

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**IŞIMA TEKNİKLERİ KULLANILARAK JEOLJİK
ÖRNEKLERİN TARİHLENDİRİLMESİ**

Arzu EGE

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 622.01.01

Sunuş Tarihi: 31.10.2008

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Turgay KARALI

İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nurdoğan CAN

Bornova-İzmir

Sayın **Arzu Ege** tarafından DOKTORA TEZİ olarak sunulan “**İşma Teknikleri Kullanılarak Jeolojik Örneklerin 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 **31.10.2008** tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Saim SELVİ

Üye : Prof. Dr. Güngör YENER

Üye : Prof. Dr. Nurdoğan CAN

Üye : Doç. Dr. Turgay KARALI

Üye :Yard. Doç. Dr. Murat Müslim SAÇ

ÖZET

İŞİMA TEKNİKLERİ KULLANILARAK JEOLJİK ÖRNEKLERİN TARİHLENDİRİLMESİ

EGE, Arzu

Doktora Tezi, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Turgay KARALI

Ekim 2008, 125 sayfa

İşima tarihleme kuvars ve feldspat gibi yeryüzünde yaygın olarak bulunan minerallerin ışığa veya ısıya en son maruz kaldığı zamanı belirlemek için kullanılan bir metottur. Bu tezin amacı, işima teknikleri kullanarak jeolojik örneklerin yaşlarının saptanmasıdır.

Çalışmada Salihli ilçesi Kaletepe yöresinde belirlenen örnekleme alanlarındaki fluvial (nehir yoluyla taşınmış) sedimentler kullanılmıştır.

Örneklerin tarihlendirilmesinde iki önemli bileşenin belirlenmesi gerekir. Bu bileşenler örneğin bulunduğu çevrenin yıllık radyasyon dozu ve örneğin son ışık gördüğü zamandan bu yana biriktirdiği eşdeğer (toplam) dozudur. Yıllık doz ölçümlerinde dolaylı ve doğrudan ölçüm metotları kullanılmıştır. Dolaylı metotta örnekteki eU, eTh ve %K aktivite konsantrasyonları HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemiyle ölçülmüştür. Bu aktivite konsantrasyonlarından yıllık doza gama ve beta katkıları hesaplanmıştır. Kozmik radyasyon katkısı ise alana ait rakım, enlem ve toprak yoğunluğu değerlerinden yararlanarak teorik olarak hesaplanmıştır. Doğrudan metot ile ölçüm aşamasında yıllık doza gama ve kozmik radyasyon katkısının toplamı kalın α -Al₂O₃ dozimetreler, beta katkısı ise ince α -Al₂O₃ dozimetreler kullanılarak saptanmıştır.

Eşdeğer doz 140-200 μm boyutundaki kaba tanecik kuvars minerali kullanılarak tekli örnek yenileme tekniği (SAR) ile belirlenmiştir. Örnekleme alanında belirlenen kale alt ve kale üst olarak isimlendirilen iki seviyenin eşdeğer dozu sırasıyla 278 ± 14 ve 182 ± 25 Gy olarak saptanmıştır. Eşdeğer doz değerlerinin her iki metotla elde edilen ortalama yıllık doz değerlerine oranından kale alt alanına ait sedimentin yaşı 91 ± 24 ky ve kale üst alanına ait sedimentin yaşı ise 83 ± 28 ky olarak hesaplanmıştır.

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

ABSTRACT**DATING OF GEOLOGICAL SAMPLES USING
LUMINESCENCE TECHNIQUES**

EGE, Arzu

PhD Thesis, Institute of Nuclear Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Turgay KARALI

October 2008, 126 pages

Luminescence dating is a method used to determine the time elapsed since minerals present in the earth surface was last exposed to sunlight or heat. The aim of this thesis is to date the geological samples using luminescence techniques.

In this study, the fluvial (caused by rivers) sediments collected from sampling sites in Salihli, Kaletepe region have been dated.

The luminescence dating of the sediment samples requires determining of two important parameters. These are annual environmental dose and the equivalent (total) dose accumulated since last exposure to sunlight of the sediments. Direct and indirect measurement methods were used in annual dose measurements.

In indirect method, activity concentrations of eU, eTh and K% were measured by gamma spectrometer having a HPGe detector. Gamma and beta contribution to annual dose was calculated using the determined activity concentrations. Cosmic radiation contribution was calculated theoretically by means of altitude, latitude and soil density of the region of interest. In direct measurement stage, the sum of gamma and cosmic radiation contribution to annual dose and beta contribution

to annual dose were determined by using thick α - Al_2O_3 dosimeters and thin α - Al_2O_3 dosimeters, respectively.

Equivalent dose were determined by single aliquot regeneration technique (SAR) using 140-200 μm coarse grain quartz. Equivalent doses of the levels labeled as kale alt and kale üst were found as 278 ± 14 and 182 ± 25 Gy, respectively. The age of the kale alt sediment was calculated as 91 ± 24 ky and that of the kale üst sediment was calculated as 83 ± 28 ky by the ratio of the equivalent doses to average annual dose obtained by two methods.

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

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım süresince her adımda değerli destek ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın **Doç. Dr. Turgay KARALI**'ya ve tez ikinci danışmanım Sayın **Prof. Dr. Nurdoğan CAN**'a, Enstitü laboratuvarlarında her türlü çalışma olanağını sağlayan Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Sayın **Prof. Dr. Meral ERAL**'a, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı Başkanı Sayın **Prof. Dr. Güngör YENER**'e, çalışmalarımda bilgi ve deneyimiyle bana daima destek olan değerli hocalarım Sayın **Prof. Dr. H.Yeter GÖKSU** ve **Prof. Dr. Günseli YAPRAK**'a, arazi çalışmalarında bilgi ve deneyimini esirgemeyen Maden Yüksek Mühendisi Sayın **Turhan ALPAN**'a, başta dostluğunu ve yardımlarını esirgemeyen **Araş. Gör. Elçin EKDAL** olmak üzere, her zaman büyük özveriyle yanımda olan arkadaşlarıma, doktora eğitimim sırasında bana maddi destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu **TÜBİTAK**'a, manevi desteğini esirgemeyen eşim **Tuğrul EGE**'ye, benim daima moral kaynağım olan kızım **Ece EGE**'ye ve aileme, en içten teşekkürlerimi sunarım.

Arzu EGE

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VII
TEŞEKKÜR.....	IX
İÇİNDEKİLER.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XVII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XXIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XXV
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1 Işımanın Tarihsel Gelişimi.....	5
2.2 Işımanın Tanımı ve Çeşitleri.....	7

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3 Işımanın Fiziksel Mekanizması.....	9
2.4 Termal Uyarımlı Işıma (TL).....	11
2.4.1 Termal uyarımlı ışımanın matematiksel yaklaşımı.....	13
2.5 Işıma Tarihlemenin Prensipleri.....	26
2.6 Eşdeğer Dozun Belirlenmesi.....	29
2.6.1 Işıma sinyali ölçümleri.....	29
2.6.2 Eşdeğer dozun ölçümü.....	30
2.7 Yıllık Doz.....	35
2.7.1 Doğal Radyoaktivite.....	37
2.7.2 Radyoaktif Denge.....	41
2.7.3 Radyoaktif Dengesizlik.....	42
2.7.4 Kozmik Radyasyon.....	44
2.7.5 Yıllık dozun belirlenmesinde kullanılan teknikler.....	47
2.7.6 Nem etkisi.....	48

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
2.7.7 Verim.....	49
2.7.8 Azalma ve asitle aşındırma.....	51
2.7.9 ⁸⁷ Rb katkısı.....	52
3. MATERYAL VE METOD.....	54
3.1 Çalışma Alanı.....	54
3.2 Çalışmada Kullanılan Sistemler.....	56
3.2.1 Gama spektrometre sistemi.....	56
3.2.2 Termoluminesans dozimetre (TLD) okuyucu sistemi.....	57
3.2.3 Beta kaynağının kalibrasyonu	60
3.3 Yıllık Dozun Belirlenmesi.....	61
3.3.1 Dolaylı ölçüm metodu.....	62
3.3.2 Doğrudan ölçüm metodu.....	65
3.4 Nem İçeriği Analizi.....	70

İÇİNDEKİLER (Devam)Sayfa

3.5 Eşdeğer Doz Ölçümü.....	71
3.5.1 Eşdeğer doz ölçümü için örnek hazırlama.....	71
3.5.2 Ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesi.....	72
3.5.3 Eşdeğer doz için ısıtma ölçümleri.....	73
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	76
4.1 Beta Kaynağının Kalibrasyon Sonuçları.....	76
4.2 Nem Düzeltmesi Sonuçları.....	77
4.3 Yıllık Doz Ölçümünde Elde Edilen Sonuçlar.....	77
4.3.1 Dolaylı ölçüm metodu ile elde edilen sonuçlar.....	77
4.3.2 Doğrudan ölçüm metodu ile elde edilen sonuçlar.....	80
4.4 Eşdeğer Doz Ölçüm Sonuçları.....	84
4.4.1 Örneklerin XRD ve SEM analizleri	84

İÇİNDEKİLER (Devam)Sayfa

4.4.2 Sediment örneklerinin güneş ışığı ile sönmelenmesinin incelenmesi.....	87
4.4.3 Ön ısıtma sıcaklığı ölçüm sonuçları.....	88
4.4.4 SAR tekniğine göre belirlenen eşdeğer doz değerleri.....	94
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	125

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Sediment tarihlemesi için kullanılan ışıma sinyalinin fiziksel temelini gösteren basitleştirilmiş enerji bant modeli	9
2.2 Salihli Kaletepe yöresinden alınan sedimenter kuvars örneğinin doğal sinyaline ait TL parıldama eğrisi.....	12
2.3 Fosforesans işlemi. İB=iletkenlik bandı, DB=değerlik bandı, E= termal aktivasyon enerjisi.....	15
2.4 Denk. (2.9)'nin çözümü. T_M sıcaklığı, n_0 tuzaklanmış elektronların başlangıç konsantrasyonundan bağımsızdır.....	19
2.5 TL'nin birinci derece (I) ve ikinci derece (II) kinetiklerine göre ışıma pik şekilleri.....	23
2.6 Kinetik dereceler arasındaki farklılıkları gösteren bir taslak.....	26
2.7 Çevresel radyasyonla ilişkili tarihleme yöntemlerinin şematik özeti.....	27
2.8 Sedimentin ışıma tarihlemesinin şematik gösterimi	28
2.9 Ek doz yönteminde elde edilen örnek bir büyütme eğrisi	31
2.10 Yenileme yönteminde elde edilen örnek bir büyütme eğrisi.....	32
2.11 Kısmi ağartma yönteminde elde edilen örnek bir büyütme eğrisi.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.12 ²³⁵ U serisinin bozunum şeması. (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir.....)	38
2.13 ²³⁸ U serisinin bozunum şeması. (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir.....)	39
2.14 ²³² Th serisinin bozunum şeması (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir.....)	39
2.15 ⁴⁰ K ve ⁸⁷ Rb radyonüklidlerinin bozunum şemalar.....	40
2.16 Kuvars kaba tanecik tekniğinin sistematik gösterimi.....	40
2.17 Toprak derinliğine bağlı olarak kozmik ışınların doz-hızı. Değerler 53° jeomanyetik enlemde, deniz seviyesinden 25 m yükseklikte ve 1,8 g/cm ³ 'lük yoğunluğa sahip sediment için hesaplanmıştır	45
2.18 Rakım ve jeomanyetik enlemin fonksiyonu olarak kozmik doz hızının bulunmasında kullanılan $D_0=D[F+J.Exp(h/H)]$ ifadesindeki parametreler.....	46
2.19 Eşit toryum ve uranyum aktivitelerine sahip bir matris içine gömülmüş verilen çapta bir kuvars taneciği için ortalama alfa dozunun değişimi. Şekil Bell (1980) hesaplarına dayanmaktadır ve Aitken (1985)'den alınmıştır.....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Sediment örneklerinin alındığı Salihli- Kaletepe mevkiine ait bir resim	54
3.2 Örnekleme alanının konumunu gösteren ait harita.....	55
3.3 Çalışmada kullanılan gama spektrometre sisteminin şematik gösterimi.....	56
3.4 Işıma ölçümlerinin yapıldığı TLD okuyucu sistemi (Harshaw TLD 3500).....	57
3.5 TLD okuyucunun basit bir diyagramı	58
3.6 Foton dalga boyunun fonksiyonu olarak EMI 9235 fotoçoğaltıcı tüpün kuantum verimi.....	59
3.7 KG-1 filtresinin geçirgenlik spektrumu.....	59
3.8 ⁹⁰ Sr radyonüklitinin bozunum şeması.....	60
3.9 Radyoaktivite analizi için hazırlanan toprak örnekleri.....	62
3.10 a) NaI(Tl) sintilasyon dedektörlü b) HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi	63
3.11 HPGe koaksiyel detektörlü gama spektrometre sistemiyle elde edilen örnek bir spektrum	64

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.12 Doğrudan metot ile yıllık doza gama katkısının belirlenebilmesi için hazırlanan α -Al ₂ O ₃ :C dozimetrelere.....	66
3.13 Dozimetrelere arazide gömüldükleri örnekleme alanına ait bir resim.....	67
3.14 Örnekleme alanına gömülmüş doğal ve laboratuarda ~31 mGy doz verilmiş olan kalın Al ₂ O ₃ :C TL dozimetrelere ait örnek parıldama eğrileri	68
3.15 Doğrudan metot ile yıllık doza beta katkısının hesaplanması için hazırlanan örnekler	68
3.16 Yıllık beta radyasyonu katkısının belirlenmesi için kullanılan ince Al ₂ O ₃ :C TL dozimetrelere ait örnek parıldama eğrileri.....	69
4.1 Kaletepe sedimenter bir kiminden alınan örneğe ait XRD analizi...86	
4.2 Kimyasal işlemde sonra örneğin EDX detektörlü SEM taramalı elektron mikroskobu ile yapılan element analizi.....	87
4.3 Sediment örneğinin doğal ve belirli sürelerde güneş ışığına maruz bırakılmasının ardından elde edilen parıldama ışımaya eğrileri.....	88

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.4 Kale alt örneklerine ait doğal ve (a) 220 (b) 230 (c) 240 (d) 250 ve (e) 260 °C'lik ön ısıtmalar sonrasında alınan parıldama eğrileri.....	91
4.5 Kale üst örneklerine ait doğal ve (a) 210 (b) 220 (c) 230 (d) 240 ve (e) 250 °C'lik ön ısıtmalar sonrasında alınan parıldama eğrileri.....	94
4.6 Doğal ve $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ kaynağı ile farklı dozlarda ışınlamaların ardından alınan 4 kale alt alan kuvars örneğine ait parıldama eğrileri.....	96
4.7 Doğal ve $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ kaynağı ile farklı dozlarda ışınlamaların ardından alınan 4 kale üst alan kuvars örneğine ait parıldama eğrileri.....	98
4.8 Kale alt alan örneklerine ait plato testi sonuçları (I_D : doğal sinyal şiddeti, I_x : x dozuna bağlı şiddet).....	100
4.9 Kale üst alan örneklerine ait plato testi sonuçları (I_D : doğal sinyal şiddeti, I_x : x dozuna bağlı şiddet).....	102
4.10 SAR tekniğine göre çizilen kale alt örneklerine ait büyütme eğrileri.	105
4.11 SAR tekniğine göre çizilen kale üst örneklerine ait büyütme eğrileri.....	107

ÇİZELGE DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Verilen konsantrasyonlar için yıllık doza potasyum, rubidyum, toryum ve uranyumdan gelen katkının bileşenleri (Aitken, 1985)....	36
4.1 ^{90}Sr β kaynağının ÇNAEM Sekonder Standart Dozimetre Laboratuvarı'na göre malzemelere verdiği eşdeğer doz hızları	76
4.2 Kale alt ve kale üst alanlarına ait sediment örneklerinin yaş, kuru, suya doymuş ağırlıkları ve bu değerlerden yararlanarak hesaplanan W ve F faktörleri.....	77
4.3 Örnekleme alanlarından alınan kurutulmuş toprak örneklerinin ortalama radyoaktivite konsantrasyonları.....	78
4.4 Dolaylı metot ile kurutulmuş toprak örneklerinden elde edilen yıllık gama ve beta doz hızı değerleri.....	79
4.5 Dolaylı metot ile nem düzeltmesi yapılmış yıllık doz hızı değerleri.....	79
4.6 Örneklerin doğrudan ölçüm metoduna göre yıllık $D_\gamma + D_k$ doz hızı değerleri.....	80
4.7 Doğrudan ölçüm metoduna göre kurutulmuş örneklerden nem düzeltmesi yapılmadan önce yapıldıktan sonra elde edilen yıllık D_β doz hızı değerleri.....	81

ÇİZELGE DİZİNİ (Devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.8 Örnekleme alanları için doğrudan ve dolaylı ölçüm metoduna göre hesaplanan yıllık doz hızı değerleri.....	82
4.9 Kale alt ve kale üst örneklerine ait hesaplanan eşdeğer doz, doğrudan metotla elde edilen yıllık doz hızı ve yaş değerleri.....	108
4.10 Kale alt ve kale üst örneklerine ait hesaplanan eşdeğer doz, dolaylı metotla elde edilen yıllık doz hızı ve yaş değerleri.....	109
4.11 Kale alt ve kale üst örneklerine ait hesaplanan eşdeğer doz, ortalama yıllık doz hızı ve yaş değerleri.....	109

SİMGELER ve KISALTMALAR

eV	: Elektron volt
D_γ	: Gama radyasyonu doz hızı
D_β	: Beta radyasyonu doz hızı
D_α	: Alfa radyasyonu doz hızı
D_k	: Kozmik radyasyon doz hızı
Gy	:Gray
K	: Potasyum
k	: Boltzmann sabiti
k.d.	: Keyfi değer
ky	: Kilo yıl
My	: Milyon yıl
U	: Uranyum
Th	: Toryum
Pb	: Kurşun
Ra	: Radyum
Rb	: Rubidyum

Rn	: Radon
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi
ED	: Eşdeğer doz
GLSL	: Yeşil-ışık uyartımlı ışıma (Green Light Stimulated Luminescence)
IRSL	: Kıızıl Ötesi uyartımlı ışıma (Infra Red Stimulated Luminescence)
MARD	: Çoklu örnek yenileme doz (Multi Aliquot Regeneration Dose)
MAAD	: Çoklu örnek ek doz (Multi Aliquot Additive Dose)
OSL	: Optik uyartımlı ışıma (Optically Stimulated Luminescence)
PL	: Foto ışımayı (Photo luminescence)
PM	: Fotoçoğalcı (Photo Multiplier)
PTTL	: Foto-uyartımlı ışıma (Photo Transferred Thermoluminescence)
SAR	: Tekli örnek yenileme doz (Single Regeneration Dose)
SAAD	: Tekli örnek Ek Doz (Single Aliquot Additive Dose)

- SARA : Ek doz üzerine tekli örnek yenileme
(Single Aliquot Regeneration on Additive Dose)
- TL : Termal uyartımlı ışıma (Thermoluminescence)
- TLD : Termal uyartımlı ışıma dozimetresi
(Thermoluminescence Dosimeter)

1.GİRİŞ

Işıma (Lüminesans) teknikleri kullanılarak tarihleme, 1960'lı yıllarda termal uyartımlı ışıma (termolüminesans) ile başlamış ve ilk olarak çömlek, yanmış taşlar gibi arkeolojik örneklerin tarihlendirilmesi için geliştirilmiştir. Daha sonra ısıtma işleminin ışıma saatini sıfırlamasına benzer bir şekilde, deposizyon sırasında gün ışığına maruz kalmanın da saati sıfırlayabildiği fark edilmiş ve böylece ilk olarak Morozov'la (1968) başlayıp Wintle ve Huntley (1979) ile devam ederek sedimentlere de uygulanmaya başlanmıştır (Lian and Roberts, 2006; Miallier et al., 2006).

Işıma tarihleme yöntemi kuvarterner döneme ait araştırmalarda sıklıkla kullanılan en önemli kronolojik araçlar arasındadır. Bu yöntem, ısıtılmış minerallerin termal uyartımlı lüminesans (termolüminesans) tekniği kullanılarak tarihlenmesiyle başlayan ve gün ışığına maruz kalmış sedimentlerin optik uyartımlı tarihleme tekniğiyle yaşlarının belirlenmesine kadar uzanan bir tarihçeye sahiptir.

Kuvarterner dönem dünya tarihinde üzerinde tartışılan en önemli zaman aralıklardan biridir. Sadece aşırı iklim dalgalanmalarının meydana geldiği zaman değil, ilk modern insanın ortaya çıktığı, ilk medeniyetlerin şekillendiği, tarımın başladığı ve doğal çevre üzerinde insanın çok büyük etkilere sahip olduğu bir dönemdir. Birçok tarihleme tekniğinin gelişmesine rağmen bu önemli dönemi, kesin zamansal bir yapıya yerleştirmek oldukça zor olmuştur. Bu zorluğun nedeni birçok teknikte tarihlendirilecek zaman içinde oluşmuş kendine özgü bir malzemeye ihtiyaç duyulmasındandır. Ayrıca çoğu tarihleme yöntemi sadece kısa zaman ölçeklerinde kullanışlıdır. Hesaplanan yaş istenilen olayı tarihleyemez ve/veya kesin sonucun belirsizliğini önemli ölçüde

arttırabilen karmaşık yaş kalibrasyonunu gerektirebilir. En yaygın olarak kullanılan jeokronolojiksel tarihleme tekniği, ayrıntılı olarak geliştirilmiş ve çalışılmış olan ve ilk kuvarterner tarihleme yöntemlerinden de biri olan radyokarbon tarihlemedir. Radyokarbon tarihleme oldukça zaman alıcı bir tekniktir. Bu yöntem, dünya tarihini anlamamızda oldukça katkı sağlamasına rağmen kullanımı sınırlı kalmıştır ve çoğu durumda sadece birkaç yüzyıldan 60.000 yıla kadar yararlıdır. Genellikle fosil yapı bulunmasını gerektirir. Eğer radyokarbon yaşları takvim yılları ile kıyaslanırsa geçmişte atmosferdeki radyokarbon konsantrasyonundaki değişimler hakkında ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyulur. Diğer tarihleme yöntemlerinden dendrokronoloji, aminoasit salkımlanması ve paleomagnetik teknikler ile elde edilen yaş desenleri bağımsız olarak tarihlenmiş serilerle karşılaştırılmazsa sadece göreceli yaşları verir. Potasyum-argon, argon-argon, uranyum serileri gibi yöntemler ise, volkanik veya karbonat tortuların bulunmasını gerektirmektedir. Sonuç olarak en yararlı tarihleme yönteminin, ilgilenen malzemeyi doğrudan tarihleyebilmesi, her yerde bulunan birçok malzemeye uygulanabilmesi, uzun zaman aralıklarında çalışması ve karmaşık kalibrasyon gerektirmeden takvim yaşlarını verebilmesi gerekmektedir. Yukarıda belirtilen koşulları sağlamaya en yakın yöntem *ışınma tarihlemedir* (Lian and Roberts, 2006).

İşınma tarihleme kuvars ve feldspat gibi yeryüzünde en yaygın olarak bulunan minerallerin ışığa veya ısıya en son maruz kaldığı zamanı tarihlemek için kullanılır. Bu nedenle sedimenter jeolojik oluşumların oluşum ve değişim zamanlarını tarihlemek için yaygın olarak kullanılırlar. Sedimenter jeolojik oluşumlar çevresel (iklimsel) değişimlerde doğrudan bir göstergeler oldukları için bu malzemelerin tarihlendirilmesi önem kazanmaktadır. İşınma tarihleme, bir sedimenter depozit içinde gömülü olan insanoğlunun yaptığı herhangi bir eşyayı

veya fosili zamansal bir durum içine koymak için de kullanılabilir. Bir malzeme yeteri kadar ısıya maruz bırakılmışsa (örneğin pişirilmiş çömlek veya ocak taşı) doğrudan tarihlenebilir. Işıma tarihleme yaşları birkaç yıldan birkaç yüz bin yıla kadar uzanan yaşlara sahip örneklerle uygulanabilen bir yöntemdir (en üst teorik yaş limitinin birkaç milyon yıl olduğu düşünülmektedir) ve bu teknik doğrudan takvim yaşlarını verir (Lian and Roberts, 2006). Doğal kuvars ve feldspatın ışıma özelliklerindeki değişkenlik ve sedimentler birikim işlemlerindeki çeşitlilik nedeniyle bu teknik her uygulandığında test edilmeli ve uygun ölçüm şartları onaylanmalıdır. Işıma yöntemlerinde deneysel ayrıntıların rapor edilmesinin kolaylığı ve yöntemlerin paylaşılması, tekniğin başarısının ve kullanımının hızla artmasına neden olmuştur (Lian and Roberts, 2006; Prescott and Habermehl, 2008).

Bu araştırmada kullanılan malzeme yer kabuğunda bol miktarda bulunan kuvars mineralidir (ağırlıkça %12,6) ve 1970'li yılların başlarından beri TL tarihlemesinde yoğun olarak kullanılmaktadır (Aitken, 1985; Lang et al., 1998; Lian and Roberts, 2006; Wintle and Murray, 2006; Prescott and Habermehl, 2008; Buylaert et al., 2008).

Bu doktora çalışması aşağıda detayları verilen 4 ana bölüm ve sonuç bölümünden oluşmaktadır;

Birinci bölümde, Manisa ili Salihli ilçesi Kaletepe yöresindeki sedimentler oluşumlardan elde edilen kuvarsın TL yöntemi ile dozimetrik özelliklerinin incelenmesi ve yaş tayininde kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ışıma olayının tanımlanması, tarihsel gelişimi, ışıma çeşitleri, fiziksel mekanizması ve ölçümlerde kullanılan

termal uyartımlı ışıma tekniği, ışıma tarihleme olayının mekanizması, eşdeğer doz ve yıllık doz kavramları ve ışıma sinyaline etki eden faktörler hakkında genel bilgiler verilmektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan örneklerin alındığı bölge ve örneklemelemlerin nasıl yapıldığı, radyoaktivite analizinde ve ışıma sinyali ölçümlerinde kullanılan sistemler hakkında ayrıntılı bilgi, yıllık doz ve eşdeğer doz ölçümlerinde kullanılan teknikler hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Dördüncü bölümde deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla ilgili tartışma ve yorumlar sunulmaktadır. Sonuç bölümünde ise gerçekleştirilen tez çalışması hakkında genel bir değerlendirme verilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Işımanın Tarihsel Gelişimi

İlk termolüminesans (TL) olayı, 1663 yılında Robert Boyle tarafından feldspat ve elmas gibi doğal mineraller üzerinde gözlemlenmiştir. 18. yüzyılda topaz, kalsit ve ametist gibi minerallerin TL özellikleri belirlenmiştir. Yüzyılın sonunda ise TL ile fosferans ilişkisi tribolüminesans olayıyla kanıtlanmıştır (McKeever et al., 1995). 1888 yılında, Wiedemann bir maddeden termal artalanın üzerinde gözlemlenen şiddetli ışık yayılımı için “Lüminesans” terimini kullanmıştır (Barni et al., 2007). Wiedemann ve Schmidth (1895) katot ışınlarına maruz bırakılan maddelerin termolüminesans ışınması yayımladığını ilk kez gözlemlenmişler ve TL aktivatörler üzerine ilk sistematik araştırmayı yapmışlardır. İlk parıldama eğrisi (sıcaklığa karşı ışık şiddetinin ölçülmesi) Prizbram ve arkadaşları tarafından (1922–23) Viyana’da Radyum Enstitüsü’nde ölçülmüştür. Bu eğrinin gözlemlendiği tarihlerde, alkali halojen asit tuzları, kalsiyum karbonat, silika ve flüorit gibi çeşitli mineraller radyum ya da X-ışınına maruz bırakılmış, oluşan lüminesans görsel olarak araştırılarak spektrografik yöntemlerle kaydedilmiştir (McKeever, 1985; Vij, 1998).

