhD Thesis.
- Tite, M.S. and Waine, J.**, 1962, Thermoluminescent dating: a re-appraisal, *Archaeometry*, 53-79pp.
- Valladas, G. and Gillot, P.Y.**, 1978, Dating of the Olby lava flow using heated quartz pebbles: some problems, *PACT*, 2, 141-149pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Vandenbergh, D.**, 2003, Investigation of the Optically Stimulated Luminescence Dating Method for Application to Young Geological Sediments. Ph.D. Thesis, Department of Analytical Chemistry Institute for Nuclear Sciences, Universiteit Gent.
- Varien, M.D. and Mills, B.J.**, 1997, Accumulations research: problems and prospects, *J. Archaeol. Method Theory*, 4, 141–91pp
- Veronese, I., Göksu, H.Y., Schwenk, P., Herzig, F.**, 2008, Thermoluminescence dating of a mikveh in Ichenhausen Germany, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 621-630pp.
- Vij, D.R.**, 1998, Luminescence of Solids, Plenum Pres, New York.
- Wang, W. and Zhou, Z.**, 1983, Thermoluminescence dating of chinese pottery, *Archaeometry*, 25, 2, 99-106pp.
- Warren, S.E.**, 1978, Thermoluminescence dating of pottery: an assessment of the dose rate from rubidium, *Archaeometry*, 20, 69-71pp.
- Watanabe, S., Farias, T.M.B., Gennari, R.F., Ferraz, G.M., Kunzli, R., Chubaci, J.F.D.**, 2008, Chemical process to separate iron oxides particles in pottery sample for EPR dating, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 71, 1261-1265pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Wintle A.G.**, 1975, Thermal quenching of thermoluminescence in quartz, *Geophysics J. R.Astr. Soc.*,41, 107-113pp.
- Wintle A.G. and Huntley D.J.**, 1979, Themoluminescence dating of a deep-sea ocean core, , *Nature*, 279, 710-712pp.
- Wintle A.G. and Huntley D.J.**, 1980, Thermoluminescence dating of ocean sediments, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17, 348-360pp.
- Wintle, A.G.**, 1997, Luminescence Dating: Laboratory Procedures and Protocols, *Radiation Measurement*, 27 : 769-817pp.
- Wintle, A.G.**, 2008, Fifty Years of Luminescence Dating, *Archaeometry*, 50(2):276–312pp.
- Wintle, A.G. and Murray, A.S.**, 2006, A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols, *Radiation Measurements*, 41: 369-391pp.
- Yang, X.H. and McKeever, S.W.S**, 1990, The pre-dose effect in crystalline quartz, *Journal of Physics D: Applied Physics* 23 237–244pp.
- Zyihyong, H.**, 1999, Thermoluminescence Dating in Granitic Quartz, Ph.D. Thesis, University of Hong Kong.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Zimmerman, D.W.,1967, Thermoluminescence from fine grains ancient pottery, *Archaeometry*, 10:26-28pp.

Zimmerman, D.W., 1971, Thermoluminescence dating using fine grains from pottery, *Archaeometry*, 13:29-52pp.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Elçin (EKDAL) TEKİN
Doğum Yeri : İzmir
Doğum Tarihi : 25.01.1978

Öğrenim Durumu:

Lisans :1995–2000, Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü.

Yüksek Lisans : 2000–2003, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı.

Doktora : 2003– Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü. Nükleer Bilimler Anabilim Dalı.

Mesleki Durumu:

2005-2009 : Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Araştırma Görevlisi

2009- : Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Teknisyen