Lüminesansın kinetiği için ilk teorik model (birinci derece kinetik) 1945 yılında Randall ve Wilkins tarafından öne sürülmüştür. Daha sonra 1948 yılında Garlick ve Gibson bunu ikinci dereceden kinetik için genişletmişlerdir. Bu sırada metal iyonlar aşılansız dozimetrik malzemelerinin geliştirilmesi ve safsızlığın izlenmesine yönelik çalışmalar yoğunlaşmıştır (Pagonis et al. , 2006; Furetta and Kitis, 2004).

Daniel ve arkadaşlarının (1953) radyoaktivite ve TL sinyalleri arasındaki ilişkiyi keşfetmeleriyle TL yöntemi radyasyon dozimetresi yöntemi olarak düşünülmüştür. Zeller (1957) tarafından soğurulan dozun TL şiddeti olarak ölçülmesi jeolojik örneklerin tarihlendirilmesinin temelini oluşturmuştur. 1968 yılında Zeller hem doğal hem de yapay TL'yi, toplam radyasyon dozunun bir göstergesi olarak kullanmıştır (McKeever, 1985; McKeveer et al., 1995). Başlangıçta araştırmacılar kireçtaşı ve diğer kayaları tarihlemek için bu tekniği kullanmak istemişler fakat doğal TL sinyaliyle jeolojik yaş arasında doğrusal bir ilişkinin var olmadığına karar vermişlerdir. Zeller ve Ronca (1963) kalsiyum karbonatın TL yaşının örneğin alfa aktivitesiyle ilişkili olduğunu rapor etmiştir. Yine Daniels tarafından 1968 yılında jeolojik yaşların TL ışıma tekniği ile tarihlendirilmesinde birçok zorluk öne sürülmüştür (McKeever, 1985). Bununla birlikte Aitken ve Bussell (1982) ve Debenham ve Aitken'in (1984) yaptığı çalışmalar ile kuarterner kalsiyum karbonatların güvenilir TL yaşları elde edilebilmiştir (Zhiyong, 1999).

TL tarihlemesi ilk olarak sert kayalar için öne sürülmesine rağmen, yaklaşık 20 yıl kadar uygulamaya geçilmemiştir. Bunun aksine Kennedy ve Knoff (1960) eski çömlek örneklerinden TL'yi keşfetmiştir. Çömleğin üretimi süresince uygulanan ısıtma işlemi birikmiş TL sinyalini sıfırlayacaktır. Böylece soğurulan radyasyon dozu, üretiminden bu yana geçen zamanın bir fonksiyonu olur. TL tarihleme arkeolojide hemen uygulama alanı bulmuş ve bu konu ile ilgili birçok tarihleme tekniği geliştirilmiştir (Aitken, 1990a). Bunların en göze çarpanları Fleming (1966) tarafından geliştirilen kuvars içerik (quartz inclusion), Zimmerman (1967) tarafından geliştirilen ince tanecik (fine grain), yine Fleming tarafından 1973 yılında ortaya atılan ön-doz (pre-dose) teknikleridir (Fleming, 1966; 1973; Aitken, 1985; 1990b). Isıtma TL

saatini etkin olarak sıfırlayabildiği için volkanik aktivitelerle ilgili olaylar da TL yöntemi ile tarihlendirilmiştir. Huntley ve Johnson 1976 yılında ışığın TL üzerindeki etkisini keşfetmişlerdir. Wintle ve Huntley (1979) tarafından yapılan bir dizi deneye göre, güneş ışığının TL sinyalini daha fazla ağartmayla ortadan kaldırılamayan küçük bir kalıntıya kadar azaltabildiği bulunmuştur (Zhiyong, 1999). Bu azalma başlangıçta çok hızlıdır ve 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. Şu anda öne çıkan görüş güneş ışığının minerallerin "saatlerinin" sıfırlanmasında en güçlü etken olduğudur. Yapılan bu çalışmalardan sonra TL tarihleme sediment ve çömlek tarihleme için önemli bir araç olmuştur (Aitken, 1985; 1990b).

2.2 Işımanın Tanımı ve Çeşitleri

Madde radyasyona maruz bırakıldığında, gelen radyasyonun enerjisinin bir kısmı malzeme içerisinde soğurular ve daha uzun dalga boylu bir ışık olarak yeniden yayımlanır (Stoke Law). Bu ışığa "ışımaya (lüminesans)" adı verilir. Yayımlanan ışığın dalga boyu, malzemenin ve gelen radyasyonun karakteristik bir özelliğidir ve dalga boyunun menzili mor ötesinden, görünür bölge ve kızıl ötesi bölgeye kadar uzanabilir. Işıma çeşitli mekanizmalarla gerçekleşebilir. Işıma olaylarına, yayımlanma neden olan radyasyon tipini yansıtacak şekilde isimler verilmiştir (McKeever, 1985).

Maruz kaldıkları radyasyon ve etkenlere göre,

- Işık ışımaya (Photoluminescence) UV ya da optik uyartım ile

- Radyo-ışınma (Radioluminescence) X-ışınları, beta ışınları ya da gama ışınları ile
- katot-ışınması (Cathodoluminescence) elektronlarla
- Kimyasal ışınma (Chemiluminescence) kimyasal enerjiyle
- Sürtünmeli-ışınma (Triboluminescence) mekanik enerjiyle
- Biyo-ışınma (Bioluminescence) biyokimyasal enerjiyle
- Ses-ışınma (Sonoluminescence) ses dalgalarıyla
- Elektro-ışınma (Elektrolüminesans) elektrik alan ile
- Optik uyartımlı ışınma (optically stimulated luminescence) görünür bölgede ışık kullanılarak
- Termal uyartımlı ışınma (thermally stimulated luminescence) radyasyona maruz kalmış malzemenin ısıtılmasıyla olarak sınıflandırılırlar.

Işımanın yayımlanması, uyarılmanın ardından yayımlanma ömrü olarak bilinen τ_c ile gösterilen karakteristik bir zamanda meydana gelir. Işınma bu zamana göre iki alt sınıfa ayrılabilir. Garlick (1949) ve Curie (1960) tarafından, $\tau_c < 10^{-8}$ s ise “floresans” ve $\tau_c > 10^{-8}$ ise “fosforesans” olarak adlandırılmıştır (McKeever, 1985).

Fosforesans olayında, maruz kalınan etki ortadan kalktıktan sonra da belirli bir süre, mineral ışık yaymaya devam edecektir. Fosforesans, soğurulan radyasyon ve en yüksek şiddete ulaşma zamanı t_{max} süresi arasındaki gecikmeyle karakterize edilmektedir.

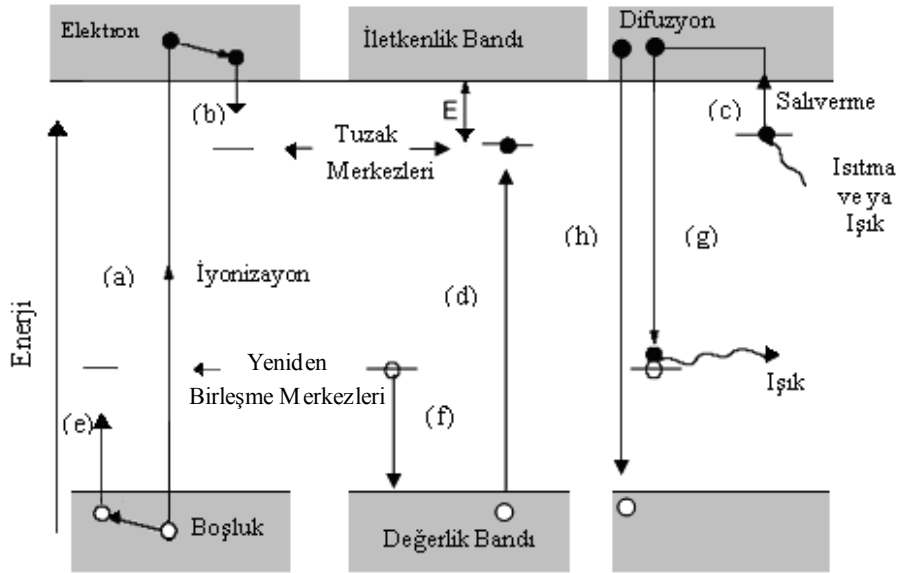
Floresans olayı karakteristik zamandan da anlaşılacağı gibi uyarılmayla kendiliğinden meydana gelir. Bu olay mineral içindeki yabancı iyonların kısa dalga boylu ışınların enerjisini soğurup, bunların yerine daha uzun dalga boylu (gözle görülebilen) ışık yaymaları şeklinde gerçekleşmektedir. Floresans sıcaklıktan bağımsız olup uyartılmış

düzeyden taban düzeye geçiş olasılığı ile belirlenirken fosforesans süreci sıcaklığa bağlıdır.

Bazı durumlarda, iki süreç arasında çok kısa zaman farkı söz konusu olduğunda, süreçler arasında ayırım yapmak zorlaşmaktadır. Bu gibi durumlarda bunu yapmanın en kolay yolu, sürecin sıcaklık bağımlılığını kontrol etmektir. Sıcaklık yükselir ve geçişler artan bir hızla gerçekleşirse süreç fosforesans olacaktır.

2.3 Işımanın Fiziksel Mekanizması

Işımanın fiziksel sürecini açıklayabilmek için Şekil 2.1 de verilen örnek enerji seviye diyagramı kullanılabilir.



Şekil 2.1 Sediment tarihlmesi için kullanılan ışınma sinyalinin fiziksel temelinin gösteren basitleştirilmiş enerji bant modeli (McKeever, 1985).

Şekil 2.1'den görüldüğü gibi bir katıda değerlik ve iletkenlik bandı olarak adlandırılan iki bant vardır ve bunlar yasaklanmış bant adı verilen bir bölge ile birbirlerinden ayrılmışlardır. Verilen tuzak çeşidi iletkenlik bandının altındaki E derinliği ile ifade edilir. Kuvars veya feldspat gibi kristal bir malzemede elektronlar bu iki bandın sadece birinde bulunurlar. Bu malzemeler mükemmel bir kristal yapısına sahip olmazlar. Kristal örgü içindeki kusurlar, yüklerin (genellikle elektronlar varsayılır) tuzaklanabildiği yasaklanmış bant içindeki yarı kararlı bölgelerin veya tuzakların oluşumuna neden olur.

Yükler bu tuzaklar içerisinde depolanır. Kusurların bulunması kristal yapı içerisindeki farklılıkların çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. Bu tip bir kristal yapı içinde atomlar genellikle değerlik bandında bulunurlar. Kristal iyonize radyasyon gibi bir enerjiyi soğurduğunda, bir değerlik elektronu uyarılabilir ve değerlik bandından iletkenlik bandına çıkar ((a) geçişi Şekil 2.1); bu sırada değerlik bandında serbest bir boşluk meydana gelir. Böylece iyonizasyon ile birlikte bir elektron-boşluk çifti oluşur. Uyarılmış haldeki elektron bir boşluk ile yeniden birleşmek için değerlik bandına dönebilir. Bu, serbest elektronun radyasyon kaynağından soğurduğu enerjiyi bırakmasına neden olur ((h) geçişi). Elektron-boşluk çiftleri birbirlerine ulaşıp yasaklanmış bant içinde tuzaklanmalarına (elektronun tuzaklanması için (b) geçişi boşluk için ise (e) geçişi) kadar kristal içinde dolaşabilir. Bu tuzaklar çok uzun süreler için elektronları depo edebilirler. Bu süre, bazı tuzaklar için oda sıcaklığında milyonlarca yıl mertebesine kadar uzanabilmektedir. Tuzaklanmış elektron ve boşluk sistemine küçük bir miktar enerji aktarılmasıyla, yani örneğin ısıtılması ya da belirli bir dalga boyunda ışığa maruz bırakılması ile, yük tuzaktan kurtulabilir ((c) ve (f) geçişleri). Bu, elektronun iletkenlik bandına dönmesine neden olur oradan da tuzaklanmış bir boşluk ile yeniden birleşebilir ((g) geçişi). Elektron

depoladığı enerjiyi, yeniden birleşme süresince ışık olarak geri salar. Bu ışık yayımı ışıma olarak tanımlanır. Işıma sinyalinin şiddeti tuzaklanmış elektronların sayısıyla orantılıdır dolayısıyla iyonize radyasyon akısından soğurulmuş toplam enerjiyle ve örneğin yaşıyla da orantılı olacaktır.

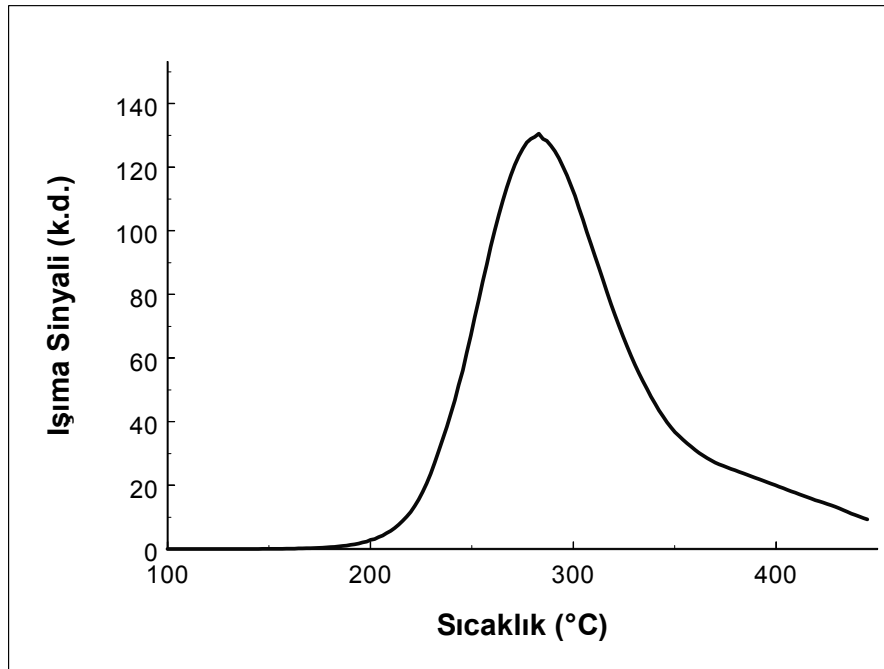
Eğer elektron ışık uyartımıyla serbest kalıyorsa ışıma, optik uyartımlı ışıma (OSL) olarak, eğer ısı uyartımıyla serbest kalıyorsa termal uyartımlı ışıma veya termolüminesans (TL) olarak adlandırılır. Optik uyartım ile ilişkili diğer terimler kızılötesi uyartımlı ışımayı (IRSL) ve yeşil-ışık uyartımlı ışımayı (GLSL), foto-uyartımlı ışımayı (PTTL) ve foto ışımayı (PL) kapsamaktadır. Bu doktora çalışmasında ışıma sinyali termal uyartımlı ışıma sinyalini ifade etmektedir. Işıma tarihleme ise termal uyartımlı ışıma tarihleme için kullanılacaktır.

2.4 Termal Uyartımlı Işıma (TL)

1950'lerin başlarında, Daniels ve arkadaşları (1953) nükleer radyasyon dozunun ölçülmesi için termal uyartımlı ışıma kullanmaya başlamışlardır. Jeolojik ve arkeolojik yaşın belirlenmesi için TL yöntemini önermişlerdir. Daha sonra bu malzemeler (çömlek, yanmış çakmaktaşı, yanmış taşlar, volkanik lavlar stalagmit kalsit v.b.) için yaygın olarak uygulanmaya başlanmıştır (Aitken, 1985; 1990b; Vij, 1998).

Bir örnek sabit bir hızda belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılırsa (örneğin 450 °C), burada bir ışık yayımı olur. Sıcaklığın fonksiyonu olarak yayımlanan bu ışımayla elde edilen eğriye parıldama eğrisi (glow curve) adı verilir. Şekil 2.2'de Salihli Kaletpe bölgesinden alınan sedimenter kuvars örneğinin doğal sinyaline ait bir parıldama eğrisi görülmektedir.

Elektronlar çevresel sıcaklığın etkisiyle bile tuzaklardan serbest kalabildiği için 200°C'nin altındaki ışıma pikleri kuvarterner birikimlerin tarihlendirilmesi için uygun değildir. Dozimetre için uygun kararlı ışıma pikleri genellikle 300°C'nin üzerinde bulunur. Bununla birlikte bazı minerallerde oda sıcaklığında bile yüksek sıcaklık ışıma piklerinde anormal sönümlenme (anomalous fading) gözlenmiştir. Prensip olarak TL



Şekil 2.2 Salihli Kaletpe yöresinden alınan sedimenter kuvars örneğinin doğal sinyaline ait TL parıldama eğrisi.

tarihleme birkaç 100 y dan 1 My'ya uzanan geniş bir yaş aralığını kapsar. Üst limit uzun süreli sönümlenme ve/veya TL sinyalinin sönümlenmesinden etkilenir ve bölgedeki malzemenin özelliğine göre değişebilmektedir (Lian and Roberts, 2006).

2.4.1 Termal uyarımlı ısımanın matematiksel yaklaşımı

Teorik olarak TL, katının bant yapısına ve özellikle de safsızlık ve örgü düzensizliklerine doğrudan bağlıdır. Kristal içindeki yük taşıyıcılar, zıt işaretli iyonlar etkisiyle buldukları yerden serbest yük taşıyıcıları ile etkileşebilmek ve onları tuzaklayabilmek için uzaklaşırlar ve arkalarında boşluk bırakırlar. Bu şekilde meydana gelen yapılar merkez olarak tanımlanabilir. Bundan farklı olarak, iyonlar örgüde farklı pozisyonlara yayılabilir ve ideal örgü geometrisini bozabilir. Bir diğer merkez ise safsızlıkların meydana getirdiği oluşumlardır. Safsızlık iyonlarının boyutları ve değerlikleri genellikle komşu iyonlardan farklı olduğu için örgü yapısını bozabilirler. Ayrıca dışsal kusurlar içsel kusurlar ile etkileşebilir ve daha karmaşık kusur yapıları meydana gelebilir. Atomik olarak ele alındığında kusur, etkileştiği yük taşıyıcılarının işareti, sayısı ve son olarak bulunduğu uyarılmış haller aracılığı ile tanımlanır. Bu tanım her merkezin karakteristik bir enerjiye karşılık geldiğini ifade eder. Bu, karakteristik enerjinin sağlanmasının tuzaklanmış yükleri serbest bırakacağı, böylece merkezi yok edeceği ve örgü yapısını yeniden düzenleyeceği şeklinde ifade edilebilir (McKeever, 1985).

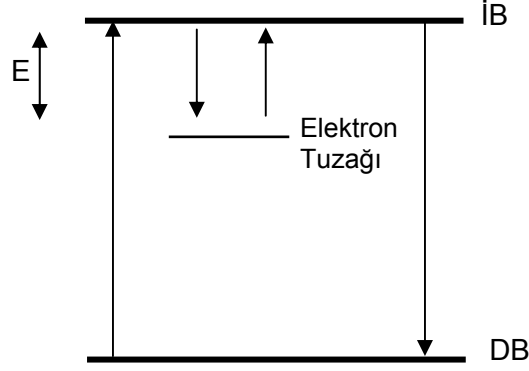
Bant yapısı, yasak bant ile birbirinden ayrılmış değerlik ve iletkenlik bantları ve bu iletkenlik bandının altında farklı derinliklerde bulunan zıt işaretli serbest yük taşıyıcılarının tuzaklandığı bölgeler olarak gösterilen kusurlardan meydana gelen bir yapı olarak tarif edilebilir. Yasaklanmış bandın yapısı oldukça karmaşıktır. Bu nedenle deneysel TL çalışmaları, TL olayına ilişkin parametreler ile ilgili ayrıntılı bilgi elde etmek için önemli bir araçtır. Bu parametreler her bir tuzak için, karakteristik enerji (E), geçiş frekansı ile ilişkili frekans faktörü (s) ve kapsadığı olayın özelliğini ifade eden bir kinetik derecedir (b). Kinetik

derece 1 ile 2 arasındadır. 1 değeri, yükün (elektronun) iletkenlik bandına yükselmesi ve ardından da deşik ile yeniden birleşmeye maruz kaldığı merkeze inmesi durumuna karşılık gelir. 2 değeri ise, bu olayın olasılığının yeniden tuzaklanmayla aynı olduğu bir durumu ifade eder. Bunların yanı sıra ışıyıcı olmayan olaylar ($b=0$) ve/veya ara durumların olması muhtemeldir (Pagonis et al., 2006).

Bu tanımlara dayanan matematiksel modeller, tüm durumları veren uygun diferansiyel denklem sistemlerini ve yük taşıyıcı popülasyonunun gelişimini içermektedir. Bu nedenle, teori ve pratik arasında tam bir uyum elde edilinceye kadar tasarlanan matematiksel modellerde bu parametrelerin uygun bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bu konuda en uygun çözümün, farklı deneysel koşullar altında örneğin ısıtıldığı sıcaklığın veya ısıtma zamanının bir fonksiyonu olarak TL yayımının gözlenmesi ve kaydedilmesi olduğu kabul edilmektedir. Sabit bir ısıtma hızı için, bu iki gözlem eşittir. Bu grafiğin şekli, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliğine ve uygulanan işlem çeşidine bağlıdır. Bununla birlikte, bu grafik, genel denklemlerden beklenebildiği gibi tek -veya çoklu- bir pik yapısındadır. Burada pik ve elektronun tuzak seviyesi arasında bir benzerlik dikkat çekmektedir. Bu, belirli sıcaklıktaki seviye için, sağlanan termal enerjinin miktarının ilgili tuzaklanmış yüklerin ışıyıcı olarak yeniden birleştiği seviyeden iletkenlik bandına yükseltmesi için gerekli eşiğe ulaşmasıyla açıklanır. Bu amaçla, pozitif yük taşıyıcılarını tuzaklayabilen diğer merkezler de olaya dahil edilirler.

Tüm parıldama eğrisinin toplamı olan tek pik için matematiksel model, pik pozisyonu, pikin sol ve sağ genişlikleri, bunların arasındaki oran, tüm pik genişliği, pik yüksekliği gibi bazı geometrik parametreleri aracılığıyla tanımlanabilir. Pik yüksekliği ısıtma hızına bağlıdır ve

verilen deneysel koşullarda ısıtma hızının artmasıyla artar. Bu geometrik parametreler temel fiziksel parametrelere karşılık gelmektedir.



Şekil 2.3 Fosforesans işlemi. İB=iletkenlik bandı, DB=değerlik bandı, E= termal aktivasyon enerjisi.

İlk olarak fosforesans olayı göz önüne alındığında bunun için gerekli olan matematiksel yaklaşım için Şek.2.3'teki gösterim kullanılabilir (Furetta and Weng, 1998).

Şekilde E, tuzaklanmış bir yük taşıyıcısının serbest kalması için gerekli termal aktivasyon enerjisidir. Buna tuzak derinliği de denir. Birim zamanda tuzaklanmış bir elektronun tuzaktan kaçabilme olasılığı veya saniyedeki olasılık hızı:

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

Şeklinde verilir. Burada

E= tuzak derinliği (eV)

k= Boltzmann sabiti

T = mutlak sıcaklık (K)

s = frekans faktörü (s^{-1}) dür.

Frekans faktörü, tuzak bir potansiyel kuyusu olarak düşünüldüğünde, elektronun tuzak içindeki çarpma sayısının frekansına bağlıdır. S 'nin en büyük değeri örgü titreşim frekansına, yani 10^{12} - 10^{14} s^{-1} karşılık gelir. T sıcaklığında yarı kararlı seviyedeki yük taşıyıcıların yaşam süresi τ ,

$$\tau = p^{-1} \quad (2.2)$$

şeklinde verilir.

Tuzaktan salınan elektronların hiçbirinin yeniden tuzaklanmadığı temel varsayımı, birinci dereceden kinetiğin genel görüşünü verir. Eğer n malzeme içinde tuzaklanmış elektronların sayısı ise ve sıcaklık sabit tutulursa, bu durumda n aşağıdaki ifadeye göre zamanla azalır.

$$\frac{dn}{dt} = -p.n \quad (2.3)$$

Denk.(2.2.)'yi kullanır ve Denk.(2.3)'ün integralini alırsak,

$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n} = -\int_{t_0}^t s.\exp\left(-\frac{E}{kT}\right)dt \quad (2.4)$$

$$\ln n - \ln n_0 = -s.t.\exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.5)$$

olur ve buradan

$$n = n_0 \exp\left[-s.t.\exp\left(-\frac{E}{kT}\right)\right] \quad (2.6)$$

elde edilir. Burada n_0 , $t_0=0$ anında tuzaklanmış elektronların sayısıdır.

Termoluminesans olayının matematiksel davranışına derinlemesine girmeden önce, yeniden tuzaklanma işleminin nitel bir tanımının ve TL sinyalinin şeklinin nasıl belirlendiğinin verilmesi gerekir (Furetta and Weng, 1998).

Isıtma süresince tuzaklanmış yüklerin serbest kalması, sıcaklığın bir fonksiyonu olan P kaçma olasılığı ile düzenlenir. Isıtma süresince sıcaklık artarken, P 'de artar ve yeterince yüksek sıcaklıkta, yani TL pikinin maksimum olduğu sıcaklıkta, bu olasılık bire eşittir. Bu sıcaklıkta tüm yükler, iletkenlik bandına doğru serbestçe hareket etmek ve ışıyıcı olarak yeniden birleşmek için yeterli termal enerjiyi zaten elde ettikleri için, tuzak tamamıyla boşalmış olacaktır.

P maksimum değere kadar sıcaklıkla sürekli olarak artarken, birim zamanda serbest kalan taşıyıcı sayısı, dn/dt , aynı kalmaz. Bunun sebebi, tuzaklanmış yüklerin belirli bir miktarının başlangıçta tuzaklanmış olması ve ısıtma süresince bu tuzaklanma olayının azalmasıdır. Kalan tuzaklanmış yüklerin sayısının dn/dt 'ye herhangi katkı sağlayacak kadar yeterli olmadığı belirli bir sıcaklık vardır. Bundan sonra da dn/dt azalmaya başlar.

Sonuç olarak, sıcaklığın artması dn/dt 'ye bir pik şekli verir: dn/dt düşük sıcaklıkta artar, tuzak karakteristiğiyle tanımlanan bir sıcaklık için maksimum değere ulaşır ve son olarak da yüksek sıcaklıklar için tuzak tamamıyla boşaldığından sifira kadar azalır. İletkenlik bandındaki yük konsantrasyonun sabit olduğu hipotezine göre termal olarak aktive olmuş yükler, ışık şeklinde enerjilerini salarak hızla yeniden birleşme merkezlerine hareket ederler. Isıtma süresince saptanan bu ışık şiddeti de bir pik şeklindedir. Bu pikin şiddeti ve alanı tuzak içindeki tuzaklanmış yüklerin başlangıçtaki sayısına bağlıdır.

2.4.1.1 Birinci dereceden kinetikler

1945'te Randall ve Wilkins (Furetta, 2003; Furetta and Kitis, 2004; Rasheedy et al., 2006) aşağıdaki varsayımlar ile bir parıldama eğrisindeki her bir ışımaya piki için yaygın matematiksel bir ifade kullanmışlardır.

- Fosforun ışınlanmasının herhangi bir elektronun serbest kalmayacağı kadar düşük bir sıcaklıkta yapıldığı
- Sıcaklık artış hızı lineer olacak şekilde ısıtma işleminin gerçekleştirildiği.

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:

$$I = -c \left(\frac{dn}{dt} \right) = cpn \quad (2.7)$$

Burada c bir sabittir.

Denk. (2.6) 'dan aşağıdaki ifadeyi elde ederiz.

$$I(t) = n_0 \cdot s \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[-s \cdot t \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)\right] \quad (2.8)$$

$\beta = dT/dt$ doğrusal ısıtma hızını kullanarak Denk.(2.4)'den aşağıdaki ifadeye sahip oluruz.

$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n} = -\left(\frac{s}{\beta}\right) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'$$

$$\ln(n) - \ln(n_0) = -\left(\frac{s}{\beta}\right) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'$$

ve yine

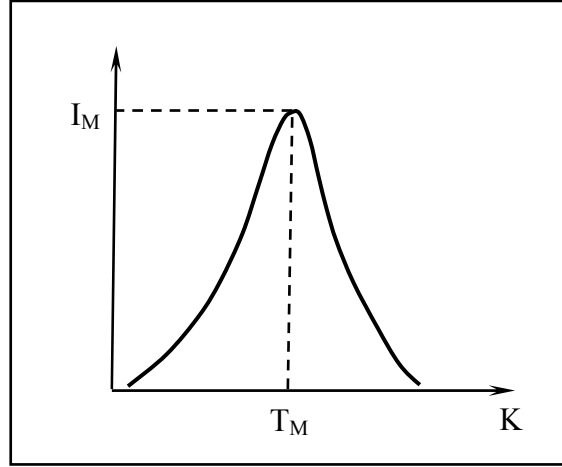
$$n = n_0 \exp \left[-\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp \left(-\frac{E}{kT'} \right) dT' \right]$$

elde edilir. Buradan da Denk.(2.7)'i kullanarak.

$$I(T) = n_0 s \cdot \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) \exp \left[-\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp \left(-\frac{E}{kT'} \right) dT' \right] \quad (2.9)$$

şiddet ifadesi elde edilir.

Bu ifade sayısal integrasyon yoluyla elde edilebilir ve Şek.2.4'deki gibi karakteristik bir T_M sıcaklığında maksimum şiddete ulaşan çan şeklinde bir eğri verir.



Şekil 2.4 Denk. (2.9)'nin çözümü. T_M sıcaklığı, n_0 tuzaklanmış elektronların başlangıç konsantrasyonundan bağımsızdır.

$$T=T_M \quad \text{olduğunda} \quad \frac{dI}{dT} = 0 \quad \text{olur.}$$

Yukarıdaki ifadeler düzenlenerek önemli bir ilişki elde edilir.

Pratik amaçlar için logaritmik türev aşağıdaki gibi düşünülebilir.

$$\frac{d(\ln I)}{dT} = \frac{1}{T} \frac{dI}{dT}$$

Denk. (2.9)'dan

$$\ln(I) = \ln(n_0 s) - \frac{E}{kT} - \frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'$$

İfadesini elde ederiz ve böylece

$$\left[\frac{d(\ln I)}{dT} \right]_{T=T_M} = \frac{E}{kT_M^2} - \frac{s}{\beta} \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) = 0$$

olur. Bu ifade aşağıdaki ifadeyi verir.

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (2.10)$$

Denk. (2.10) denkleminde ilginç sonuçlar elde edilir:

- sabit bir ısıtma hızı için E artarken veya s azalırken T_M yüksek sıcaklıklara doğru kayar;
- verilen bir tuzak için (E ve s sabit değerler) ısıtma hızı artarken T_M yüksek sıcaklıklara doğru kayar;
- T_M, n_0 dan bağımsızdır
- S olarak ifade edilen integral ışık toplamı aşağıdaki şekilde verilir.

$$S = \int_0^\infty I dt = -c \int_0^\infty \frac{dn}{dt} dt = -c \int_{n_0}^0 dn = cn_0 \quad (2.11)$$

Bu durumda S tuzaklanmış yüklerin başlangıç sayısı ile orantılıdır ve ısıtma devirlerinden bağımsızdır. Eğer tuzaklanmış yüklerin sayısı radyasyon dozu ile orantılıysa, bu durumda S de radyasyon dozuyla orantılıdır. Bu özellik radyasyon dozimetresinde oldukça önemlidir.

2.4.1.2 İkinci dereceden kinetikler

1948’de Garlick ve Gibson (Furetta, 2003; Furetta and Kitis, 2004; Rasheedy et al., 2006) 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.

$$\frac{dn}{dt} = -n^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.12)$$

Bu ifade, yeniden tuzaklanma olasılığı olmadığı kabul edilen birinci dereceden kinetikler örneğinden farklıdır. $s' = s/N$ niceliği ön-üstel faktör olarak adlandırılır ve birimi $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ olan bir sabittir. N (cm^3) tuzak yoğunludur.

Denk. (2.12)’nin sabit bir T sıcaklığıyla integrasyonu alınırsa,

$$\begin{aligned} \int_{n_0}^n \frac{dn}{n^2} &= -s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \int_0^t dt \\ \frac{1}{n_0} - \frac{1}{n} &= -s' t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \\ n &= n_0 \left[1 + s' n_0 t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \right]^{-1} \end{aligned} \quad (2.13)$$

ifadesini elde ederiz ve böylece $I(t)$ şiddeti aşağıdaki gibi olur.

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = n^2 s' \exp\left(\frac{E}{kT}\right) = \frac{n_0^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)}{\left[1 + s' t n_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \right]^2} \quad (2.14)$$

Bunun aksine $dt = dT/\beta$ yı dikkate alırsak,

$$\frac{dn}{n^2} = -\frac{s}{\beta} \exp\left(\frac{E}{kT}\right) dT$$

Elde ederiz ve bu nedenle

$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n^2} = -\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(\frac{E}{kT}\right) dT$$

Şeklinde olur ve böylece aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\begin{aligned} \frac{1}{n_0} - \frac{1}{n} &= -\frac{s'}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \\ n &= n_0 \left[1 + \left(\frac{s' n_0}{\beta} \right) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right]^{-1} \end{aligned} \quad (2.15)$$

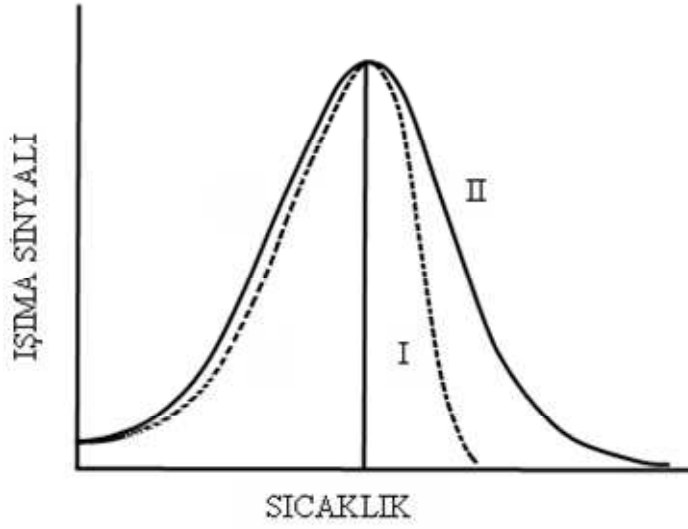
bu durumda $I(T)$ şiddeti aşağıdaki şekli alır.

$$I(T) = -\frac{dn}{dt} = n^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) = \frac{n_0^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)}{\left[1 + \frac{s' n_0}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right]^2} \quad (2.16)$$

Tek bir tuzak çeşidi için, kinetik derecenin ışımaya piki şekli üzerindeki etkisi Şek.2.5'da görülmektedir.

Bu sayısal etkiyi $I(T)$ 'nin türevini alıp sıfıra eşitleyerek görebiliriz.

$$\begin{aligned} \ln(I) &= \ln(n_0^2 s') - \frac{E}{kT} - 2 \ln \left[1 + \frac{s' n_0}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right] \\ \left[d \left(\frac{\ln I}{dT} \right) \right]_{T=T_M} &= \frac{E}{kT_M^2} - 2 \frac{\frac{s' n_0}{\beta} \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right)}{1 + \frac{s' n_0}{\beta} \int_{T_0}^{T_M} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'} = 0 \end{aligned}$$



Şekil 2.5 TL'nin birinci derece (I) ve ikinci derece (II) kinetiklerine göre ışıma pik şekilleri.

Bu durumda,

$$\frac{E}{kT_M^2} = 2 \frac{\frac{s'n_0}{\beta} \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right)}{1 + \frac{s'n_0}{\beta} \int_{T_0}^{T_M} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'}$$

olur. Bu ifade tekrar düzenlendiğinde aşağıdaki sonuç elde edilir.

$$\frac{\beta E}{2kT_M^2} = \left[1 + \frac{s'n_0}{\beta} \int_{T_0}^{T_M} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right] = s'n_0 \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (2.17)$$

Bu denklem Denk.(2.10)'dan aşağıdaki faktör kadar farklıdır.

$$\frac{1}{2} \left[1 + \frac{s'n_0}{\beta} \int_{T_0}^{T_M} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right] = \frac{s'n_0}{s} \quad (2.18)$$

İkinci dereceden kinetikler örneğinde, T_M %1 mertebesinde artar. Ayrıca sabitlenmiş bir E değeri için, β artarken veya s' azalırken T_M artar; sabitlenmiş bir β değeri için ise T_M , E ile doğru orantılı olacak şekilde değişir.

2.4.1.3 Genel derece kinetikler

Birinci ve ikinci derece kinetiklerin uymadığı şartlar için, ara durumlara değinen ve genel derece kinetikleri olarak adlandırılan kinetikler elde edilmiştir. Genel dereceler deneysel yolla çalışılmıştır ve birinci ve ikinci derecelerde zaten varsayıldığı gibi tuzakların tek bir enerji seviyesi olduğu varsayımı ile başlar.

Tek bir enerji seviyesinde bulunan yük taşıyıcıları sayısının (n), n^b ile orantılı olduğunu varsayalım. Bu durumda kaçma olasılık hızı (Furetta, 2003; Furetta and Kitis, 2004; Rasheedy et al., 2006).

$$\frac{dn}{dt} = -s'' n^b \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.19)$$

şeklinde olur, burada s'' ön üstel faktördür.

Denk. (2.19)'a genel derece kinetikleri bağıntısı adı verilir ve b genellikle 1 ve 2 aralığındadır. Ön üstel faktör s'' $\text{cm}^{3(b-1)}$ şeklinde ifade edilir. Bu s'' 'nün biriminin b derecesiyle değişimini vurgulamaktadır. Ayrıca, b=2 olduğunda s'' , s' halini alır.

Denk. (2.19)'den TL yayımını ifade eden bağıntı ortaya çıkarılabilir. Denk. (2.19) yeniden düzenlendiğinde devam eden ifadelere sahip olunur.

$$\frac{dn}{n^b} = -s'' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dt \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned}
\int_{n_0}^n n^b dn &= -\int_0^t s^n \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dt \\
n^{1-b} &= n_0^{1-b} \left[1 + s^n n_0^{b-1} (b-1) t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \right] \\
n &= n_0 \left[1 + s(b-1) t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \right]^{\frac{1}{1-b}}
\end{aligned} \tag{2.21}$$

Bu denklemde

$$s = s^n n_0^{b-1} \tag{2.22}$$

ve burada s, s^{-1} birimine sahiptir.

Bu tanımlamayla, birim değişimi konusundaki zorluk aşılmış olur. Yine de verilen bir doz için s frekans faktörü sabittir ve doz değiştiğinde değişebilir. Bu durumda şiddet $I(t)$ aşağıdaki denklemle verilir:

$$\begin{aligned}
I(t) &= -\frac{dn}{dt} = s^n n^b \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \\
&= s n_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + s(b-1) t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \right]^{\frac{1}{1-b}}
\end{aligned} \tag{2.23}$$

Doğrusal bir $dT = \beta dt$ ısıtma hızı varsayarak, Denk. (2.20)'den aşağıdaki ifade elde edilir:

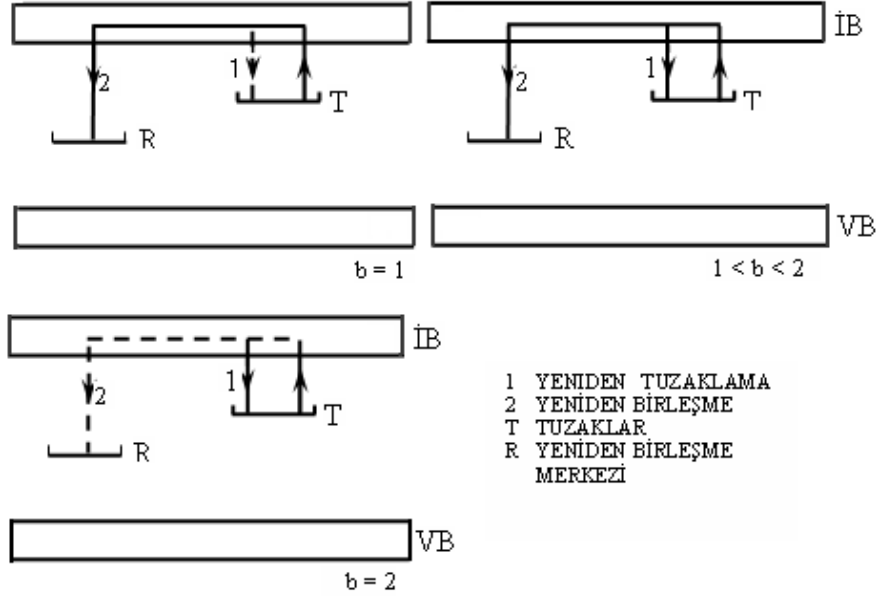
$$\begin{aligned}
\frac{n^{1-b} - n_0^{1-b}}{1-b} &= -\frac{s^n}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \\
n^{1-b} &= n_0^{1-b} \left[1 + \frac{s^n (b-1) n_0^{b-1}}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right]
\end{aligned}$$

(2.22) ifadesi kullanılarak ve her iki tarafın kökü alındığında alttaki ifadeye ulaşılır.

$$n = n_0 \left[1 + \frac{s(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right]^{\frac{1}{1-b}} \tag{2.24}$$

Şiddet $I(t)$ bu durumda aşağıdaki şekilde verilir.

$$I(T) = sn_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \frac{s(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right]^{\frac{b}{1-b}} \quad (2.25)$$



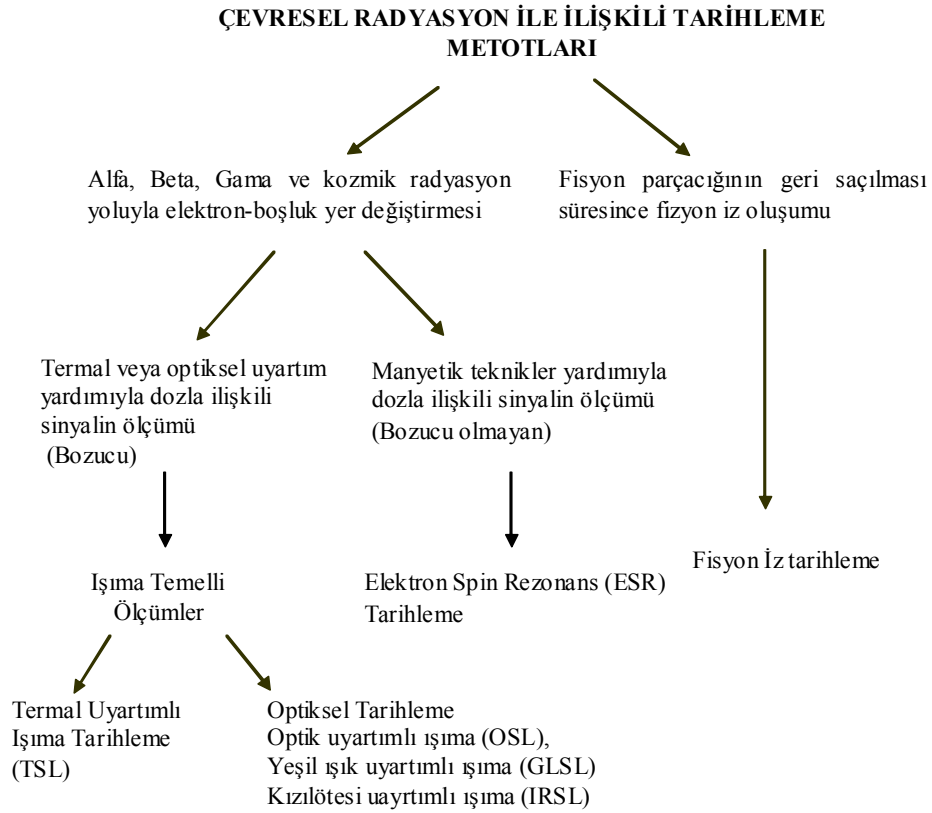
Şekil 2.6 Kinetik dereceler arasındaki farklılıkları gösteren bir taslak

Şekil 2.6 çeşitli kinetikler arasındaki farklılığın nicel bir taslağını vermektedir.

2.5 Işıma Tarihlemenin Prensipleri

Işıma tarihleme çevresel radyoaktif bozunma ile ilişkili tarihleme yöntemlerinden biridir (Şekil 2.7). Işıma tarihlemede kuvars ve feldspat gibi doğal olarak oluşan mineraller çevreden maruz kaldıkları iyonize radyasyonu kaydeden bir dozimetre olarak kullanılabilirler.

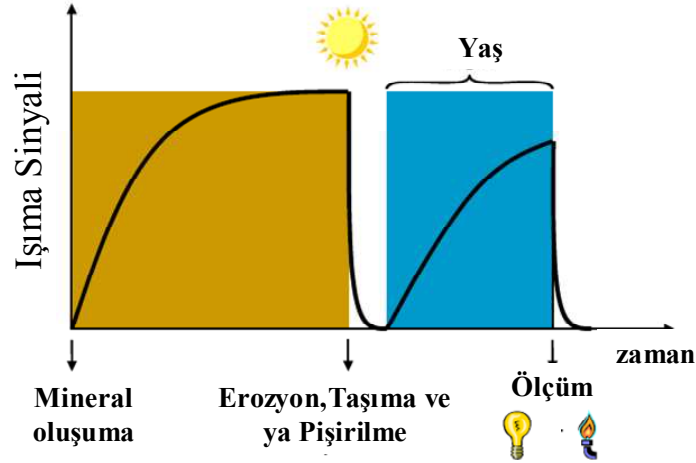
Işıma tekniğinde tarihlendirilecek sedimentin daha önceden sahip olduğu ışıma sinyalinin erozyon, taşınma ve birikme süresince gün ışığına maruz kalarak silindiği kabul edilir (Lian and Roberts, 2006; Miallier et al., 2006).



Şekil 2.7 Çevresel radyasyonla ilişkili tarihleme yöntemlerinin şematik özeti (Stokes, 1999).

Işığa maruz kalmak, ışıma sinyalini tamamen ağartır ya da ağarmayan küçük bir artık kalacak şekilde sıfırlar (Şekil 2.8). Bu olay sıfırlama, resetleme veya ağartma olarak tanımlanır. Tarihlendirilecek

olan zaman bu ışığa maruz kalma olayıdır. Tanecikler, gömülerek ışığa maruz kalmaları önlendikten sonra, katman içindeki doğal olarak bulunan potasyum, uranyum, toryum ve ürünlerinin radyoaktif bozunmalarından kaynaklanan iyonize radyasyona maruz kalarak enerji depolamaya başlarlar. Çok küçük bir katkı da kozmik ışıklardan gelir.



Şekil 2.8 Sedimentin ışıma tarihlemesinin şematik gösterimi.

Sinyal ölçümleri örneğin tarihlendirilecek olan olaydan bugüne kadar soğurduğu iyonize radyasyon dozunun tahmin edilmesinde kullanılır. Bu doz eşdeğer doz (ED) veya paleodoz olarak bilinir ve SI olarak birimi graydir (Gy). Bu tez içinde eşdeğer doz terimi için ED kısaltması kullanılacaktır. Eğer iyonize radyasyonun akısı sabit ise, taneciklerin gömülme zamanı, ED'nin yıllık doza (enerji soğurma hızı) bölünmesiyle hesaplanabilir ve aşağıdaki şekilde yaş denklemiyle ifade edilebilir (Aitken, 1985,1999).

$$Yaş = \frac{\text{Eşdeğer Doz (Gy)}}{\text{Yıllık Doz (Gy/y)}} \quad (2.26)$$

Yıllık doz bazen yıllık radyasyon dozu veya doz hızı olarak da isimlendirilir ve örneğin çevreden maruz kaldığı iyonize radyasyonunun hızına karşılık gelir. Birimi genellikle Gy/ky veya mGy/y olarak ifade edilir. Yıllık doz, örneğin içerisindeki radyoaktif element içeriğinin, ortalama su içeriğinin ve kozmik radyasyon katkısının analiziyle tahmin edilebilir. Bu hesaplamalar Aitken (1985,1990b) tarafından özetlenmiştir.

2.6 Eşdeğer Dozun Belirlenmesi

2.6.1 Işıma sinyali ölçümleri

Bir örneğin eşdeğer doz ölçümü için, TL ya da OSL sinyali kullanılabilir. TL ölçümleri, alüminyum veya çelik disklerle yerleştirilmiş örneğin (yaklaşık 4–6 mg) bilinen sabit bir hızda oda sıcaklığından yaklaşık 450–500 °C'ye ısıtılmasıyla gerçekleştirilir. Ölçümle elde edilen ışımaya sinyalinin büyüklüğünün sıcaklığın fonksiyonu olarak çizilmesiyle oluşan eğriye parıldama (glow) eğrisi adı verilir. Basit olarak parıldama eğrisinde görülen her bir pik malzeme içindeki tek bir tuzaga karşılık gelir. Doğal malzemelerde bu olay daha karmaşıktır ve bir pik üstüste binmiş piklerden oluşabilmektedir. Genel olarak, elektronlar iletkenlik bandının daha derindeki tuzaklarında bulunduğu onları iletkenlik bandına çıkartmak için verilmesi gereken enerji daha büyük olur. Bu nedenle, parıldama eğrisinde yüksek sıcaklık pikleri derin tuzaklara karşılık gelir. Bu pikler düşük sıcaklık piklerine göre daha kararlı oldukları için tarihleme için daha uygundur.

2.6.2 Eşdeğer dozun ölçümü

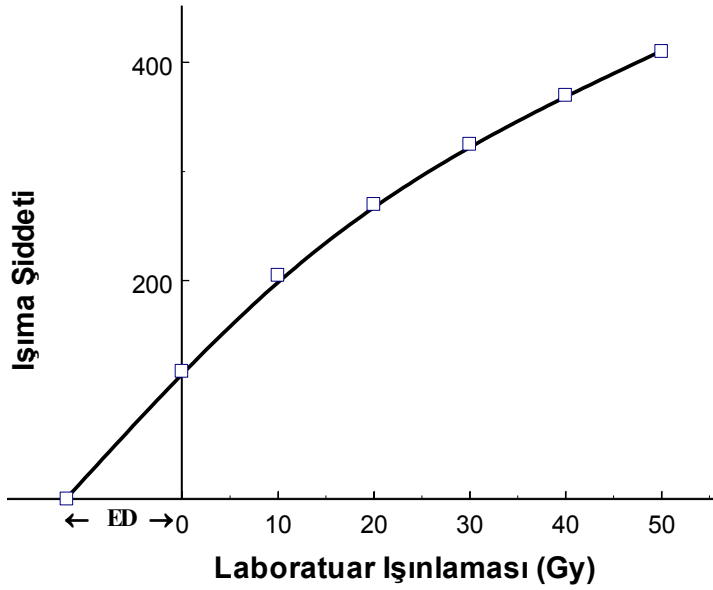
ED genellikle, örneğin doğal sinyaliyle, laboratuvarında kalibre edilmiş bir iyonize radyasyon kaynağına maruz bırakılan aynı örnekten elde edilen ışımaya sinyalinin kıyaslanmasıyla belirlenir. Kalibre edilmiş kaynak genellikle $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ gibi bir beta kaynağıdır. Bu kıyaslama genellikle büyütme eğrileri olarak adlandırılan doz cevap eğrileri kullanılarak elde edilir. Bu eğriler düşük dozda doğrusal olma eğilimindedir. Yüksek dozlarda ise $I = I_{\infty} (1 - e^{-D/D_0})$ ile üstel doyum şeklindedir burada I , D dozundaki ışımaya şiddeti, I_{∞} ulaşılabilen maksimum sinyal ve D_0 ise eğriyi tanımlayan bir parametredir (Wintle, 1997; Murray and Roberts, 1998).

Bir örneğin ED'sinin belirlenmesine yönelik birçok analitik protokoller vardır (Wintle, 1997; Murray and Roberts, 1998). Bu yöntemler örnek sayısına bağlı olarak temelde iki ana gruba ayrılabilir: Çoklu örnek ve tekli örnek yöntemi. Birinci yöntemin sediment tarihlemeye uygulamaları oldukça azdır. 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).

2.6.2.1 Tekli örnek tekniği

Tekli örnek tekniğinde ED ölçümlerinde tek bir planşet hazırlanır ve tüm ölçümlerde aynı örnek kullanılır. Tarihlemeye yönelik eşdeğer doz belirlenmesinde kullanılan doz yöntemleri: Ek doz (additive dose), yenileme doz (regeration dose) ve kısmı ağartma (partial bleaching) yöntemleridir (Wintle, 1997; Lepper et al., 2003; Murray and Mejdahl, 1999).

Ek doz yönteminde, örnek gruplarına doğal sinyalin üzerine laboratuvarda farklı dozlar ilave edilir. Işıma sinyali ek dozların artışıyla artar. Ek doza karşılık sinyal grafiği ek doz büyütme eğrisini verir (Şekil 2.9). Örneğin laboratuvar ışınlamalarına ve gömülü olduğu süre içindeki doğal ışınlamalara duyarlılığının aynı olduğu varsayılır. Fonksiyon verilere uyarlanır ve ED uyarlanan çizginin sıfıra uzatılmasıyla elde edilir. Bu tekniğin tekli örnek için geliştirilmiş olanı tekli örnek ek doz yöntemi olarak (Single Aliquot Additive Dose -SAAD) isimlendirilmiştir. Bazı sedimentlerde, ışıma sinyalleri depozisyon sırasında tamamen ağarmaz.

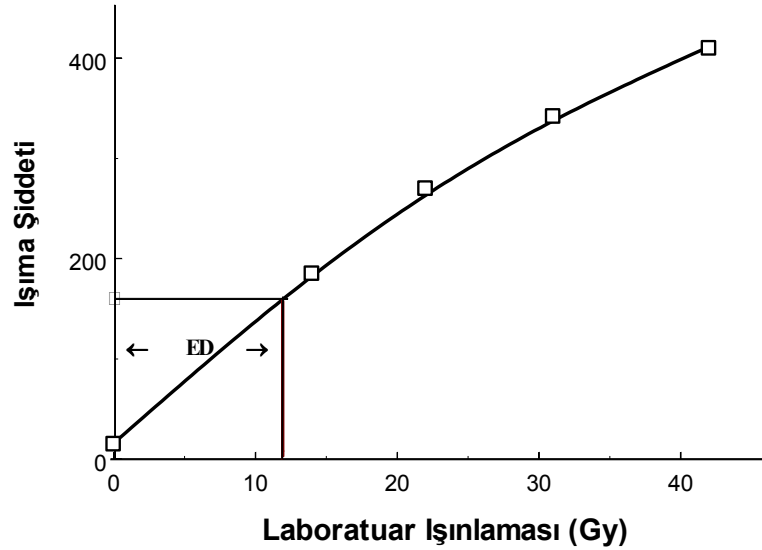


Şekil 2.9 Ek doz yönteminde elde edilen örnek bir büyütme eğrisi.

Bu durumda, çizilen çizgi sıfır yerine artık bir değere doğru uzatılır. Bu değişiklik toplam ağartma modeli olarak bilinir ve 1996 yılında Duller tarafından geliştirilmiştir (Duller, 2004). Ek dozun dezavantajı ED'nin belirlenmesinde ekstrapolasyon uygulanmasıdır. Bu matematiksel ifadeler

ED'un değerinde büyük hatalara yol açabilmektedir (Wintle, 1997; Lepper et al., 2003; Murray and Mejdahl, 1999).

Yenileme yönteminde, hazırlanan örneğin doğal ışımaya sinyalini ölçülür. Daha sonra aynı örneğe laboratuvarda çeşitli radyasyon dozları verilir ve tekrar ışımaya sinyalleri ölçülür. Bu verilerden yararlanarak bir büyütme eğrisi (cevap eğrisi) izilir. ED, doğal ışımaya sinyali ile laboratuvar ışınlamasıyla meydana gelen ışımaya sinyalinin karşılaştırılmasıyla hesaplanır (şekil 2.10).

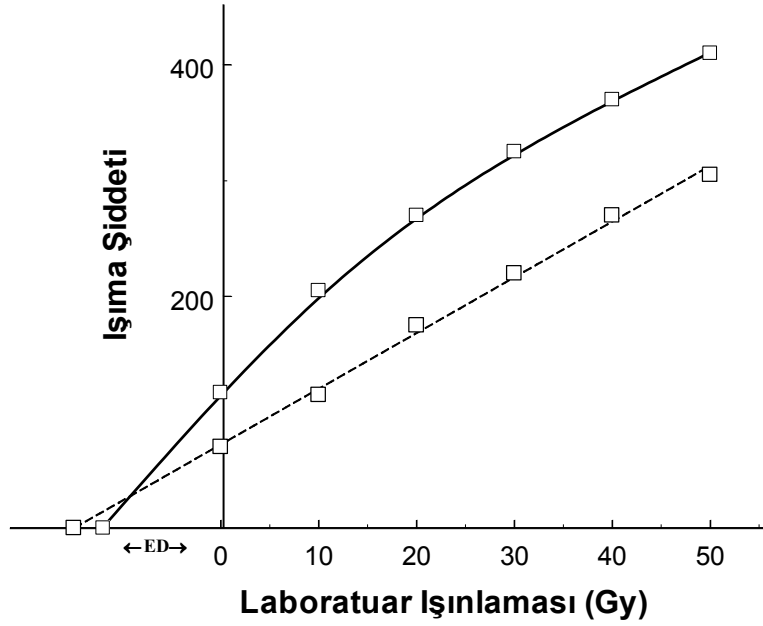


şekil 2.10 Yenileme yönteminde elde edilen örnek bir büyütme eğrisi.

Tekli rnek için bu yöntem tekli örnek yenileme yöntemi (Single Aliquot Regeneration-SAR) olarak isimlendirilir. Bu yöntemde büyütme eğrisini ekstrapole etmeye gerek yoktur ve değer belirlemede daha güvenilirdir. Büyütme eğrisinin kesin şekli ve seçilen matematiksel fonksiyonu önemsizdir ve bu nedenle ED'un güvenilirliği artar. Doğruluk, laboratuvar sıfırlama işlemi sırasında herhangi önemli bir

duyarlılık değişiminin olup olmamasına bağlıdır (Wintle, 1997; Lepper et al., 2003; Murray and Mejdahl, 1999; Duller, 1994a).

Kısmi ağartma yöntemi ek doz yönteminin değişik bir biçimidir (Liritzis, 2000a; 2000b). Hazırlanmış örneklerin yarısı kullanılarak yukarıda belirtildiği gibi bir ek doz büyütme eğrisi çizilir. Daha sonra bu örnekler, ışıma sinyali ölçümünden önce ışığa duyarlı ışıma sinyallerinin bir kısmını temizlemek için kısa bir süre ışığa maruz bırakılır. Bu kısmen ağartılmış örnekler ikinci bir doz eğrisi çizmek için kullanılır ve ED iki eğrinin kesişiminden hesaplanarak bulunur (Şekil 2.11). Bu protokol birikim sırasında taneciklerin ağarmasına bağlıdır.



Şekil 2.11 Kısmi ağartma yönteminde elde edilen örnek bir büyütme eğrisi.

2.6.2.2 Çoklu örnek tekniği

TL tarihleme için geliştirilen ilk teknik çoklu örnek tekniğidir. OSL'nin ortaya çıkışıyla OSL tarihlemede de uygulanmaya başlanmıştır. Bu teknikte örneğin eşdeğer dozunun belirlenmesi aşamasında altılı ya da sekizli gibi çoklu örnek grupları hazırlanır. tarihlemeye yönelik eşdeğer doz belirlenmesinde çoklu örnek tekniği içinde doz yöntemleri: Ek doz (additive dose), yenileme doz (regeration dose) ve kısmı ağartma (partial bleaching) yöntemleridir. Ayrıca Avustralyalı kaydırma yöntemi ve ek doz üzerine tekli örnek yenileme (Single Aliquot Regeneration on Additive Dose-SARA) yöntemi gibi özel teknikler de rapor edilmiştir. Bu teknik ED'un belirlenmesinde birçok diske ihtiyaç duyulduğu için çoklu örnek yöntemi olarak kabul edilmektedir (Wintle, 1997; Lepper et al., 2003; Murray and Mejdahl, 1999).

Yukarıda da bahsedildiği gibi tekli örnek yöntemlerinde bir ED'un tahmini için bir örneğe ait tek bir planşet yeterlidir. Çoklu örnek tekniğinde ise bir örneğe ait çok sayıda planşet kullanılır. Tüm işlemler için kullanılan bütün planşetlerdeki örneklerin özdeş oldukları kabul edilmektedir. Ancak pratikte ise bu durum pek olası değildir. Çoklu örnek yönteminin diğer bir dezavantajı ise bir analizin tamamlanması için daha fazla süreye ihtiyaç duyulmasıdır (Murray and Wintle, 2000; Murray and Wintle, 2003; Fattahi and Stokes, 2005).

Çoklu örnek yöntemiyle kıyaslandığında tekli örnek yöntemi birçok avantaja sahiptir. Birinci avantaj bu yöntemde çok az örneğe ihtiyaç duyulur. Bu özellikle arkeolojik örnekler için oldukça önemlidir. Bazı sediment örnekleri için de -örneğin, K-feldspat kullanılan tarihleme çalışmalarında toprakta az miktarda bulunduğu için- miktar önemli olabilmektedir. İkinci bir avantaj, bu yöntemin normalizasyon

gerektirmemesidir. Normalizasyon yapılmadığı içinde sistematik hatalar ve analiz zamanı bu teknikte azalır. Diğer bir avantajı ise her bir plâşetteki örneğin doğal sinyali laboratuvar ışınlamasıyla elde edilen sinyalle kıyaslandığı için, örneklerin arasındaki ışınma karakteristiklerindeki farklılıklar ortadan kaldırılmış olur. Böylece bu teknikte her bir plâşetten elde edilen ED değerinin hassasiyeti artar.

Çoklu örnek yönteminde de ek doz ve yenileme yöntemleri uygulanmaktadır. Çoklu örnek ek doz yönteminde (Multiple Aliquot Addive Dose-MAAD) ve çoklu örnek yenileme yönteminde (Multiple Aliquot Regeneration Dose-MARD) tekli örnek tekniğinde uygulanan prosedürlerin aynısı uygulanmaktadır. Tek farklılık her işlemin çoklu örnek gruplara uygulanmasından dolayı normalizasyon yapılmasının gerekmesidir. (Wintle, 1997; Murray and Roberts, 1998; Murray and Wintle, 2000; Murray and Wintle, 2003; Fattahi and Stokes, 2005).

2.7 Yıllık Doz

Jeolojik veya arkeolojik bir örneğin soğurduğu doz, örneğin kendi içindeki ve çevresindeki toprakta bulunan radyoaktif izotoplardan kaynaklanır. Örneğin kendi iç radyoaktivitesi ve çevreden kaynaklanan dış radyoaktivite U, Th ve K içeriği ile ilişkilidir. Bu elementler α ve β parçacıkları ve γ ışınları yayarlar (bakınız Bölüm 2.7.1) ve yıllık doza katkı sağlarlar. Yıllık doza bir diğer katkı ise kozmik ışınlardan gelir. Aşağıda Çizelge 2.1’de verilen konsantrasyonlar için uranyum, toryum, potasyum ve rubidyumdan gelen yıllık doz bileşenleri gösterilmiştir.

Radyasyonun üç tipi de (α , β ve γ) farklı giricilik gücüne sahiptir ve ışınma tarihlemede önemli rol oynar. Bununla birlikte α ve β

parçacıkları düşük giricilik mesafesine sahip olmaları nedeniyle örneğin dış kısmının birkaç milimetre çıkarılması α katkısının tamamının, β katkısının da bir kısmının azalmasına sebep olacaktır (bakınız bölüm 2.7.8 asitle aşındırma).

Bir örnek için yıllık dozun dört bileşeni vardır. Bu bileşenler kD_α , D_β , D_γ ve D_{kozmetik} (D_k). Burada kD_α etkin alfa doz hızını, D_β , D_γ ve D_k ise sırasıyla etkin beta, gama ve kozmik ışın doz hızlarıdır. α parçacıkları ışımda daha az etkilidir. Bu zayıf etki k -değeri ile ifade edilir ve 0,05–0,2 arasında değişir (Aitken, 1985).

Çizelge 2.1 Verilen konsantrasyonlar için yıllık doza potasyum, rubidyum, toryum ve uranyumdan gelen katkının bileşenleri^a (Aitken, 1985).

	Alfa	Beta	Gama
Potasyum	-	2,68	0,79
Rubidyum	-	0,53	-
Toryum			
tüm zincir	182,2	7,06	12,69
radon öncesi	76,1	2,54	5,13
Uranyum			
tüm zincir	217	11,42	8,98
radon öncesi	98	4,77	0,44

^a Yıllık doz bileşenleri 1Bq/kg spesifik ürün aktivitesine sahip örnekler için birim yıl başına mikrogray olarak verilmiştir. (Uranyum değerleri 0,956 Bq.kg⁻¹ U-238 ile 0,044 Bq.kg⁻¹ U-235'in toplamı olarak verilmiştir).

Eşdeğer dozun ölçümünde kullanılan tanecik büyüklüğüne bağlı olarak alfa katkısı değişmektedir. İnce tanecik tekniğinde bu katkı dikkate alınırken çalışmamızda da kullandığımız kuvars kaba tanecik tekniğinde bu katkı ihmal edilmektedir. Beta katkısı ise asitle aşındırma işlemi nedeniyle azalmaktadır. Bunlar dikkate alındığında toplam yıllık doz hızı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

Eşdeğer dozun ölçümünde kullanılan tanecik büyüklüğüne bağlı olarak alfa katkısı değişmektedir. İnce tanecik tekniğinde bu katkı dikkate alınırken çalışmamızda da kullandığımız kuvars kaba tanecik tekniğinde bu katkı ihmal edilmektedir. Beta katkısı ise asitle aşındırma işlemi nedeniyle azalmaktadır. Bunlar dikkate alındığında toplam yıllık doz hızı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

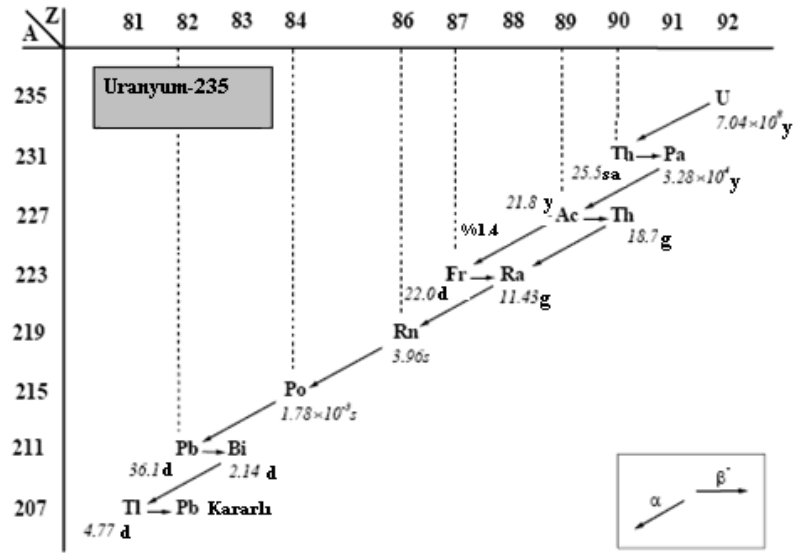
$$D=0,90xD_{\beta}+D_{\gamma}+D_k \quad (2.27)$$

Bir diğer önemli bir etki ise Bölüm 2.7.6'da ayrıntılı olarak açıklanan nem etkisidir. Ölçümlerde doz hızları kuru örnekler için belirlendiğinde, denklem 2.29-2.30'deki su düzeltmesi yapıldıktan sonra denklem 2.27'ye yerleştirilir.

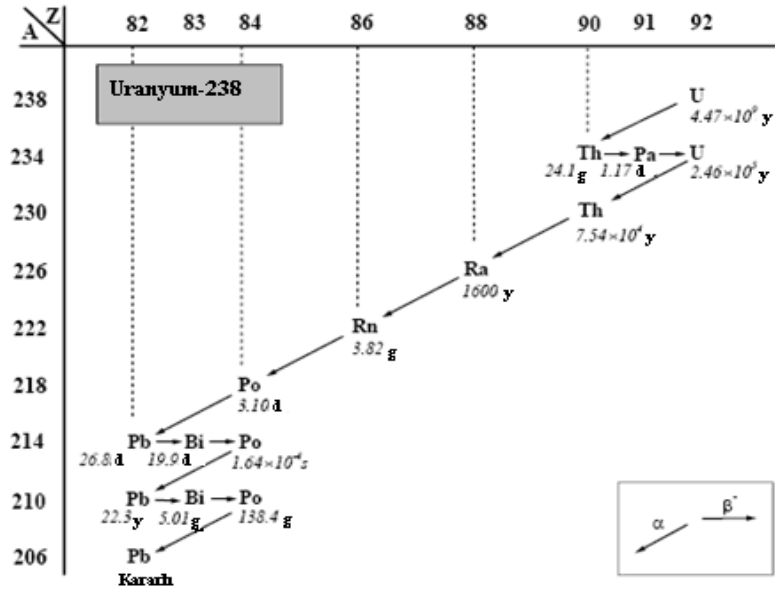
2.7.1 Doğal Radyoaktivite

Yıllık doz sedimentin çevresindeki nükleer radyasyon akısından soğurduğu doz hızına karşılık gelmektedir. Bu radyasyon doğada bulunan uzun ömürlü radyonüklitler ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U ve ürünleri, ^{40}K ve ^{87}Rb , ve kozmik radyasyondan kaynaklanmaktadır. Bu radyonüklitlerin radyoaktif bozunumları Şekil 2.12-2.15'de görüldüğü gibi alfa parçacıkları, beta parçacıkları ve/veya gama ışınları yayımıyla gerçekleşir.

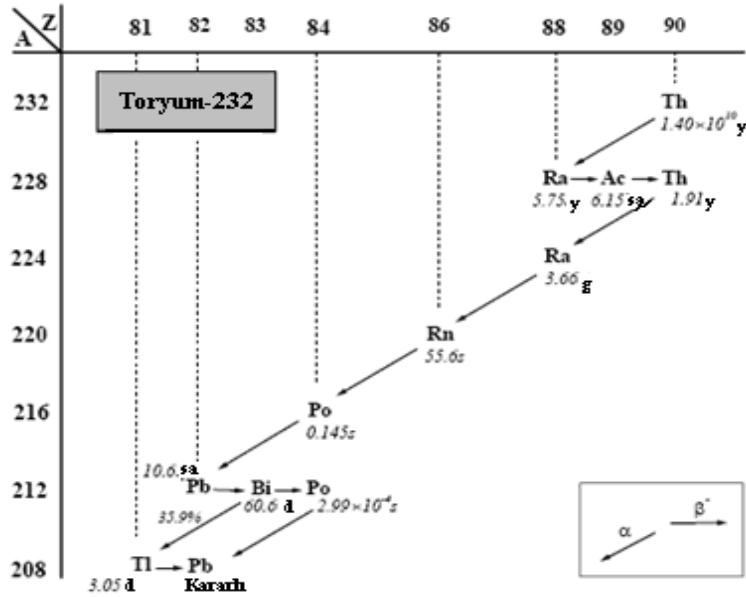
Işıma tarihleme yöntemi açısından bu üç radyasyon çeşidinin farklı gericilik güçleri çok önemlidir. Alfa ve beta parçacıklarının katkıları kısa menzilleri nedeniyle (sırasıyla 10^{-2} ve 10^0 mm mertebesinde) örneğin hemen çevresiyle sınırlıdır. Bununla birlikte gama ışınları daha yüksek gericilik gücüne ($\sim 30\text{--}50$ cm) sahip olduğundan yıllık doz hesaplamalarında örneğin bulunduğu çevrenin toprak içeriği de önemli bir rol oynar.



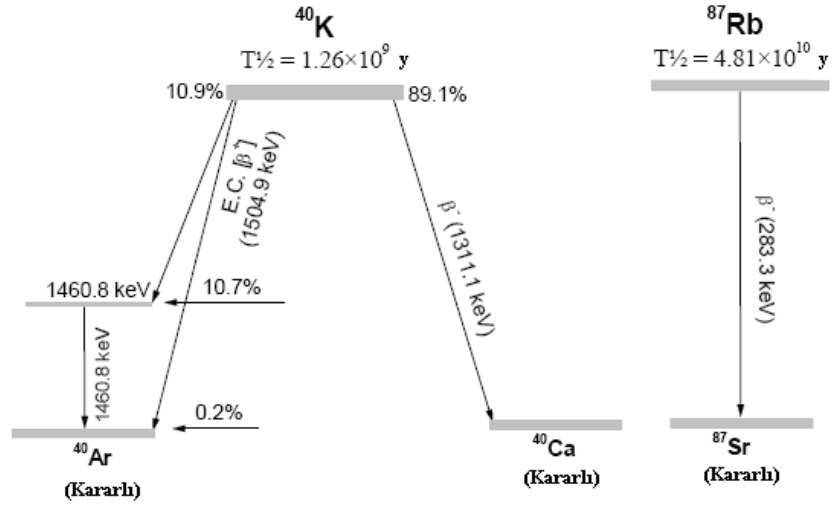
Şekil 2.12 ^{235}U serisinin bozunum şeması. (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir (Hossain, 2003).



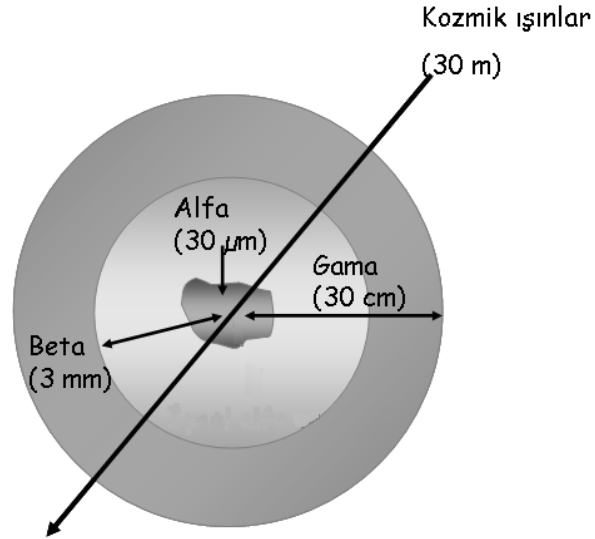
Şekil 2.13 ^{238}U serisinin bozunum şeması. (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir (Hossain, 2003).



Şekil 2.14 ^{232}Th serisinin bozunum şeması (1% den daha az olasılıklı dallanmalar ihmal edilmiştir (Hossain,2003).



Şekil 2.15 ^{40}K ve ^{87}Rb radyonüklitlerinin bozunum şemaları (Hossain, 2003).



Şekil 2.16 Kuvars kaba tanecik tekniğinin sistematik gösterimi.

Işıma ölçümleri için seçilen tanecik büyüklüğüne bağlı olarak doz hızı hesaplarında farklı giricilik güçleri göz önüne alınmaktadır. Zimmermann tarafından geliştirilen ince tanecik (Fine Grain) tekniğinde 4–11 µm tanecik büyüklüğüne sahip mineraller kullanılır (Zimmermann 1967; 1971). Bu tanecik boyutu tüm radyasyon tiplerinin bütün giriciliğini sağlamak için yeteri kadar küçüktür. Kaba tanecik (Coarse grain) tekniğinde seçilen tanecik büyüklüğü yaklaşık 100 µm ve üstü taneciklerdir. Bu teknik ilk olarak Fleming tarafından geliştirilmiştir. Arkeolojik (pottery) tarihlemeye katma (inclusion) tekniğine karşılık gelmektedir (Fleming, 1966; 1970). Bu teknikte örneğin en dış katmanındaki tanecikler asitle uzaklaştırılır böylece çevresel radyoaktiviteden gelen alfa katkısı etkin bir şekilde ortadan kaldırılmış olur (Bölüm 2.7.8). Bu işlem sonucunda sadece gama katkısının tamamı ve beta parçacıklarının oluşturduğu katkının bir kısmı kalır (Şekil 2.16). Bu gösterimde kaba tanecik boyutundaki tanecikler kullanılmış ve kuvars minerallerinin kendi bünyelerinde radyoaktivite bulundurmadığı kabul edilmiştir. Kısa menzilleri nedeniyle alfa parçacıkları taneciklerin sadece en dış katmanına (şekildeki açık gri kısım) doz bırakabilirler. Bu katman hidroflorik asit (HF) ile tanecikler aşındırıldığında uzaklaştırılabilir. Böylece bu taneciklerde ölçülen eşdeğer doz yalnızca daha yüksek giricilik gücüne sahip beta, gama ve kozmik radyasyondan meydana gelir. 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 azalma yıllık doz hesabında dikkate alınır (bakınız denklem 2.27).

2.7.2 Radyoaktif Denge

Yukarıda görülen radyoaktif bozunum zincirlerinde (Şekil 2.12-2.15) her bir ana çekirdek zinciri kararlı bir kurşun izotopu ile

sonlanıncaya kadar kendisi de radyoaktif olan ürün çekirdeğe bozunur. Eğer sistem kapalıysa radyoaktif dengeye ulaşır yani tüm radyonüklitler aynı aktiviteye sahip olur. Böylece

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_i N_i \quad (2.28)$$

ifadesine ulaşılır. Burada $\lambda = (\ln 2)/T_{1/2}$, bozunma sabiti ve N çekirdek sayısıdır. Dallanmış bozunma durumunda, çoğalma dallanma faktörü ile yapılmak zorundadır. Eğer ana radyonüklidin yarı ömrü ürününkünden çok daha uzun ise, zincirdeki her bir ürün radyonüklidin aktivitesi ana radyonüklidin aktivitesine eşit olur. Bu durumda, sistem kapalı ve serideki atom sayılarındaki değişme sadece radyoaktif bozunma ile gerçekleşiyorsa, herhangi bir ürünün aktivitesi ölçülerek serinin diğer elemanlarının veya ana radyonüklidin aktivitesi bulunabilir. Burada denge süresinde belirleyici olan ürün radyonüklittir. Buna ilişkin bir örnek ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1600$ yıl) ve ^{222}Rn ($T_{1/2} = 3.83$ gün) ana ürün radyonüklit çifti için verilebilir. Bu radyonüklitler yaklaşık bir aylık bir süre sonunda dengeye ulaşırlar.

2.7.3 Radyoaktif Dengesizlik

Yaş denklemi düşünüldüğünde (denklem 2.26) sıfırlama işleminden bu yana geçen sürede yıllık dozun sabit kaldığı kabul edilmektedir. Bu önerinin geçerli olabilmesi için örneğin herhangi bir radyonüklidin ilave edilmediği ya da çıkarılmadığı kapalı bir sistem içinde bulunması gerekir. Bu duruma en iyi örnek, radyoaktif dengeye ulaşmış U ve Th bozunum zincirleri için yeteri kadar uzun süre kapalı kalmış bir sistemde bulunmuş numunedir. Bu gibi bir durumda, her bir ürünün aktivitesi (birim zamandaki parçalanma sayısı) ana radyonüklidin aktivitesine eşit olur. Ana radyonüklidin çok uzun yarı ömre sahip olması nedeniyle U ve Th bozunum zincirlerindeki tüm ürünler doz hızına zaman içinde sabit kalan bir katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte bazı

süreçlerde ürün ilavesi ya da çıkarılmasıyla bu denge şartlarında bozulma meydana gelebildiği de gözlenmiştir. Bu gibi durumlar radyoaktif dengesizlik olarak ifade edilir ve Krbetschek ve arkadaşları (1994), Prescott ve Hutton (1995) ve Olley ve arkadaşları (1996) tarafından ışıma tarihlendirme konusundaki çalışmalarda örnekleri verilmiştir (Hossain, 2003; Vandenberghe, 2003; De Corte et al., 2005). En yaygın dengesizlik ^{238}U bozunum zincirinde ^{222}Rn gazının kaçmasıdır. ^{222}Rn 3.82 gün yarı ömre sahip bir asal gaz olduğu için sedimentin içine, özellikle de gözenekliyse, kolayca difüze olabilir. Dengesizliğin diğer çeşitleri ^{226}Ra (çözünürlüğü nedeniyle), ^{234}U (zayıf bağlı olması nedeniyle) ve ^{210}Pb (yer yüzeyinden ^{222}Rn 'nin sabit akımı nedeniyle yüzey katmanlarında artabilir) örneklerini içermektedir. ^{232}Th bozunum zincirindeki radyoaktif dengesizlik ise hareketli olma eğilimlerine sahip radyonüklitlerin yarı ömürlerinin çok kısa olmaları nedeniyle genellikle önemsizdir. ^{235}U bozunum zincirinde meydana gelen dengesizlik düşük bolluğu ve toplam doz hızına düşük katkısı nedeniyle ihmal edilir. Radyoaktif dengesizlik durumunda, ancak dengesizliğin derecesi sabit kalıyorsa veya dengesizlik gömülü olduğu periyot içinde ihmal edilebilecek kadar küçükse, tarihlendirilecek süreç içinde doz hızı sabit kalacaktır. Diğer tüm durumlarda, denge şartları tekrar sağlanana kadar doz hızı zaman ile değişecektir. Her bir radyonüklidin konsantrasyonlarını –ve böylece denklemin derecesini- ölçmek ve kesin bir güven mertebesiyle kapalı bir sistemdeki doz hızının zamanla değişimini hesaplamak olasıyken, dengesizliğin geçmişte tam olarak ne zaman ortaya çıktığının tahmin edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle ışıma tarihlendirmede, durumu daha basitleştirmek için doz hızı belirlendiğinde, bazı varsayımlar yapılır. Olley ve arkadaşları tarafından bozunma zincirinin daima dengede olduğu ya da şu anki doz hızının örneğin gömülü olduğu tüm periyot süresince geçerli olduğu şeklinde yaygın iki varsayım öne sürülmüştür (Olley et al., 1996). İlk varsayım sadece ana konsantrasyonlar

belirlendiğinde (örneğin NAA ve ya ICP-MS kullanılarak) tam olarak yapılabilir. İkinci varsayım ise doz hızı sadece ana (örneğin NAA ve ya ICP-MS kullanılarak), sadece ürün (örneğin alan gama spektrometresi kullanarak) ya da ana ürün karışık toplam radyoaktivite ölçümlerini (örneğin alfa sayımı, beta sayımı veya ışın dozimetreleri) kullanarak türetildiğinde tam olarak yapılabilir. Hangi varsayım yapılırsa yapılsın, değerlendirilecek olan yaşın doğruluğuna izin verdiği için dengesizliğin farkına varılabilmesi istenir. Bu, yüksek çözünürlüklü gama spektrometresi ve/veya alfa spektrometresi ile başarılabilir.

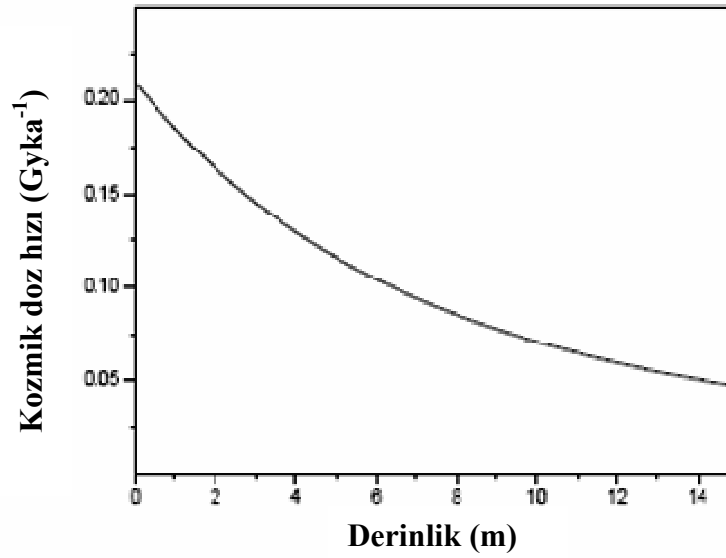
2.7.4 Kozmik Radyasyon

Kozmik radyasyon öncelikle uzaydan gelir ve genellikle protonlardan ve alfa parçacıklarından kaynaklanır. Kozmik radyasyon bileşeni çoğunlukla müonlardan medyana gelir. Deniz seviyesinde, enleme düşük bağımlılık gösterir ve şiddeti ekvatorundan 40° enlemine doğru giderken %7 artar. Daha yüksek enlemlerde pratikte sabit kalır. Sadece bir kilometrenin üzerindeki yüksekliklerde şiddet enleme belirgin bir bağımlılıkla rakımla hissedilebilir ölçüde artar (Prescott and Hutton, 1994).

Kozmik ışınların uzun süreli değişimlerinin doz hızını nasıl etkileyebileceği ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Jeomanyetik dipol (çiftkutup) değişimleri nedeniyle doz hızına kozmik ışınların katkısındaki değişimin geçen 80 bin yıl içinde %3'ten fazla artmadığı ve daha önceki zamanlar içinde de bu artışın muhtemelen daha büyük olmadığı bulunmuştur. Buna ek olarak, kozmik ışınların 35° üzerindeki jeomanyetik enlemlerdeki bölgelerde jeomanyetik alandaki değişimlere duyarız gibidir. Bununla birlikte deniz seviyesinin üzerindeki daha yüksek enlemlerde daha büyük etkiye sahiptir. Bu oldukça küçük düzeltme faktörleri ve genellikle toplam doz hızına kozmik ışının küçük

katkıları göz önüne alındığında ekvatora yakın büyük enlemlerde bulunan bölgeler hariç uzun süreli değişimler için düzeltmenin gereksiz olduğu sonucuna varılmıştır. Kozmik ışınlar genellikle doğrudan ölçülmez. Yerin altında herhangi bir derinlikte, 5 km üzerindeki herhangi bir yükseklikte (rakımda) ve herhangi bir jeomanyetik enlemdeki kozmik doz hızının hesaplanmasına ilişkin ifadeler literatürde mevcuttur (Prescott ve Stephan, 1982).

Şekil 2.17 kozmik doz hızının derinliğe bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir. Burada yüzeydeki değerin 15 m derinlikte yaklaşık %80 düştüğü görülmektedir.



Şekil 2.17 Toprak derinliğine bağlı olarak kozmik ışınların doz-hızı. Değerler 53° jeomanyetik enlemden, deniz seviyesinden 25 m yükseklikte ve 1,8 g/cm³'lük yoğunluğa sahip sediment için hesaplanmıştır (Prescott and Stephan, 1982; Prescott and Hutton, 1994; Vanderberghe, 2003).

Yerin x derinliğinde ve 55° jeomanyetik enlemde bulunan bir örnek için kozmik radyasyon katkısı aşağıdaki ifade ile verilmektedir (Prescott and Hutton, 1988):

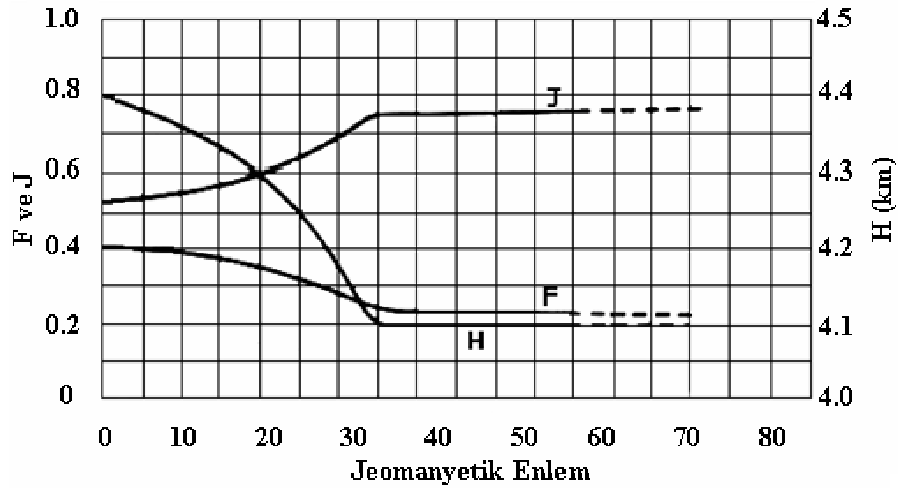
$$D_0 = 0,21 \exp(-0,070x + 0,0005x^2)$$

Bu formülde D_0 , Gy.ky^{-1} ve x hg.cm^{-2} 'dir. Bu kozmik doz değerinin örneklemenin yapıldığı enlem, rakım ve toprak yoğunluğuna bağlı olarak düzeltilmesi gerekmektedir. Prescott ve Hutton (1994) tarafından yapılan bir çalışma ile D_0 aşağıdaki ifade kullanılarak düzeltilmiştir.

$$D = D_0 [F + J \exp(h/H)]$$

F, J ve H parametreleri Şekil 2.18 kullanılarak belirlenmiştir.

Örneklere ait rakım (h) ve toprak yoğunluğu değerleri ve yukarıdaki ifadeler kullanılarak kozmik radyasyon katkısı hesaplanmıştır.



Şekil 2.18 Rakım ve jeomanyetik enlemin fonksiyonu olarak kozmik doz hızının bulunmasında kullanılan $D_0 = D[F + J \cdot \exp(h/H)]$ ifadesindeki parametreler (Prescott and Hutton, 1988; 1994; Prescott and Stephan, 1982).

2.7.5 Yıllık dozun belirlenmesinde kullanılan teknikler

Son yıllarda yıllık dozun belirlenmesine yönelik çeşitli analitik teknikler önerilmiştir (Hossain, 2003). Bu teknikler, doz hızının ya dolaylı ya da doğrudan belirlenmesine göre iki kategoriye ayrılmaktadır. İlk kategoriye ait analiz teknikleri nötron aktivasyon analizi (NAA), indükleyici çifleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS), alfa sayımı, beta sayımı ve gama spektrometresi olarak sıralanabilir. Bu teknikler dolaylı olarak tanımlanır çünkü bu tekniklerle öncelikle bir radyonüklit konsantrasyonu (mg.kg^{-1} veya Bq.kg^{-1} olarak) veya bir sayım hızı elde edilir. Daha sonra bu değerler ve belirli katsayılar kullanılarak birim zaman ve kütle başına yılda soğurulan enerjinin (mGy/y) belirlenmesi gerekir. Bu dönüşüm nükleer veri tablolarında belirtilen radyasyonlar ve yayımladığı parçacıkların enerjilerinin ölçülmesine dayanan faktörlerin kullanımıyla yapılmaktadır (Adamiec and Aitken, 1998).

Yıllık doz yüksek duyarlılıkta ışın dozimetreleri kullanılarak doğrudan da (yani mGy.y^{-1} olarak) belirlenebilir. Bu gibi bir değerlendirilmenin prensibi yaş tayini için kullanılanın aynısıdır. Bir ışın fosforu ilk olarak sıfırlanır ve daha sonra sedimentin içerisine gömülür. Burada kaldığı süre boyunca doğal radyoaktiviteye maruz kalır ve böylece belirli bir miktar doz soğurur. Daha sonra bu soğurulan doz Bölüm 3.3.2’de açıklandığı gibi ışın sinyalleri kullanılarak belirlenir. Dozimetrenin tam olarak ne kadar süre gömülü kaldığı bilindiği için yıllık doz basitçe dozimetrenin biriktirdiği toplam dozun gömülü kaldığı süreye bölünmesiyle hesaplanabilir. Fosfor laboratuvar zaman skalasında uygulanılacak ölçümlere izin verecek yeterli duyarlılığa sahip olmalıdır. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ TL dozimetresi (TLD) uygun dozimetreye bir örnektir. Her tekniğin kendine has üstünlükleri vardır. Yöntemlerin eksiklikleri göz

önüne alınarak birkaç tekniğin kombinasyonunu kullanmak avantajlıdır. Bu çalışmada dolaylı yöntem olarak gama spektrometresi, doğrudan yöntem olarak da α -Al₂O₃:C TLD'ler kullanılmıştır. Bu teknikler ile ilgili daha ayrıntılı açıklama Bölüm 3.3'te verilmiştir.

2.7.6 Nem etkisi

Sedimentin gözenekleri arasındaki su, mineral taneciklerine ulaşabilecek radyasyonun bir kısmını soğurur. Nükleer tablolar kullanılarak suyun soğurma katsayısı, silikatlarla karşılaştırarak, alfa radyasyonu için %50'den, beta radyasyonu için %25'ten ve gama radyasyonu için ise %14'ten daha yüksek olarak hesaplamıştır (Zimmermann, 1971). Bu değerler beta ve gama radyasyonları için Aitken ve Xie (1990) tarafından yeniden bulunmuştur. Özellikle beta radyasyonu için Zimmermann'ın önerdiğinden biraz farklı değerler bulunmuştur. Pratikte yukarıdaki ifadelerin anlamı nemli sediment içindeki doz hızının kuru sedimente göre daha az olduğudur. Sonuç olarak örnek doğada nemli ortamda bulunurken yıllık doz kuru malzemenin ölçümlerinden elde edildiğinde, nem etkisi dikkate alınmalıdır; aksi takdirde yaş tahmininde hatalara neden olabilmektedir. Burada önemli olan örnekleme zamanında nem içeriği belirlenmesine rağmen, uygun olanı sedimentin gömülü olduğu tüm süre boyunca ortalama nem içeriğinin belirlenmesidir. Eğer nem içeriği iklim değişimleri, mevsimsel değişimler veya insan aktiviteleri gibi nedenlerle dalganabiliyorsa, bu durumda nem ölçümlerinin de düzeltilmesi gerekebilir. Su içeriğindeki değişimin nasıl olduğu hakkındaki belirsizlik (sedimentin daima kuru veya doymuş olması durumları hariç) ışıma tarihlendirme yöntemi ile elde edilen hassasiyet ve doğruluk sınırlarındadır. Örneğin doyuma seviyesi veya gözenekliliği, yaş üzerine bir üst limit koyar. W ile gösterilen gözeneklilik, tamamen doyuma ulaşmış bir

örneğin su kütlesinin kuru örnek ağırlığına oranından belirlenir. Sedimentler için doygunluk seviyesi tipik olarak %20-40 aralığında değişir. Tabii ki bu noktada örneğin gömülü olduğu süre içinde doygunluk seviyesine ne kadar yaklaşmış olduğu sorusu ortaya çıkar. F doygunluk kesri gömülü olduğu tüm süre içindeki varsayılan ortalama su içeriğine karşılık gelir.

$$W = \frac{W_d - W_k}{W_k} \qquad F = \frac{W_y - W_k}{W_d - W_k}$$

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, yaş doz hızları aşağıdaki uygun faktörler kullanılarak elde edilebilir.

$$D_\alpha = \frac{D_{\alpha,kuru}}{1 + 1,50xWxF} \qquad (2.29)$$

$$D_\beta = \frac{D_{\beta,kuru}}{1 + 1,25xWxF} \qquad (2.30)$$

$$D_\gamma = \frac{D_{\gamma,kuru}}{1 + 1,14xWxF} \qquad (2.31)$$

2.7.7 Verim

Işımaya neden olan hem beta hem de gama radyasyonu aynı verime sahiptir, yani özdeş beta veya gama dozu verildiğinde aynı ışınma sinyali elde edilir. Bununla birlikte alfa radyasyonuna maruz bırakılan bir fosforun ışınma verimi merteye olarak daha düşüktür. Bunun nedeni α -

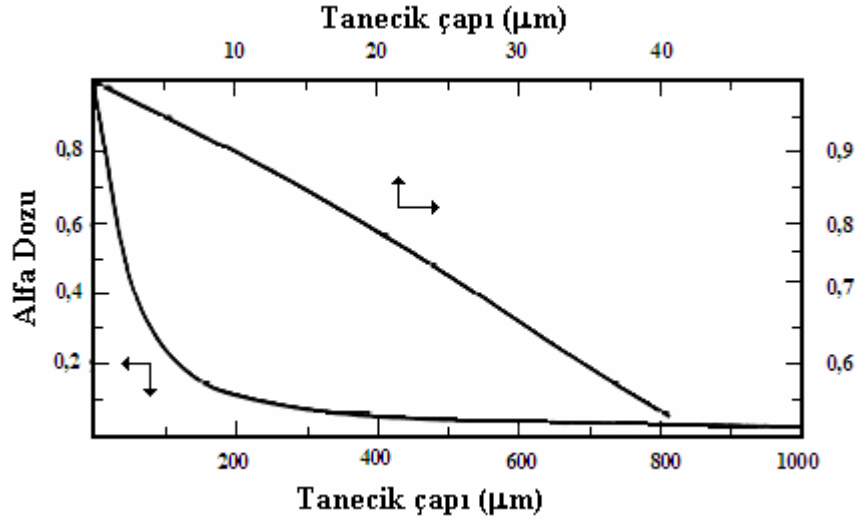
parçacıklarının güçlü iyonizasyon özelliğinden kaynaklanmaktadır. Ürettikleri iyonizasyon yoğunluğu o kadar büyüktür ki kuvars kristaline giren alfa parçacıklarının yolları boyunca uzanan elektron tuzakları doygunluğa ulaşmış olacaktır.

Daha büyük gericilik gücüne sahip olması ve buna bağlı olarak daha uzun mesafelere eşit olarak dağılan bir iyonizasyona neden olan beta ve gama radyasyonu ile kıyaslandığında, alfa parçacıklarının iyonizasyonu ile meydana gelen elektronların büyük bir kısmı boşa gitmiş olacaktır. Sonuç olarak soğurulan doz başına meydana gelen ışıma, alfa radyasyonu için oldukça az olacaktır. Bu oran genellikle beta ve gama radyasyonları ile kıyaslandığında 0,5 ile 0,05 arasında bir faktördür. Eşdeğer doz beta radyasyonu kullanılarak ölçüldüğü için doz hesabındaki payı alfa parçacıklarından oldukça düşük bir katkı için yapılmalıdır. Bu da bu katkının alfa ışınlamasının neden olduğu ışımanın beta ışınlamasının neden olduğu ışımaya ilişkilendirildiği verim faktörünün deneysel olarak belirlenmesinin ardından bu faktör ile çarpılmasıyla elde edilebilir. Alfa parçacıklarının düşük etkinliğini açıklayabilmek için Zimmermann (1971) ϵ veya k-değeri, Aitken ve Bowman (1975) a değeri ve Huntley ve arkadaşları (1988) b-değeri gibi katsayılarla ifade edilen birçok yaklaşım vardır (Vandenbergh, 2003). Bu tez çalışmasında deneysel aşamalarda seçilmiş olan kuvars kaba tanecik tekniğinde ise basit fiziksel yöntemler (örneğin asitle aşındırarak) kullanılarak toplam doza alfa parçacıklarının katkısı ihmal edildiği için alfa etkinliğinin belirlenmesine gerek yoktur. Ayrıca kuvars taneciklerinin kendilerinin radyoaktif olmamasından dolayı, yıllık doz hesaplarına sadece beta, gama ve kozmik radyasyondan gelen katkılar göz önüne alınmıştır.

2.7.8 Azalma ve asitle aşındırma

İnce tanecik tekniğinde alfa ve beta parçacıklarının tüm giriciliğini sağlayacak kadar küçük olan tanecikler kullanılır. Sonuç olarak bu teknik kullanıldığında azalma etkisi ihmal edilemez (Vandenberghe, 2003). Diğer yandan kuvars kaba tanecik tekniğinde ise 100 µm çapından daha büyük kuvars tanecikleri kullanıldığı için alfa ve beta radyasyonu bu taneciklerin içinden geçerken önemli ölçüde azalır. Kuvars taneciklerinin kendileri radyoaktif olmadığı için bu azalma örneğe ait yıllık doz hızının çevresinden kaynaklanan doz hızından daha az olmasına neden olur. Asitle aşındırma bu taneciklerin aldıkları alfa ve beta dozlarında bir azalmaya daha sebep olur. Eğer eşdeğer doz bu kuvars tanecikleri kullanılarak belirlenecek olursa daha yüksek yaş tahmini yapmamak için doz hızı denklem 2.27 kullanılarak belirlenir. Bu konular hakkında yetmişlerin sonlarından beri birçok araştırma yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda da Aitken tarafından sunulan genel görüşe (Aitken, 1985) önemli bir ilave yapılmamıştır. Bununla birlikte bu çalışma kuvars kaba tanecik tekniğinin laboratuvarımızda ilk uygulaması olduğu için çoğu önemli bakış açıları aşağıda tekrar edilmiştir. Gama ışınlarının sediment içinde 50 cm'ye kadar giriciliğe sahip olmaları nedeniyle azalmaları ihmal edilebilir. U ve Th bozunum serilerinde yayımlanan alfa parçacıklarının ortalama menzilleri sadece 25 µm mertebesindedir. Bu nedenle alfa radyasyonu kuvars tanecikleri içinden geçerken ciddi bir azalmaya uğrayacak ve aslında kuvars taneciklerinin en iç katmanı ihmal edilebilir bir alfa dozu alacaktır.

Bu nedenle çok küçük tanecikler ile kıyaslandığında, daha büyük 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.



Şekil 2.19 Eşit toryum ve uranyum aktivitelere sahip bir matris içine gömülmüş verilen çapta bir kuvars taneciği için ortalama alfa dozunun değişimi. Şekil Bell (1980) hesaplarına dayanmaktadır ve Aitken (1985)'den alınmıştır.

Buradan anlaşılacağı gibi ince tanecik yöntemi kullanıldığında alfa radyasyonunun yıllık doza katkısı dikkate alınırken, çalışmamızda kullanıldığı gibi, kuvars kaba tanecik yönteminde alfa katkısı ihmal edilmektedir.

2.7.9 ^{87}Rb katkısı

^{87}Rb 'un kuvars kaba tanecik tarihleme içindeki doz hızına katkısı genellikle ihmal edildiğinden şimdiye kadar verilen bilgilerde ^{87}Rb katkısından hiç söz edilmemiştir.. Bunun nedeni rubidyum içeriğinin ışımaya tarihlemeye belirlenememesi ve 1978'de Warren tarafından yapılan çalışmadan beri birçok örnekte karşılaşılan oranlar içinde potasyum rubidyum oranının 200:1 şeklinde seçilmesinin yaygın olmasından kaynaklanmaktadır (Aitken, 1985; Adamiec and Aitken, 1998). Ayrıca

⁸⁷Rb tarafından yayımlanan beta parçacıklarının enerjisi düşüktür ve bu yüzden azalma yüksektir. Sonuç olarak, Rb katkısının, U,Th, K ve kozmik ışınların yıllık doza katkısının yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olması nedeniyle bu çalışmada da Rb katkısı ihmal edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde örnekleme çalışmaları, doktora çalışması boyunca kullanılan TL okuyucu, HPGe yarı iletken detektörlü gama spektrometre sistemi, $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β radyasyon kaynağının kalibrasyonu ve doz hızı hesaplamaları, örnek hazırlama teknikleri ve hazırlanan bu örneklerin yıllık ve eşdeğer doz ölçümlerinde izlenen metotlar hakkında bilgi verilmektedir.

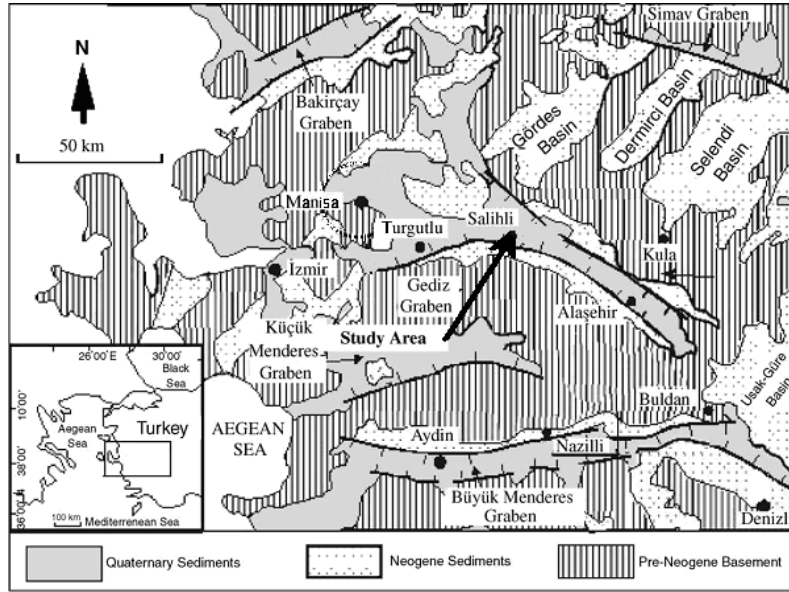
3.1 Çalışma Alanı

Işıma teknikleri genellikle son yakın jeolojik çağa (kuvarterner) ait örneklerin tarihlendirilmesi çalışmalarında verimli ve hassas sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle örnekleme alanları tespit edilirken bu döneme ait sediment örneklerinin kullanılması planlanmıştır.



Şekil 3.1 Sediment örneklerinin alındığı Salihli- Kaletepe mevkiine ait bir resim.

Bununla birlikte örneklerin ışıma tarihleme çalışmalarında kullanılabilmesi için kuvars ve/veya feldspat mineralleri yönünden de zengin olması gerekmektedir. Bu amaçla Salihli ilçesi Kaletepe mevkiine arazi çalışması yapılmış ve sedimentler birikimlerinin hem mineral içeriği yönünden hem de jeolojik olarak tahmin edilen yaşının ışıma teknikleriyle tarihleme çalışmaları için uygun olduğu saptanmıştır. Şekil 3.1’de belirlenen araziye ait bir resim görülmektedir. Kaletepe mevkii Manisa iline bağlı Salihli ilçesine 10 km uzaklıkta 38°29’ kuzey enlemi ve 28°01’ doğu boylamlarında bulunmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Örnekleme alanının konumunu gösteren ait harita (Sözbilir 2002).

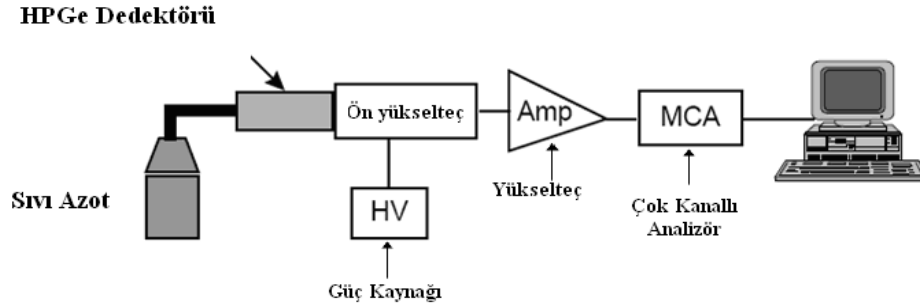
Örnekleme bölgesinde 292 ve 434 m yükseklikte iki alan belirlenmiştir. Bu alanlardan 292 m rakıma sahip olanı kale alt 434 m rakıma sahip olanı kale üst olarak isimlendirilmiştir. Seçilen bu alanlar bir hakkında jeolog yardımıyla yapılan arazi çalışmalarında, bu

örnekleme noktalarının kuvarterner döneme ait olduğu yani ışınma teknikleri için uygun olduğu belirlenmiştir.

3.2 Çalışmada Kullanılan Sistemler

3.2.1 Gama spektrometre sistemi

İncelenen örneklerde ^{232}Th (^{208}Tl ; 2614 keV), ^{238}U (^{214}Bi ; 1764 keV) ve ^{40}K (1461 keV) içeriklerinin saptanmasında kullanılan gama spektrometre sistemi 184 cc HPGe koaksiyel detektör (detektör verimi %25, ^{60}Co 'ın 1.33 MeV gama enerjisi için FWHM: 1.83 keV ve pik/compton oranı 57:1), Ortec Model-671 spektroskopi amplifikatörü ve Canberra PC bazlı MCA (8K) Wilkinson ADC'den oluşmuş ve 100 mm kurşun ile zırhlanmıştır. Bu sistemin şematik diyagramı Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Çalışmada kullanılan gama spektrometre sisteminin şematik gösterimi.

Curie (1968) kriterlerine dayanarak, gama spektrometre sisteminin 30.000 s'de ölçebileceği minimum dedekte edilebilen aktiviteler (MDA) ^{40}K için 27 Bq.kg^{-1} , ^{232}Th için $6,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ve ^{238}U için $6,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Gama spektrometre sisteminin kalibrasyonu, IAEA

sertifikalı S-13 ve S-16 referans materyallerinden örneklere uygun matris ve geometride hazırlanan U, Th ve K standartları (KCl, Merck) ile yapılmıştır.

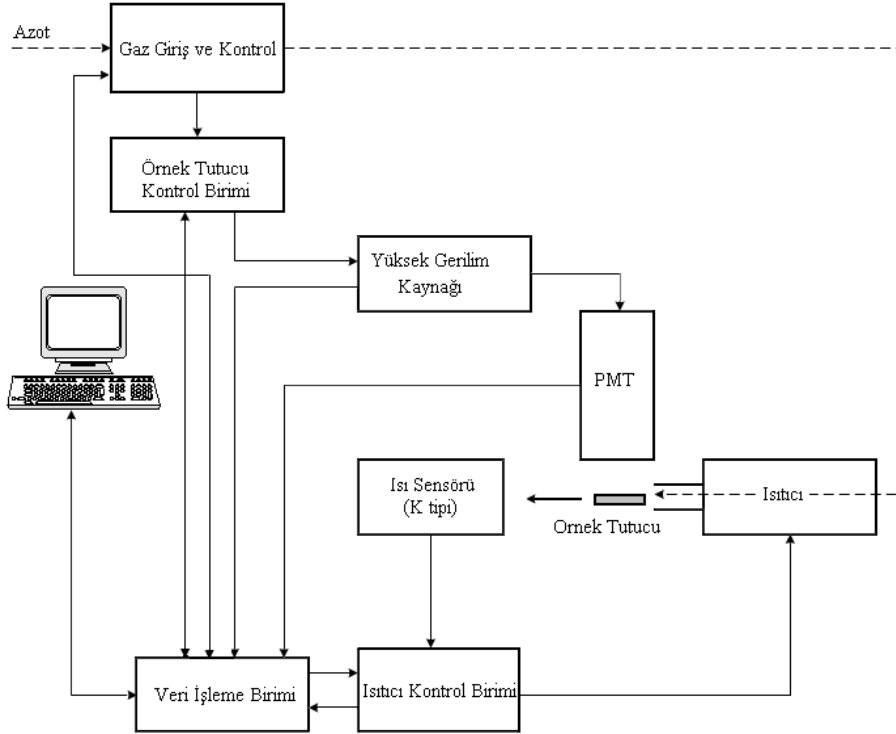
3.2.2 Termoluminesans dozimetre (TLD) okuyucu sistemi

Çalışmada tüm ışıma ölçümleri için Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemi kullanılmıştır. Bu sistem bilgisayar bağlantılı el ile işletilen bir okuyucudur (Şekil 3.4). İki temel bileşeni vardır: TLD okuyucu ve seri iletişim port ile bağlantılı WinREMS (Windows Radiation Evaluation and Management System) programının çalıştırıldığı bir bilgisayar.



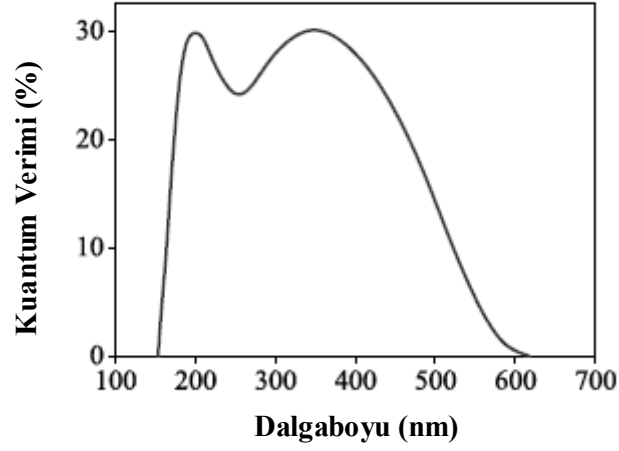
Şekil 3.4 Işıma ölçümlerinin yapıldığı TLD okuyucu sistemi (Harshaw TLD 3500).

Temel olarak TLD okuyucu sistemler örneğin ısıtıldığı, ısıtma süresince meydana gelen ışımının belirlenip toplandığı, elektronik olarak ışıma verilerinin aktarıldığı ve görüntülenerek kaydedildiği kısımlardan meydana gelmektedir (Şekil 3.5). Bu sistemde örnek tablası tek bir örnek için tasarlanmıştır. Isıtma sürecinin kontrolü için K tipi ısıl çift (termocouple) kullanılmıştır. Sistem ile örnekler oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar lineer olarak ısıtılabilir.



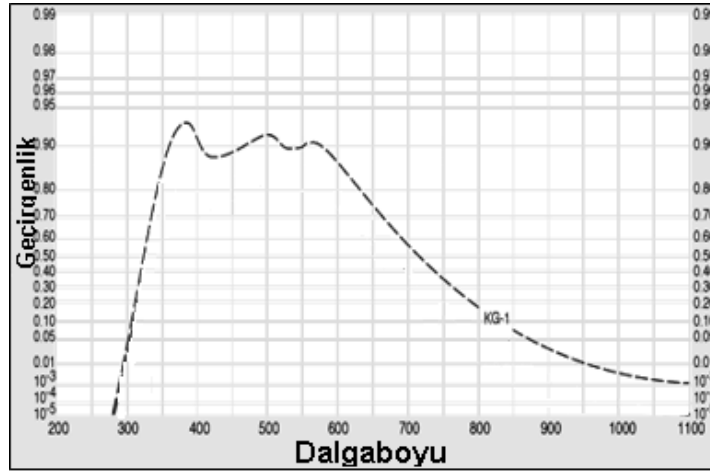
Şekil 3.5 TLD okuyucunun basit bir diyagramı.

Isıtma sonucu örneklerden çıkan ışınım sistemde bulunan bir fotoçoğaltıcı tüp (PMT-EMI 9235QA) kullanılarak belirlenmektedir. Bu PMT 400 nm’de maksimum dedeksiyon verimine sahiptir (Şekil 3.6). Çalışmamızda kullanılan TL dozimetreler ($Al_2O_3:C$ - 420 nm) ve sediment örneklerinden elde edilen kuvars mineralleri (380 nm) bu dalga boyu civarında ışınım verdikleri için bu PMT çalışma için uygundur (Wintle, 1997; McKeever et al., 1995).



Şekil 3.6 Foton dalga boyunun fonksiyonu olarak EMI 9235 fotoçoğaltıcı tüpün kuantum verimi.

PM tübün önüne siyah cisim ışıması olarak adlandırılan ve yüksek sıcaklıklarda oluşan ışıma etkisini azaltmak için ısı soğurucu bir filtre (Schott KG-1) konulmuştur.



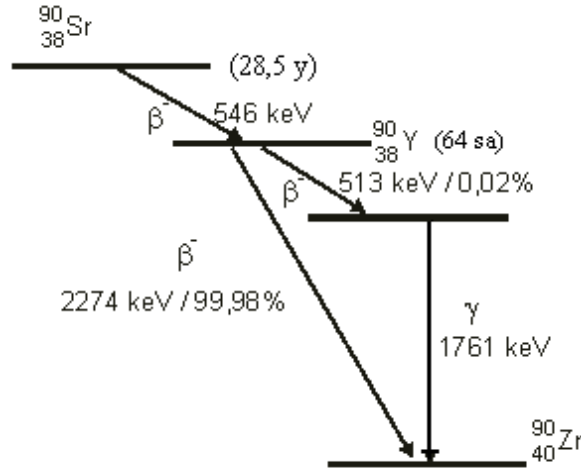
Şekil 3.7 KG-1 filtresinin geçirgenlik spektrumu.

Şekil 3.7’de bu filtreye ait geçirgenlik spektrumu görülmektedir. Ayrıca sistemde PM tübe çok yüksek şiddette ışına gelmesi durumunda tüpün korunması için üretici firma tarafından nötral yoğunluklu filtre kullanılmıştır.

PM tüpten gelen ışına sinyalleri yükseltilerek WinREMS programının olduğu bilgisayar aracılığı ile görüntülenmekte ve kaydedilmektedir.

3.2.3 Beta kaynağının kalibrasyonu

Laboratuvarda hem yıllık hem de eşdeğer dozun belirlenmesi aşamalarındaki ışınlamalarda 28 yıl yarı ömre ve 650 MBq aktiviteye sahip $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 ^{90}Sr radyonüklitinin bozunum şeması.

İlk olarak beta kaynağının çalışmada kullanılacak her bir malzeme için verdiği eşdeğer dozun belirlenmesi için kalibrasyonu yapılmıştır. Bu kalibrasyon aşamasında Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM), SSDL'de (Sekonder Standart Dozimetri Laboratuvarı) Cs-137 kaynağı ile ışınlanan ince ve kalın Al₂O₃:C TL dozimetreler ve 200-250 µm tanecik boyutlarındaki stabilize kuvars örnekleri kullanılmıştır. Bu kurumda ince ve kalın Al₂O₃:C TL dozimetreler 10 mGy, kuvars mineralleri ise 250 mGy'lik dozlara maruz bırakıldıktan sonra laboratuvardaki TLD okuyucu ile parıldama eğrileri kaydedilmiştir. Aynı malzemeler sıfırlandıktan sonra ince ve kalın Al₂O₃:C TL dozimetreler 10 s'lik, kuvars mineralleri ise 15 s'lik sürelerde beta kaynağına maruz bırakılmışlar ve yine parıldama eğrileri kaydedilmiştir. Parıldama eğrilerinin uygun aralıktaki integrasyonlarının oranından yararlanarak kaynağının kalibrasyonu yapılmıştır.

3.3 Yıllık Dozun Belirlenmesi

Çalışmada yıllık doz dolaylı ve doğrudan olarak isimlendirilebilecek iki farklı metot kullanılarak tespit edilmiştir bulunabilir. Dolaylı metot yeryüzünde doğal olarak bulunan uranyum, toryum ve potasyum radyonüklitleri ve bunların ürünlerinin aktivitelerinin belirlenmesine dayanmaktadır. Elde edilen aktivite değerlerinden yıllık doza gama ve beta radyasyonu katkıları belirlenebilmektedir. Doğrudan metotta ise termoluminesans dozimetrelerin (TLD) parıldama eğrilerinin dozla orantılı olmasına dayanarak yıllık doz belirlenebilmektedir. Aşağıda her iki metot ile ilgili ayrıntılı bilgi sunulmaktadır

3.3.1 Dolaylı ölçüm metodu

Dolaylı ölçüm metodunda yer kabuğunda doğal olarak bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve bozunum ürünleri ile ^{40}K radyonüklit aktivitelerinden yararlanılmaktadır. Bu doğrultuda, çalışma alanında belirlenen noktalardan toprak örnekleri alınmıştır.

Belirlenen alanlardan alınan toprak örnekleri etüvde $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Daha sonra elenerek içerisindeki yabancı maddelerden arındırılmış ve homojen hale getirilmiştir. Uranyum, toryum ve potasyum konsantrasyonlarının belirlenmesi için, örnekler 100 cc hacmindeki silindirik polietilen kaplara yerleştirilmiş (Şekil 3.9) ve ^{226}Ra - ^{222}Rn arasındaki radyoaktif dengenin sağlanması, ölçümlerden önce yaklaşık 40 gün süre ile bekletilmiştir. Ölçümlerdeki doğruluğu artırmak için her bir alandan 5 adet örnek hazırlanmıştır.



Şekil 3.9 Radyoaktivite analizi için hazırlanan toprak örnekleri

Çalışmada incelen örneklerin doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları, Bölüm 3.2.1'de açıklandığı üzere yüksek rezülasyonlu HPGe gama spektrometre sistemi ile ölçülmüştür. Genelde, çevresel materyallerde U, Th ve K tayini için sıklıkla kullanılan diğer bir pratik radyometrik teknik NaI(Tl) sintilasyon gama spektrometresidir. Ancak,

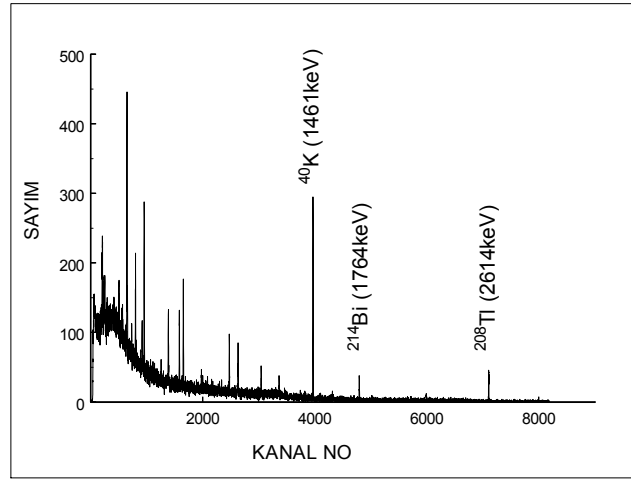
Enstitüde mevcut NaI (Tl) sintilasyon gama spektrometre sisteminin, çalışılan laboratuvar koşullarında; iyi bilinen art-ortam, 30000s ölçüm süresi ve 100cc örnek geometrisi için, ölçebileceği en düşük aktiviteler (MDA), Curie) kriterlerine dayalı ^{238}U ve ^{232}Th için $\geq 15 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve ^{40}K için $>100\text{Bqkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Daha önce sözü edildiği üzere, bu laboratuvar koşullarında, doğal art-ortama karşı daha iyi zırhlanmış (100mm Pb blok) HPGe gama spektrometre sisteminin ölçebileceği MDA değerleri; ^{238}U ve ^{232}Th için $\geq 7 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve ^{40}K için $\geq 28\text{Bqkg}^{-1}$ 'dir.



Şekil 3.10 a) NaI(Tl) sintilasyon dedektörlü b) HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi.

NaI(Tl) sintilasyon dedektörüne (Şekil 3.10a) göre 10-15 kat daha iyi enerji ayırma gücü ile gama spektrometre sistemlerinin kalitesini arttıran HPGe dedektörünün (Şekil 3.10b) bu çalışmada kullanılması beraberinde bazı avantajlar getirmiştir. Bunlardan ilki, ^{238}U ve ^{232}Th bozunum serilerinde ürün nükleitlerden yayımlanan çoğu gama enerjisinden (^{214}Pb ; 242, 295 ve 352 keV, ^{214}Bi ; 609, 1120 ve 1764 keV, ^{212}Pb ; 238 keV, ^{228}Ac ; 911 keV, ^{208}Tl ; 583 ve 2615 keV vb.) yararlanılması, diğeri ise, konvansiyonel NaI(Tl) gama spektrometre yönteminin aksine sözü edilen bu enerjilerin doğrudan konsantrasyon hesabında kullanılmasıdır (Yaprak, 1995).

Şekil 3.11’de, çalışma alanından sağlanan bir toprak örneğinin 30000s süre ile alınan HPGe gama spektrumu ve bu spektrum üzerinde aktivite hesaplarında kullanılan gama enerjileri, ^{208}Tl ; 2614 keV (^{232}Th), ^{214}Bi ; 1764 keV (^{238}U) ve 1461 keV (^{40}K) verilmiştir.



Şekil 3.11 HPGe koaksiyel detektörlü gama spektrometre sistemiyle elde edilen örnek bir spektrum.

30.000 saniyelik sayım süresi kullanılarak hazırlanan örneklerin ölçümleri alınmıştır. Elde edilen spektrumlarda belirlenen ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U ait piklerin altında kalan alanlar belirlenmiştir. Her iki alana ait örneklerin sayımlarının ortalamaları alınmıştır. Bu sayım değerleri kullanılarak örnekleme alanlarına ait aktivite değerleri belirlenmiştir. Bu aktivite değerleri ve Çizelge 2.1’deki katsayılar kullanılarak dolaylı metot ile yıllık doza gama ve beta radyasyonu katkısı hesaplanmıştır (Aitken,1985).

Kozmik radyasyon katkısı bu metotla elde edilen verilerden yararlanarak belirlenmemektedir. Bu nedenle bu katkı Bölüm 2.7.4’de

açıklandığı gibi örnekleme alanlarına ait rakım, enlem ve toprak yoğunluğu değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu bağıntılardaki toprak yoğunluğu değerleri piknometre kullanılarak belirlenmiştir.

Bu işlemde piknometrenin boş ağırlığı (W_a) ve toprak ile birlikte ağırlığı (W_s) tartılmıştır. Daha sonra örneğin üzerine saf su doldurularak ağırlığı (W_{sw}) ölçülmüştür. Son olarak sadece saf su ile doldurulmuş piknometrenin ağırlığı (W_w) belirlenmiştir. Kullanılan saf suyun sıcaklığı ölçülmüş ve yoğunluğu (D_w) belirlenmiştir. Bu veriler aşağıdaki denklemde yerine konularak alanlara ait toprak yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{(W_s - W_a)}{(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)} \times D_w \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

3.3.2 Doğrudan ölçüm metodu

Yıllık dozun belirlenmesinde kullanılan diğer metot ise doğrudan metot olarak adlandırılan, iyonlaştırıcı radyasyona karşı yüksek duyarlılığa sahip termoluminesans dozimetreler (TLD) kullanılarak yapılan ölçümlerdir. Bu metot kapsamında düşük doza karşı duyarlı oldukları bilinen ve çevresel radyasyon dozunun belirlenmesinde sıklıkla tercih edilen $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ dozimetreler kullanılmaktadır (Burbidge and Duller, 2003; Kalchgruber et al., 2003). Bu materyalin iyi ısı iletimi, radyasyon hasarlarına karşı direnci ve kimyasal tepkisi gibi faktörler radyasyon dozimetresinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu dozimetrenin TL doz yanıtı geniş bir aralık için doğrusaldır. Yüksek duyarlılığı ve düşük artalanı dolayısıyla doğrusallık aralığı $1\mu\text{Gy}$ 'den 1

Gy'e kadar uzanır ve bu değerden sonra yavaşça doğrusallıktan sapmaya başlar. 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 (Botter-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 önemli bir faktör ışık duyarlılığıdır. Işık duyarlılığı iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunlar; ışık etkisiyle solma ve ışınlanmış örneklerde derin tuzaklardan sığ tuzaklara ışık uyarımıyla yük transferidir. Bu tür yan etkilerin yıllık doz ölçümlerimizi etkilememesi için $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ dozimetreler tavlama, taşıma ve ışınlanma esnasında ışık sızdırmaz siyah kutular içinde saklanmıştır.



Şekil 3.12 Doğrudan metot ile yıllık doza gama katkısının belirlenebilmesi için hazırlanan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ dozimetreler.

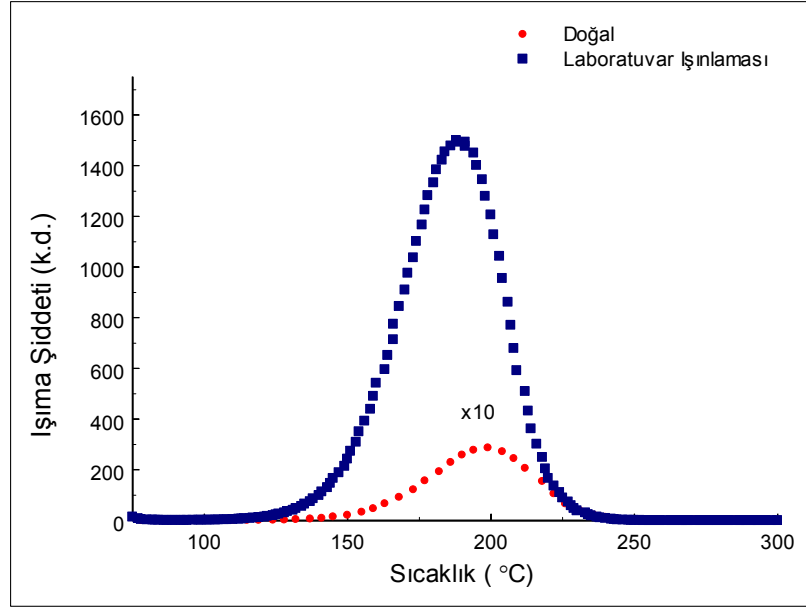
Dozimetreler örnekleme alanına gömülmeden önce çevreden almış olabilecekleri olası bir radyasyon dozunun etkisinin silinmesi için literatürde de belirtildiği gibi $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 30 dakika tavlansak sıfırlanmıştır (Akselrod et al., 1993; McKeever et al., 1995).

Dozimetrelerin toprakta kaldığı süre boyunca çevreden gelebilecek beta radyasyonu katkısını engellemek, nemden korumak ve dozimetrelerin ışığa karşı duyarlılığından dolayı ışık görmemesi için alüminyum folyo ile tek tek paketlenerek plastik tüpler içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 3.12). Matris etkisini göz önüne almak için de kaplar örnekleme alanına ait toprak ile doldurulup jeolojik alanda sediment korlarının alındığı katmanda 30 cm derinliğinde açılan deliklere yerleştirilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Dozimetrelerin arazide gömüldükleri örnekleme alanına ait bir resim.

Dozimetreler burada belirli sürelerde tutulduktan sonra ışık görmeyecek şekilde yerlerinden çıkartılmış ve Harshaw TLD 3500 sistemi ile doğal parıldama eğrileri alınmıştır. Her bir dozimetrenin laboratuvarında kalibrasyonu yapılmış ve kalın $Al_2O_3:C$ dozimetre için 3,16 mGy/s doz hızına sahip $^{90}Sr/^{90}Y$ beta kaynağı ile yaklaşık 31 mGy'lik laboratuvar dozları verilerek parıldama eğrileri alınmıştır (Şekil 3.14). Elde edilen parıldama eğrilerinin 125–250 °C sıcaklık aralığında integrasyonları alınmış ve aralarındaki orantıdan yararlanarak doğrudan metot ile doğal çevrenin verdiği yıllık gama + kozmik radyasyon dozu belirlenmiştir.



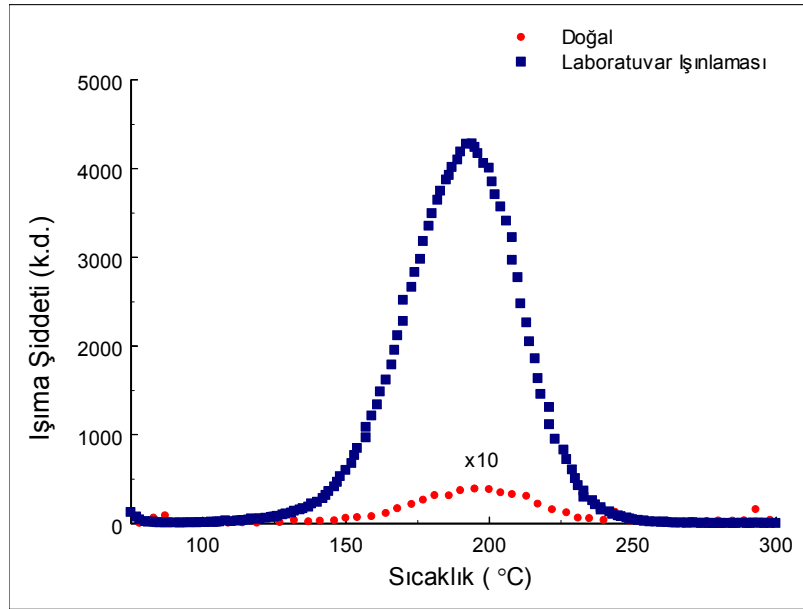
Şekil 3.14 Örnekleme alanına gömülmüş doğal ve laboratuvarında ~31 mGy doz verilmiş olan kalın $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ TL dozimetrelere ait örnek parıldama eğrileri.

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 tavlانarak sıfırlanmıştır (Göksu et al., 1999; El-Faramawy et al., 2004).



Şekil 3.15 Doğrudan metot ile yıllık doza beta katkısının hesaplanması için hazırlanan örnekler.

Örnek ve art ortamın belirlenebilmesi için stabilize 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 3.15). Hazırlanan bu örnekler, doğal radyasyondan gelecek katkıyı önlemek için, kalın kurşun zırh içerisinde yaklaşık 8 sekiz hafta bekletilmiştir. Bu süre sonunda dozimetreler kurşun zırh içerisinden çıkarılarak Harshaw TLD 3500 sistemi ile parıldama eğrileri alınmıştır (Şekil 3.16). Her bir dozimetre daha sonra 5 sn (~26 mGy) $^{90}Sr/^{90}Y$ beta kaynağına maruz bırakılmıştır. Elde edilen parıldama eğrilerinin 125–250 °C arasında integrasyonları alınmış ve aralarındaki orantıdan yararlanarak örneğin çevresinden gelen yıllık beta radyasyon dozu belirlenmiştir.



Şekil 3.16 Yıllık beta radyasyonu katkısının belirlenmesi için kullanılan ince $Al_2O_3:C$ TL dozimetrelerine ait örnek parıldama eğrileri.

Elde edilen yıllık doza gama+kozmetik ve beta radyasyonu katkılarının toplanmasıyla doğrudan metot ile yıllık toplam doz değeri belirlenmiştir.

3.4 Nem İçeriği Analizi

Bölüm 2.7.6'da belirtildiği gibi nemli sedimentin bulunduğu ortamın yıllık doz hızı kuru sedimente göre daha düşüktür (Zimmermann, 1971; Vandenberghe, 2003). Bu nedenle doğada nemli ortamdaki yıllık doz kuru malzemenin ölçümlerinden elde edildiğinden yaş tahmininde hatalara neden olmaması için nem içeriğinin belirlenerek düzeltilmesi gerekir. Bu düzeltmenin yapılabilmesi için sediment doğal ortamından alındıktan sonra yaş ağırlığı (W_y) belirlenir. Daha sonra aynı örnek tamamen kurutulmuş olarak örneğin kuru ağırlığı (W_k) belirlenir. Kurutulmuş örneğin alabileceği kadar su alması ve doygunluğa ulaşması sağlanır ve örneğin suya doymuş ağırlığı (W_d) tayin edilir. Çalışmada bunların belirlenmesinin ardından W ve F faktörleri aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W = \frac{W_d - W_k}{W_k} \qquad F = \frac{W_y - W_k}{W_d - W_k}$$

Daha sonra elde edilen W ve F faktörleri, Bölüm 2.7.6'da verilen denklem 2.30 ve 2.31 kullanılarak çalışmada kuru örnekler için belirlenen yıllık doza gama ve beta radyasyonu katkı değerleri düzeltilmiştir.

3.5 Eşdeğer Doz Ölçümü

3.5.1 Eşdeğer doz ölçümü için örnek hazırlanması

Örnekleme noktalarından eşdeğer doz ölçümü için örnek alımı aşamasında yaklaşık 50 cm uzunluğundaki çelik borular belirlenen örnekleme noktalarına çakılmıştır. Sedimentlerin ışık görmemiş olmasına ve toplanma aşamasında da ışık görmemesine dikkat edilmiştir. Bununla birlikte örneklerin laboratuvarında veya taşıma esnasında ışık görmüş olması ihtimaline karşı boruların uçlarından sedimentin 5 cm'lik kısımları atılmış ve borunun ortasındaki yaklaşık 40 cm'lik kısım kullanılmıştır. Sediment örneklerinin İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde bulunan X-ışını kırınım (XRD) cihazı ile yapı analizi yaptırılmıştır. Bu analizler sonucunda örneğin kuvars içermesi ve sistemimizin kuvars ölçümü için uygun olması nedeniyle tarihlemeye kuvars mineralinin kullanılmasına karar verilmiştir. Tarihlemeye eşdeğer dozun belirlenmesinde tanecik büyüklüğüne bağlı olarak temelde iki metot bulunmaktadır. Bunlar kuvars örnekleri için Fleming (1970) tarafından geliştirilmiş kaba tanecik yöntemi (coarse grain quartz) diğeri ise Zimmermann (1971) tarafından geliştirilmiş olan ince tanecik (polymineral fine grain) yöntemleridir (Fleming, 1970; Aitken, 1985). Kaba tanecik yönteminde kullanılacak olan örneklerin tanecik boyutları 100 µm ve üzerinde, ince tanecik yönteminde ise 4-11 µm civarındadır. Sediment içerisinden istenilen tanecik boyutundaki minerali ayırmak için belirli kimyasal prosedürler uygulanır. İnce tanecik yönteminin alfa katkısı ölçümünü gerektirmesi ve bununla ilgili olarak laboratuvarımızda uygun ölçüm sistemi bulunmaması, ayrıca sediment örneklerinin kuvars yönünden zengin olması nedeniyle bu tez çalışmasında kaba tanecik kuvars metodunun kullanılmasına karar verilmiştir.

Kaba tanecik yöntemine göre ilk olarak sediment örneklerinin eleme işlemi yapılmıştır. Örnekler 200 ve 140 µm'lik eleklerden geçirilerek iki elek arasında kalan kısım eşdeğer doz ölçümü için ayrılmıştır. Örnekler %10 HCl ve %30 H₂O₂ çözeltileri içinde yaklaşık bir gece bekletildikten sonra tamamen temizleninceye kadar saf su ile yıkanmış ve 60 °C'deki etüvde kurutulmuştur. Bu işlemlerden sonra %40 HF asit çözeltisi hazırlanmış ve örnekler bu çözelti içinde önce 40 daha sonra 5 dk bekletilmiştir. Her bir asitlendirme işleminden sonra örnek saf su ile tekrar tekrar yıkanmış ve pH metre ile tamamen nötr hale gelip gelmediği kontrol edilmiştir. Son asitlendirme işleminden sonra nötr hale getirilen örnek ıslak eleme ile tekrar 140 µm'luk elekten geçirilmiş ve etüvde kurumaya bırakılmıştır. Kimyasal işlemde geçirilmiş olan örneklerin EDX detektörlü SEM taramalı elektron mikroskobu ile yapılan elementel içerik analizinde metallere rastlanmıştır. Bu nedenle 2,82 g/cm³ yoğunluğa sahip sodyum politungstat (3Na₂WO₄9WO₃.H₂O) çözeltisi kullanılarak kuvarsın bu elementlerden ayrılması sağlanmıştır. Herhangi bir kimyasal kalıntı kalmaması için örnek tekrar saf sudan geçirilmiştir.

Elde edilen kaba tanecik boyutundaki kuvars mineralleri 10 mm çapında 0,5 mm kalınlığındaki çelik diskler üzerine yaklaşık birkaç miligram olacak şekilde biriktirilerek ölçüme hazır hale getirilmiştir.

3.5.2 Ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesi

Örnekler doğal ortamlarında buldukları süre içerisinde, sığ tuzak adı verilen ve iletkenlik bandına yakın yarı kararlı enerji düzeylerindeki yük taşıyıcı yoğunluğu zamanla azalmaktadır. Bu olaya sönümlenme (fading) adı verilir. Bu enerji düzeyine ait pikler örneğin ışımaya sinyali ölçüldüğünde düşük sıcaklıklarda görülmektedir. Örneğin doğal sinyali

ölçüldüğünde elde edilen parıldama eğrisinde sönümlenme nedeniyle bu pikler gözlenmemektedir. Bununla birlikte eşdeğer doz ölçümleri sırasında, ister ek doz ister yenileme doz yöntemi (Bölüm 2.6.2) kullanılsın, örneklerin laboratuvar ortamında yapay radyasyona maruz bırakılması gerekmektedir. Bu laboratuvar ışınlamalarının ardından parıldama eğrileri ölçüldüğünde, doğal ortamdaki bekleme sürecini uygulamak zor olduğu için düşük sıcaklıklarda sığ tuzaklardan kaynaklanan pikler parıldama eğrisinde görülmektedir. Eşdeğer dozun doğru bir şekilde belirlenebilmesi için bu piklerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu yüzden ön ısıtma işlemi uygulanmalıdır. Bu işlemde uygulanacak sıcaklık ve uygulama süresi her malzeme için ayrı ayrı belirlenmelidir. Bu süreçte örneğin doğal dozu ölçüldükten sonra örneğe doğala yakın bir laboratuvar dozu 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 örneklerin doğal sinyali ölçüldükten sonra sırasıyla kale alt için 220, 230, 240, 250 ve 260 °C'lik, kale üst için 210, 220, 230, 240 ve 250 °C'lik önısıtma sıcaklıkları uygulanarak parıldama eğrileri elde edilmiştir. Bu eğriler Bölüm 4.4.3'de verilmiştir. Her iki örnek için de önısıtma sıcaklıkları belirlenmiştir.

3.5.3 Eşdeğer doz için ışıma ölçümleri

Eşdeğer doz ölçümünde ışıma ölçümlerinin yapılacağı sistem tek örnek için uygun olduğundan nedeniyle tekli örnek yeniden yapılandırma metodunun (SAR) kullanılmasına karar verilmiştir. Bu metotta eşdeğer dozun belirlenebilmesi için 4-10 mg'lık tek bir örnek yeterlidir fakat istatistiksel hatanın azaltılması için 4 örnek ile ölçümler tekrarlanmıştır.

Çoklu örnek kullanıldığında örnekler arasında ağırlık ve/veya ışıma duyarlılığında farklılıklar olabilir. Bu nedenle elde edilen sonuçlardaki farklılığı gidermek için normalizasyon yapılmak zorundadır. Bu da elde edilen sonuçların hata oranlarını artırmaktadır. SAR metodunun avantajı normalizasyon gerektirmemesi ve kullanılan örnek miktarının az olmasıdır (Duller 1994a; 1994b; 2004; Prescott and Robertson, 1997).

Bu tekniğin en önemli dezavantajı aynı örneğin defalarca dozlanarak ısıtılması nedeniyle kuvars kristallerinin duyarlılığının değişmesi olasılığıdır. Bu nedenle her bir ölçümden sonra örneğe sabit bir test dozu verilerek örnek duyarlılığında bir değişiklik olup olmadığı kontrol edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda örneklerin duyarlılığında herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir.

SAR metoduna göre örnekler için uygun ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesinin ardından örneğe ait doz cevap eğrisinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bununla ilgili olarak hazırlanan örneklerin önce doğal sinyali alınmıştır. Daha sonra Sr-90 β kaynağı ile kale alt alanına ait örnekler yaklaşık 19, 57, 114 ve 280 Gy'lik, kale üst alanına ait örnekler 19, 57, 114, 153 ve 280 Gy'lik dozlar verilmiştir. Her bir 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 art ortam ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerden yararlanarak net parıldama eğrileri elde edilmiştir.

Bu parıldama eğrilerin birbirine oranından yararlanarak kale alt örnekleri için $300\text{-}316 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında, kale üst örnekleri için $250\text{-}265 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında bir plato olduğu görülmüştür. Bu sıcaklık aralığındaki integrasyonlar kullanılarak her iki alan için büyütme eğrileri çizilmiştir. Bu eğriler üzerinde doğal sinyale karşılık gelen doz değeri örnekler için

eşdeğer dozu vermektedir. Eşdeğer doz değerlerinin seçilen alanlara ait hesaplanan yıllık doz değerlerine oranından örneklerin yaşları belirlenmiştir.

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 ve dolaylı ölçüm metotları ile elde edilen yıllık doz hızı değerleri ve SAR tekniğine göre örneklerin eşdeğer dozları ve bu verilerden yararlanarak jeolojik sediment örneklerinin alındığı katmanlara ait tarihleme sonuçları verilmiştir.

4.1 Beta Kaynağının Kalibrasyon Sonuçları

Laboratuvarda bulunan $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) radyoaktif atık deposundan temin edilmiştir. Bu nedenle ışınlama amacıyla kullanılmadan önce, kullanılacak malzemeye uygun olarak kalibre edilmesi ve her malzemeye vereceği eşdeğer doz hızının bulunması gerekmektedir. Bu amaçla Bölüm 3.2.3'de açıklandığı gibi 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 ve kaba tanecik kuvars minerallerinin parıldama eğrileri kaydedilmiştir.

Çizelge 4.1 ^{90}Sr β kaynağının ÇNAEM Sekonder Standart Dozimetre Laboratuvarı'na göre malzemelere verdiği eşdeğer doz hızları.

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

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

4.2 Nem Düzeltmesi sonuçları

Nem düzeltmesi 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 Kale alt ve kale üst alanlarına ait sediment örneklerinin 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
Kale Alt	56,08	54,16	64,15	0,18	0,19
Kale Üst	57,75	54,61	65,63	0,20	0,28

4.3 Yıllık Doz Ölçümlerinde Elde Edilen Sonuçlar

4.3.1 Dolaylı ölçüm metodu ile elde edilen sonuçlar

Dolaylı ölçüm metoduna göre kale alt ve kale üst olarak adlandırılan örnekleme noktalarından alınan toprak örnekleri Bölüm

3.3.1’de belirtildiği gibi hazırlanmış ve HPGe detektörlü gama spektroskopi sistemiyle 30.000 saniyelik sürelerde ölçülmüştür. Bu alanlara ait ortalama aktivite değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Örnekleme alanlarından alınan kurutulmuş toprak örneklerinin ortalama radyoaktivite konsantrasyonları.

Bölge Adı		Aktivite (Bq.kg ⁻¹)
Kale Alt	%K	507 ± 50
	eU	31 ± 5
	eTh	30 ± 5
Kale Üst	%K	382 ± 50
	eU	19 ± 5
	eTh	24 ± 3

Bu aktivite konsantrasyon değerleri ve Aitken’in verdiği katsayılar (Çizelge 2.1) kullanılarak örneklere çevreden gelen yıllık gama (D_γ) ve beta (D_β) doz hızı değerleri aşağıdaki ifadeler yoluyla hesaplanmıştır (Aitken 1985).

$$D_\gamma = 0,79(\mu\text{Gy.kg/Bq.y}) \times K(\text{Bq/kg}) + 12,69(\mu\text{Gy.kg/Bq.y}) \times \text{Th}(\text{Bq/kg}) \\ + 8,98(\mu\text{Gy.kg/Bq.y}) \times \text{U}(\text{Bq/kg})$$

$$D_\beta = 2,68(\mu\text{Gy.kg/Bq.y}) \times K(\text{Bq/kg}) + 7,06(\mu\text{Gy.kg/Bq.y}) \times \text{Th}(\text{Bq/kg}) \\ + 11,42(\mu\text{Gy.kg/Bq.y}) \times \text{U}(\text{Bq/kg})$$

Kale alt ve kale üst alanlarına ait kurutulmuş örneklerden elde edilen yıllık gama (D_γ) ve beta (D_β) doz hızları Çizelge 4.4’teki gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.4 Dolaylı metot ile kurutulmuş toprak örneklerinden elde edilen yıllık gama ve beta doz hızı değerleri.

Bölge Adı	D_{γ} (mGy.y ⁻¹)	D_{β} (mGy.y ⁻¹)
Kale Alt	1,06±0,25	1,92±0,46
Kale Üst	0,78 ±0,24	1,41±0,44

Bu ölçümlerde, örnekler kurutulmuş oldukları için nem düzeltmesi yapılması gerekmektedir. Bölüm 4.2’de verilen W ve F faktörleri ve Bölüm 2.7.6’da verilen denklem 2.30 ve 2.31 kullanılarak örneklerin doğrudan ölçüm metoduna göre yıllık gama ve beta doz hızları hesaplanmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Dolaylı metot ile nem düzeltmesi yapılmış yıllık doz hızı değerleri.

Bölge Adı	D_{γ} (mGy.y ⁻¹)	D_{β} (mGy.y ⁻¹)
Kale Alt	1,02±0,24	1,84±0,44
Kale Üst	0,73 ±0,22	1,32±0,41

Yıllık doza kozmik radyasyon katkısı katkı Bölüm 2.7.4’te verilen ifadelerden, rakım, boylam ve toprak yoğunluğu değerleri dikkate alınarak teorik olarak hesaplanmıştır. Bu ifadede kullanılan toprak yoğunluğu piknometre kullanılarak kale alt ve kale üst alanlar için sırasıyla 2,63 g.cm⁻³ ve 2,68 g.cm⁻³ olarak ölçülmüştür. Kale alt ve kale üst alanları için yıllık doza kozmik radyasyon katkısı 0,21 mGy.y⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Prescott, and Stephan, 1982; Prescott and Hutton, 1988;1994).

4.3.2 Doğrudan ölçüm metodu ile elde edilen sonuçlar

Doğrudan ölçüm metoduna göre hazırlanan kalın $Al_2O_3:C$ dozimetreler kale üst ve kale alt örnekleme noktalarına yerleştirilmiştir. Burada belirli sürelerde tutulduktan sonra laboratuvarında TLD okuyucu ile parıldama eğrileri alınmıştır. Doğal ve laboratuvarında ~ 31 mGy dozla ışınlanmış bu dozimetrelerin parıldama eğrilerininin $125-250$ °C sıcaklık aralığındaki integrasyon değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu değerlerden örnekleme alanlarına ait yıllık doza gama ve kozmik radyasyon dozu ($D_\gamma + D_k$) katkısı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6 Örneklerin doğrudan ölçüm metoduna göre yıllık $D_\gamma + D_k$ doz hızı değerleri.

Bölge Adı	$D_\gamma + D_k$ (mGy.y ⁻¹)
Kale Alt (Salihli)	1,38±0,06
Kale Üst (Salihli)	1,06 ±0,09

Dozimetreler örnekleme alanında doğal şartlarda bırakıldığı için herhangi bir nem düzeltmesi yapılmasına gerek yoktur (Çizelge 4.6).

Doğrudan metot ile yıllık doza beta katkısının belirlenebilmesi için ince $Al_2O_3:C$ dozimetreler alandan alınan kurutulmuş sediment örneklerinin üzerine yerleştirilerek 60 gün kurşun zırh içerisinde bekletilmiştir. Bu süre sonunda dozimetrelerin ışımaya sinyalleri kaydedilmiştir.

Daha sonra beta kaynağıyla dozimetrelere ~26 mGy'lik doz verilerek ışıma ölçümleri 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 yine denklem 2.30 kullanılarak nem düzeltmesi yapılmıştır. Kurutulmuş örneklerde nem düzeltmesi yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra elde edilen beta doz hızı değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 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)
Kale Alt (Salihli)	2,12±0,26	2,03±0,25
Kale Üst (Salihli)	1,42±0,16	1,33±0,15

K:Kurutulmuş örneklerden, N:Nem düzeltmesi yapılarak

Yıllık dozun genel formülü;

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

olarak ifade edilir (Aitken, 1985). Tarihlemede kullanılacak olan tanecik boyutuna göre bu ifadede bazı değişiklikler yapılır. Bu çalışmada 200-250 µm arasındaki tanecikler kullanılarak Fleming tarafından geliştirilmiş olan kuvars kaba tanecik yöntemi (Quartz Inclusion Technique) uygulanmıştır (Fleming, 1970; Aitken 1985, 1990b). Çalışmada kullanılan yöntemde kimyasal işlemler sırasında 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). Böylece yıllık doz:

$$\text{Yıllık Doz} = 0.90D_{\beta} + D_{\gamma} + D_k$$

şeklini alır.

Yukarıdaki ifadeden yararlanarak her iki örnekleme alanı için doğrudan ve dolaylı ölçüm metoduna göre hesaplanan yıllık doz hızı değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Örnekleme alanları için doğrudan ve dolaylı ölçüm metoduna göre hesaplanan yıllık doz hızı değerleri

Bölge Adı	Doğrudan (mGy.y ⁻¹)	Dolaylı (mGy.y ⁻¹)
Kale Alt	3,21 ±0,42	2,89 ±0,7
Kale Üst	2,26±0,32	2,13±0,6

Her iki metotla elde edilen yıllık doz değerleri kıyaslandığında hata sınırları içinde birbirleriyle örtüştüğü görülmektedir. Literatürde bu bölgede tarihleme ve yıllık doz ölçümüyle ilgili olarak yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Atlıhan ve Meriç'in Denizli'de yaptıkları bir çalışmada deprem fay hattından elde edilen sediment örneklerini incelenmiştir. İnce tanecik boyutundaki kuvars mineralleri kullanmışlardır. Bu çalışmaya benzer olarak yıllık doza beta ve gama radyasyonu katkılarını HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi kullanarak belirlemişlerdir. U, Th ve %K

radioaktivite konsantrasyonlarını sırasıyla $1,05 \pm 0,03$, $3,31 \pm 0,18$ ve $0,55 \pm 0,03$ ppm olarak ölçmüşlerdir. Bu verilerden yararlanarak yıllık dozu $1,86 \text{ mGy.y}^{-1}$ olarak hesaplamışlardır. Bu değer tez çalışmasındaki değerlerle kıyaslandığında oldukça düşüktür. Bu farklılık bölgeden bölgeye radyonüklit konsantrasyonundaki değişimden kaynaklanabilir (Atlıhan ve Meriç, 2008).

Yine Türkiye’de Menderes Masifi’nde yapılan bir diğer çalışmada yıllık dozun hesaplanması için dolaylı metot kullanmışlardır. Çalışmada ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonu alfa sayımıyla, ^{40}K konsantrasyonu ise alev fotometresi kullanılarak belirlenmiştir. Yıllık doz hızını $0,61 \text{ mGy.y}^{-1}$ olarak saptamışlardır. Çalışmamızdaki sonuçlarla kıyaslandığında ortaya çıkan büyük farklılık ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının oldukça düşük olmasıyla açıklanabilir. Bunun nedeninin erozyon, iklim değişiklikleri ve/veya doğada kendiliğinden meydana gelen kimyasal aşındırmanın olabileceği düşünülmektedir (Ulusoy, 2000).

Muğla’da Öke ve Yurdatapan tarafından yapılan bir başka çalışmada yine dolaylı metotlar kullanılarak yıllık doz belirlenmiştir. Uranyum ve toryum konsantrasyonu alfa sayım sistemi, potasyum konsantrasyonu ise atomik soğurma spektrometresiyle ölçülmüştür. Bu çalışmadaki yıllık doz hızı değeri ise $3,93 \text{ mGy.y}^{-1}$ olarak rapor edilmiştir. Çalışmada eşdeğer dozun belirlenmesi aşamasında $1-8 \mu\text{m}$ boyutundaki kuvars mineralleri kullanıldığı için tez çalışmasından farklı olarak yıllık doza alfa katkısı da dikkate alınmıştır. Bu nedenle doz hızı değeri daha büyük olarak saptanmıştır (Öke ve Yurdatapan, 2000).

Saint Lucia Adası’nda (Lesser Antilles Arc), Guérin ve Samper tarafından volkan oluşumlarıyla ilgili yapılan bir tarihleme çalışmasında ışınma yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma sırasında yıllık doz

hesaplamaları için uranyum, toryum ve potasyum konsantrasyonları HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi kullanılarak ölçülmüştür. Kozmik ışınların katkısı ise Prescott ve Hutton (1988, 1994) tarafından verilen bağıntılar ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada, tez çalışmasına benzer olarak kaba tanecikler kullanılmıştır. Bu nedenle alfa katkısı ihmal edilmiş ve yıllık doz hızı değerleri $1,63$ ve $2,17 \text{ mGy.y}^{-1}$ arasında bulunmuştur (Guérin and Samper, 2007).

Tez çalışmasında her iki metotla elde edilen yıllık doz hızı değerleri birbirleriyle uyum içerisindedir. Her iki metodun birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Dolaylı metot ile ölçümler birkaç hafta sürerken doğrudan metot ile ölçüm sonuçlarının elde edilmesi, dozimetreler alanda gömülü bırakıldığı için, neredeyse bir yıla yakın sürmektedir. Bu açıdan bakıldığında dolaylı metot avantajlı görünmesine rağmen kozmik ışınların katkısının bu metotla ölçülememesi bu metodun zayıf kaldığı noktadır. Ayrıca ölçümler yerinde yapılmadığı için dolaylı metotta çevre koşulları etkisi hesaba katılamamaktadır. Bu tekniklerin uygulanmasına karar verilirken laboratuvar imkanları göz önüne alınmalı ve eldeki olanaklar doğrultusunda en uygun ölçüm tekniği seçilmelidir.

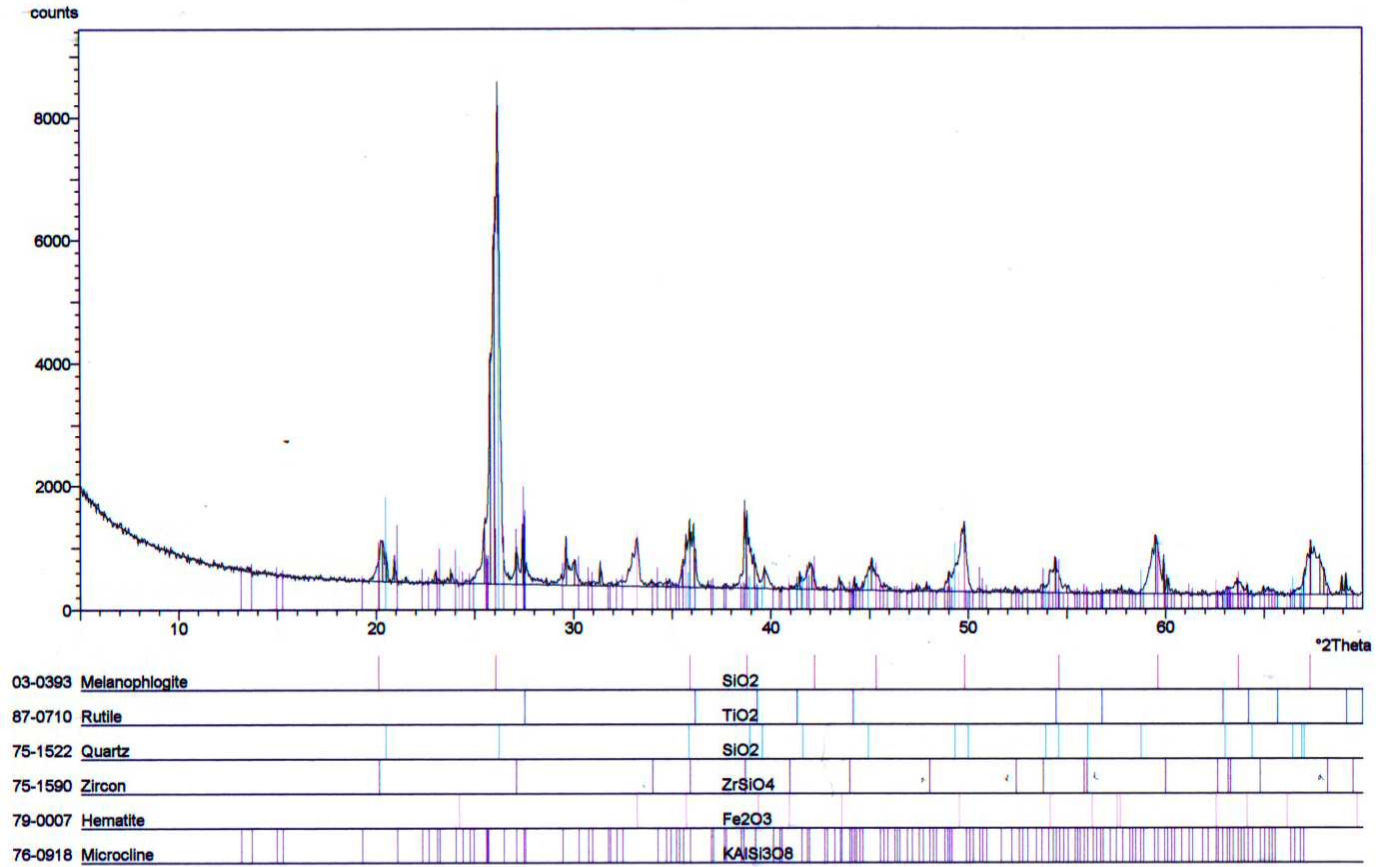
4.4 Eşdeğer Doz Ölçüm Sonuçları

4.4.1 Örneklerin XRD ve SEM analizleri

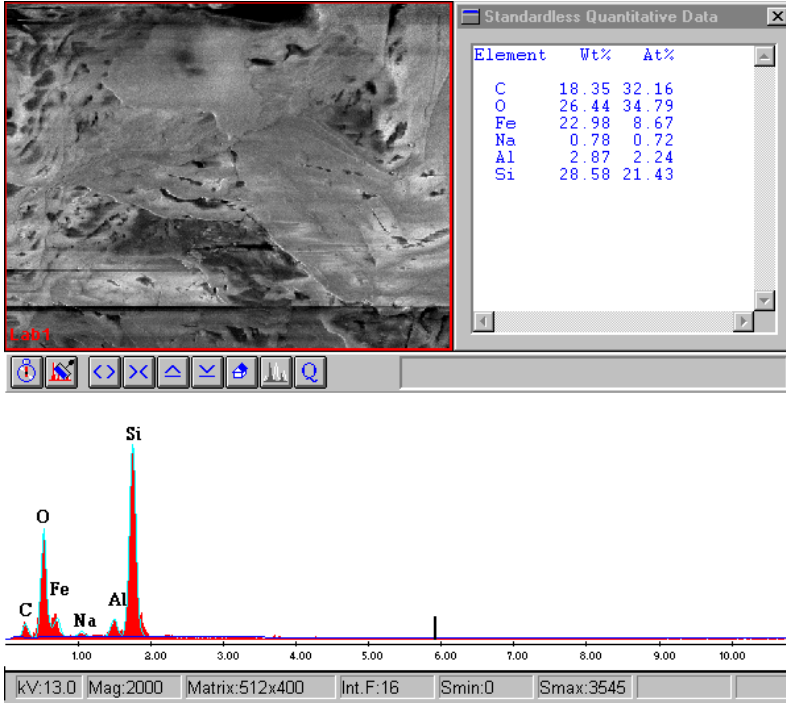
Işıma teknikleri kullanılarak tarihlendirme çalışmalarında öncelikle örneğin tahmin edilen yaşının bu teknik ile ölçülebilecek yaş sınırları içerisinde olması gerekmektedir. Bununla birlikte tarihlendirilecek malzeme çevresel radyasyon dozunu üzerinde depo edebilen, yani doğal bir dozimetre gibi davranabilen, kuvars ve/veya feldspat gibi mineralleri

içermelidir. Işıma teknikleri jeolojik örnekler için genellikle kuvarterner (günümüzden - 1,8 milyon yıl öncesine kadar) çağa ait örneklerin tarihlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle jeolojik örnekleme alanı tespit edilirken kuvarterner döneme ait sediment örneklerinin kullanılması planlanmıştır. Jeolojik örnekleme alanını belirlemek için Salihli ilçeleri çevresinde jeolojik yaşlar ve yer şekilleri üzerinde incelemelerde bulunulmuştur. Salihli ilçesi Kaletepe mevkiindeki sedimentler birikimlerinin jeolojik olarak tahmin edilen yaşının ışımaya teknikleriyle tarihlendirme çalışmaları için uygun olduğu saptanmıştır.

İzmir Yüksek Teknolojisi Malzeme Araştırma Merkezinde yapılan X-ışını Kırınım Analizi (XRD) sonucunda bu alandan alınan jeolojik örneklerin kuvars minerali yönünden zengin olduğu görülmüş ve ışımaya tarihlendirme çalışmalarında bu mineralin kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 4.1). Bu örnek içerisinden kuvarsı ayırmak için bir seri kimyasal prosedür uygulanmıştır. Bu ayırma işleminden sonra İzmir Yüksek Teknolojisi Malzeme Araştırma Merkezinde EDX detektörlü SEM taramalı elektron mikroskobu ile örneğin içerik analizi yaptırılmıştır. Analiz sonucunda örnek içerisinde metallere rastlanmıştır (Şekil 4.2). Bu nedenle yoğunluk farkından yararlanarak saf kuvars kristallerinin ayrıştırılmasına karar verilmiştir. Kuvarsın yoğunluğu $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$ 'tür. İçerisindeki safsızlıkların yoğunluğu bu değerden daha yüksek olacaktır. Yoğunluk farkından yararlanarak ayrıştırma işlemi için $2,82 \text{ g.cm}^{-3}$ '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 kullanılmıştır. Bu sıvı içerisine atılan örnek bir süre bekletildikten sonra örnek içerisinde kuvarstan daha yoğun olan malzemeler dibe çökmektedir. Saf kuvars mineralleri ise sıvı yüzeyinde toplanmıştır. Ağır sıvının kullanılmasıyla örnek içerisinden saf kuvars minerali ayrıştırılmıştır.



Şekil 4.1 Kaletepe sedimenter birikiminden alınan örneğe ait XRD analizi.

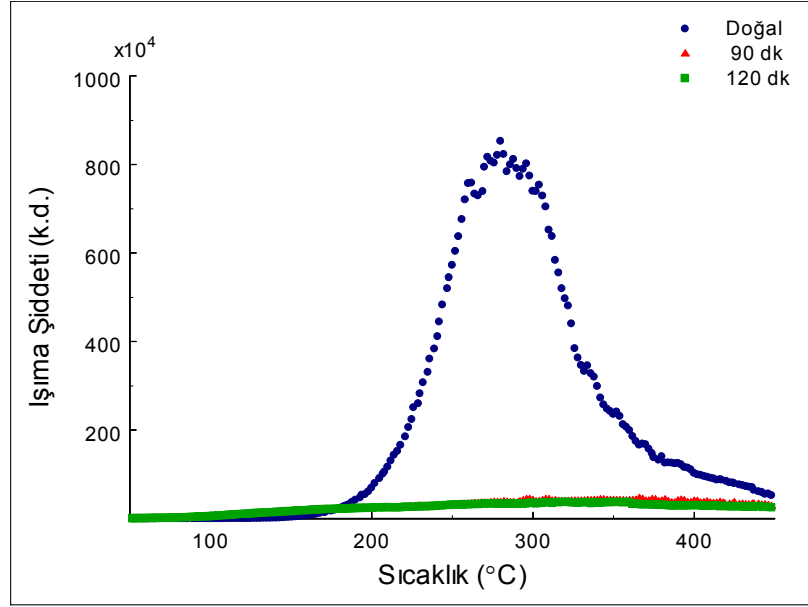


Şekil 4.2. Kimyasal işlemden sonra örneğin EDX detektörlü SEM taramalı elektron mikroskobu ile yapılan element analizi.

4.4.2 Sediment örneklerinin güneş ışığı ile sönmelenmesinin incelenmesi

Sediment örnekleri için ışıma saatinin sıfırlanması işleminin güneş ışığına maruz kalma ile gerçekleştiği bilinmektedir. Bu nedenle deneysel aşamaya geçmeden önce örneklerin doğal ışıma sinyallerinin güneşe maruz kalma ile ne kadar azaldığının incelenmesi gerekmektedir.

Bu amaçla ölçüme hazır hale gelen örneklerin ışık görmeden önceki doğal sinyali ve 90 ve 120 dk'lık sürelerde güneş ışığına bırakıldıktan sonraki ışıma ölçümleri alınmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Sediment örneğinin doğal ve belirli sürelerde güneş ışığına maruz bırakılmasının ardından elde edilen parıldama eğrileri.

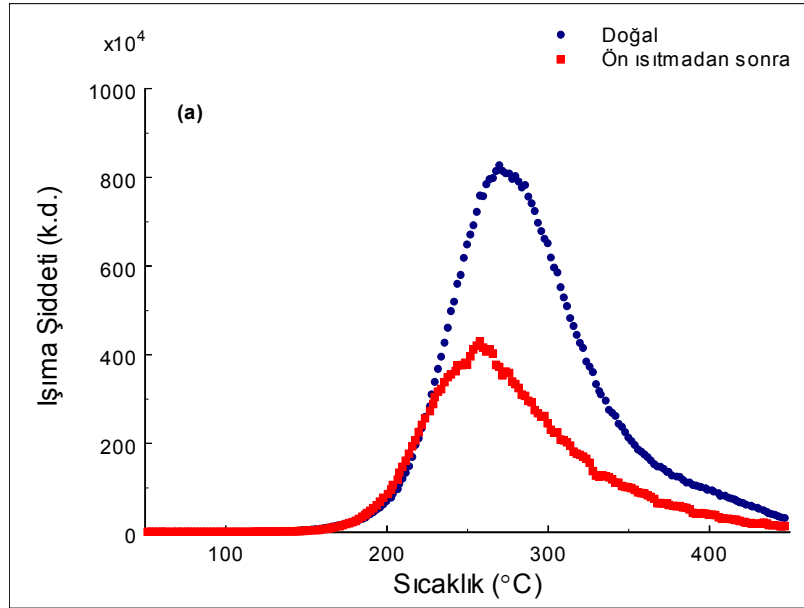
Ölçüm sonuçları incelendiğinde sediment örneğinin ışıma sinyalinin 120 dk'lık sürede yaklaşık art ortam seviyesine kadar azaldığı gözlemlenmiştir. Böylece bundan sonraki eşdeğer dozun belirlenmesi sürecindeki tüm ışıma ölçümlerinde malzemenin güneş ışığıyla tamamen sıfırlandığı göz önüne alınmıştır.

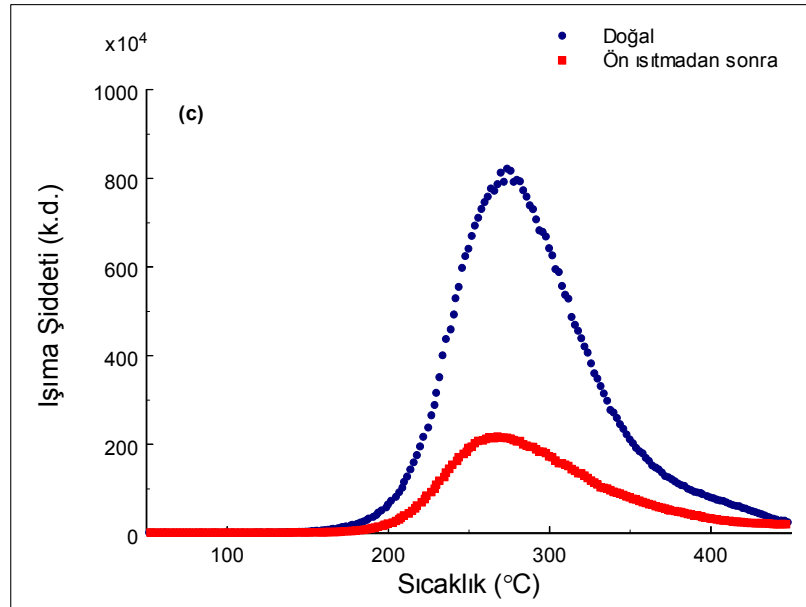
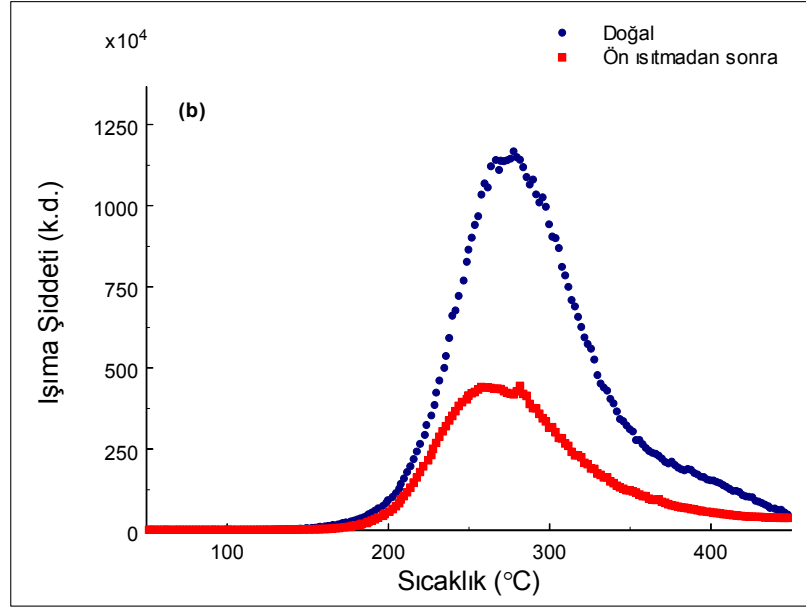
4.4.3 Ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesi

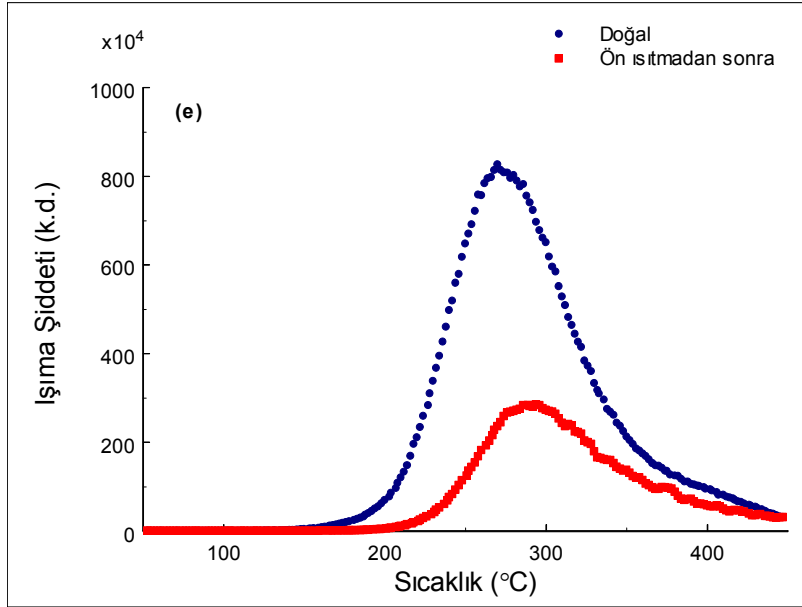
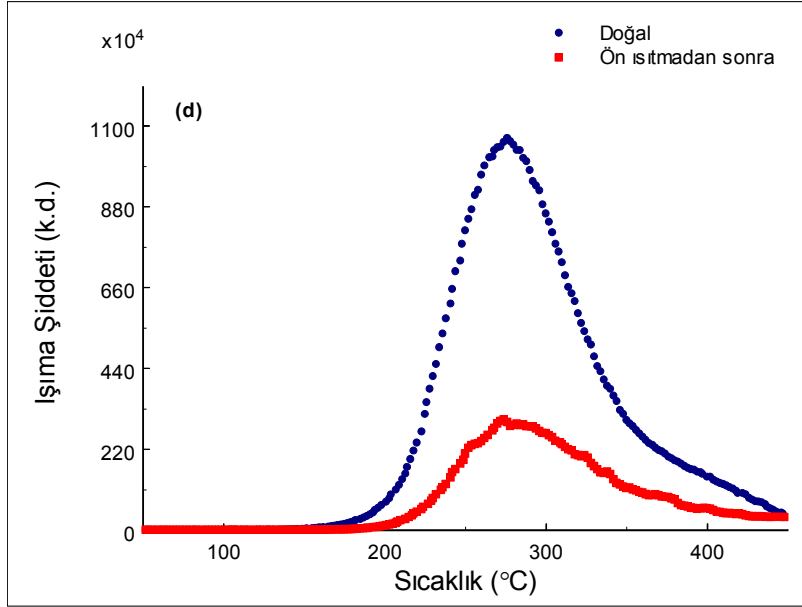
Kimyasal işlemlerden geçirilerek elde edilen kuvars örneklerinin tarihlendirilmesi için ışıma ölçümlerine başlamadan önce bu ölçümlerde kullanılacak ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesi gerekir. Ön ısıtma sıcaklığının belirlenebilmesi için kaba tanecik boyutunda hazırlanan örnekler (200-250 μm) yaklaşık 6-7 mg olacak şekilde çelik diskler

üzerine yerleştirilmiştir. İlk olarak örneklerin ön ısıtma yapılmaksızın doğal ışımaya sinyalleri ölçülmüştür. Örnekler laboratuvarında $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β -kaynağı ile ışılandıktan sonra, kale alt örnekleri için 220, 230, 240, 250 ve 260 °C'lik (Şekil 4.4 a,b,c,d,e) ve kale üst örnekleri için ise 210, 220, 230, 240 ve 250 °C'lik (Şekil 4.5 a,b,c,d,e) ön ısıtmalar kullanılarak parıldama eğrileri alınmıştır.

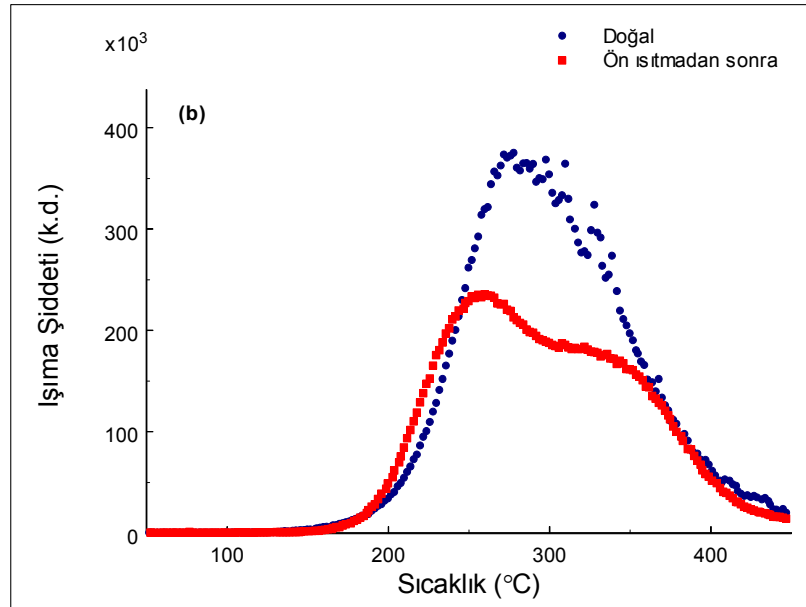
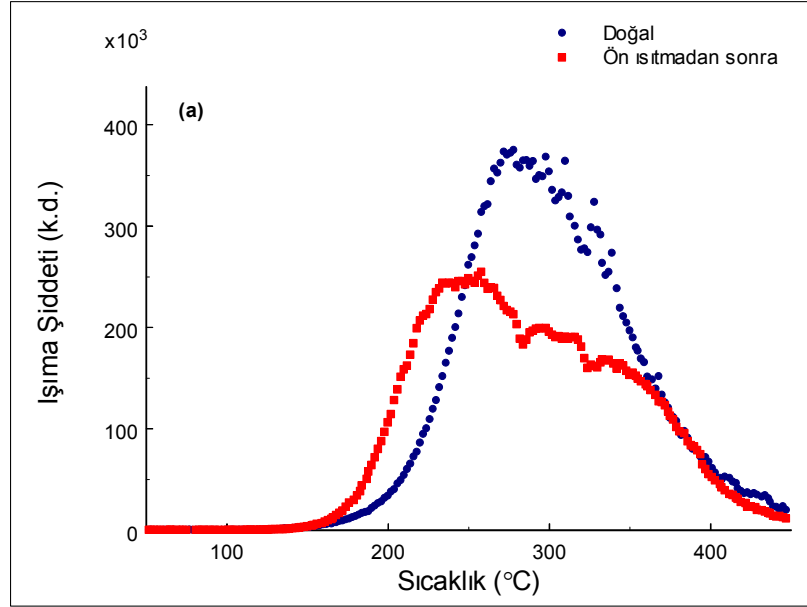
Ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesinde literatür incelenmiş ve şekil anlamında doğal parıldama eğrisine en iyi uyum sağlayan ön ısıtma sıcaklığının uygulanması gerektiği görülmüştür (Göksu and Schwenk, 2000; Göksu et al.,2001). Bu noktada farklı ön ısıtma sıcaklıklarının uygulanmasının sinyalin duyarlılığını değiştirip değiştirmediği konusunda Murray ve Roberts'in (1998) yaptığı çalışma dikkate alınmıştır. Bu çalışmada daha yaşlı örnekler için 200-300 °C arasında bir ön ısıtmanın uygulanmasının kuvarsın sinyalinde bir duyarlılık değişimine sebep olmadığı ifade edilmiştir.

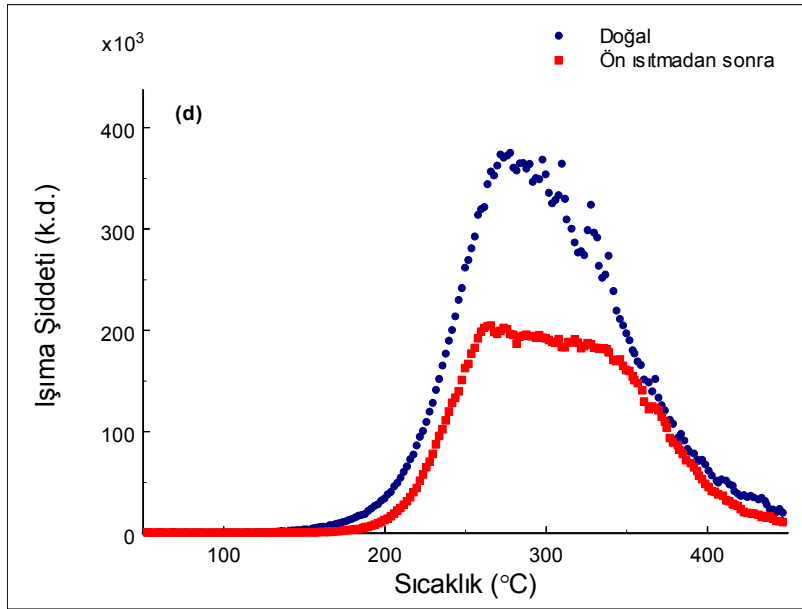
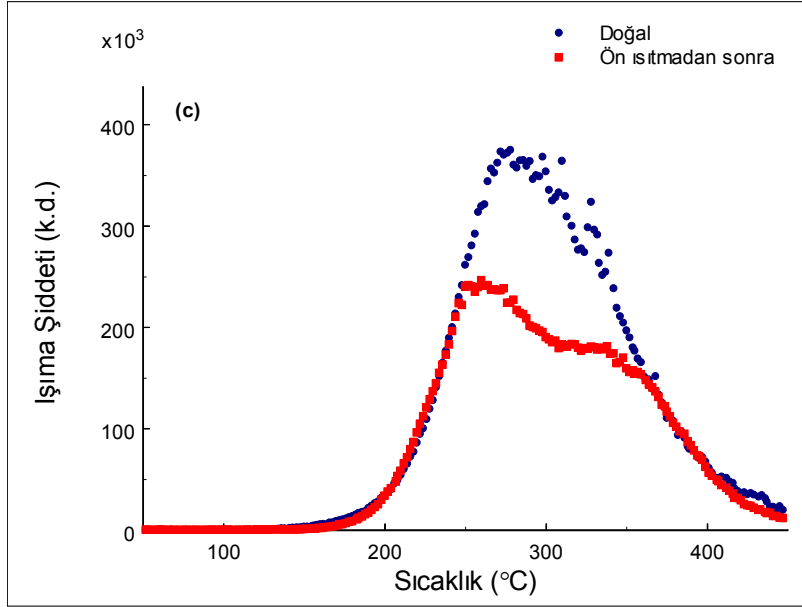


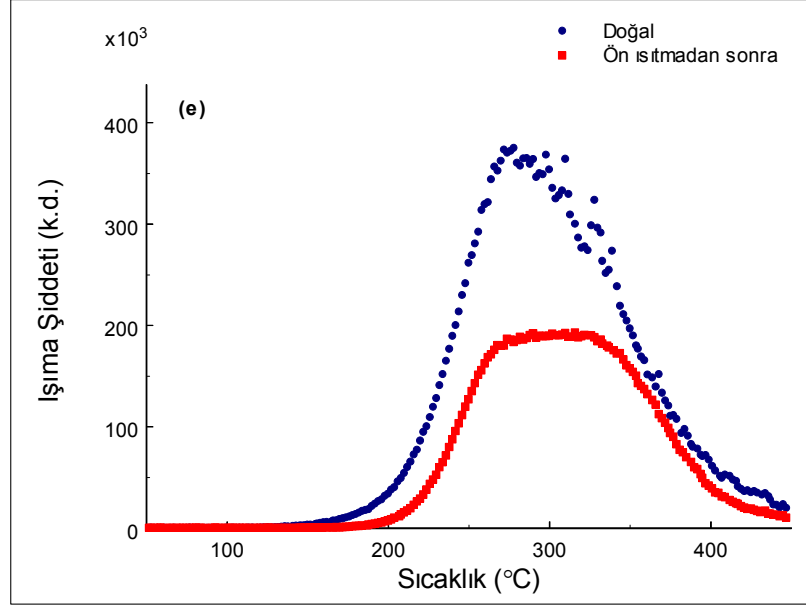




Şekil 4.4 Kale alt örneklerine ait doğal ve (a) 220 (b) 230 (c) 240 (d) 250 ve (e) 260 $^{\circ}\text{C}$ 'lik ön ısıtmalar sonrasında alınan parıldama eğrileri.







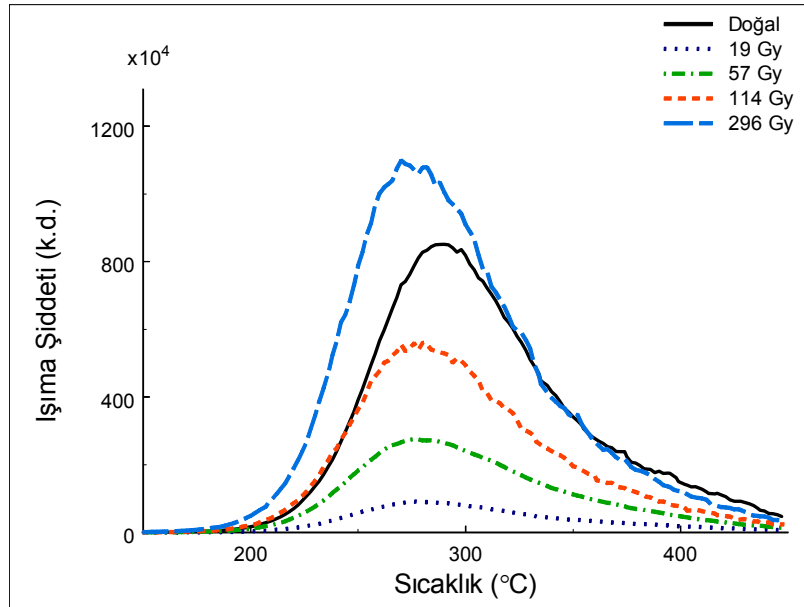
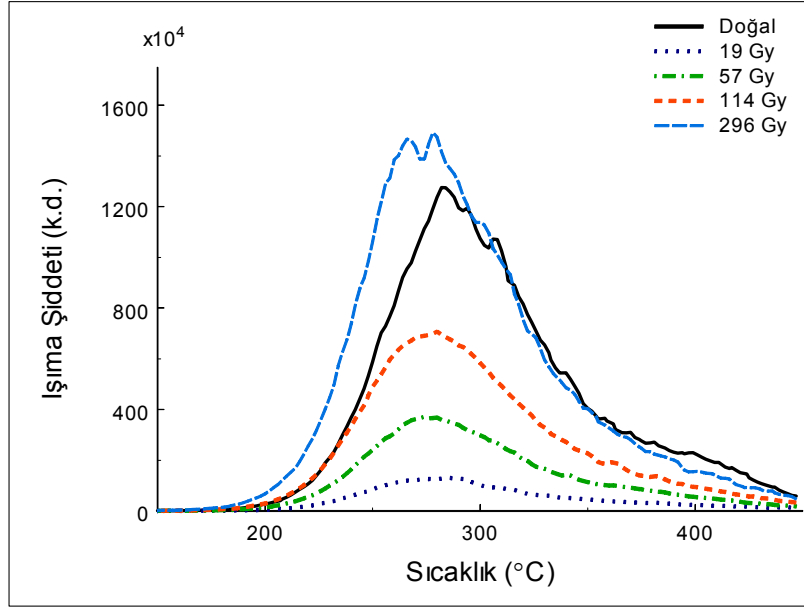
Şekil 4.5 Kale üst örneklerine ait doğal ve (a) 210 (b) 220 (c) 230 (d) 240 ve (e) 250 °C'lik ön ısıtmalar sonrasında alınan parıldama eğrileri.

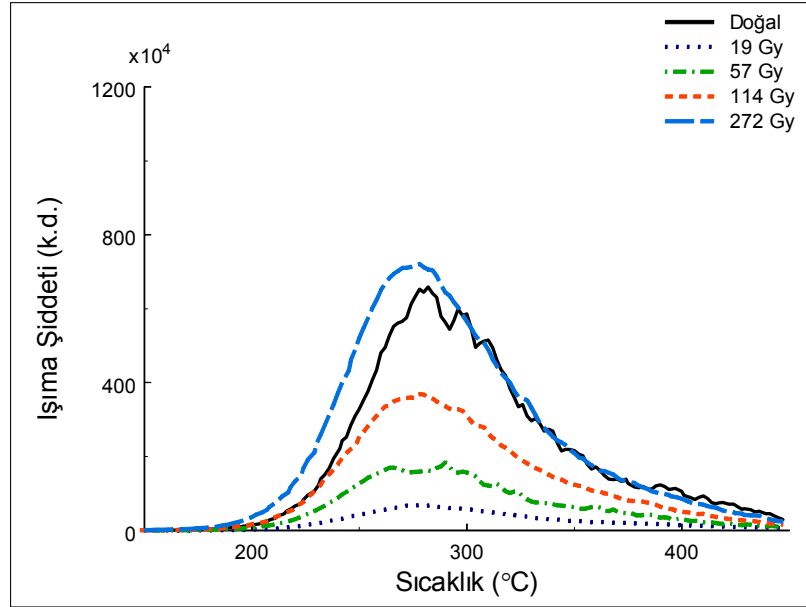
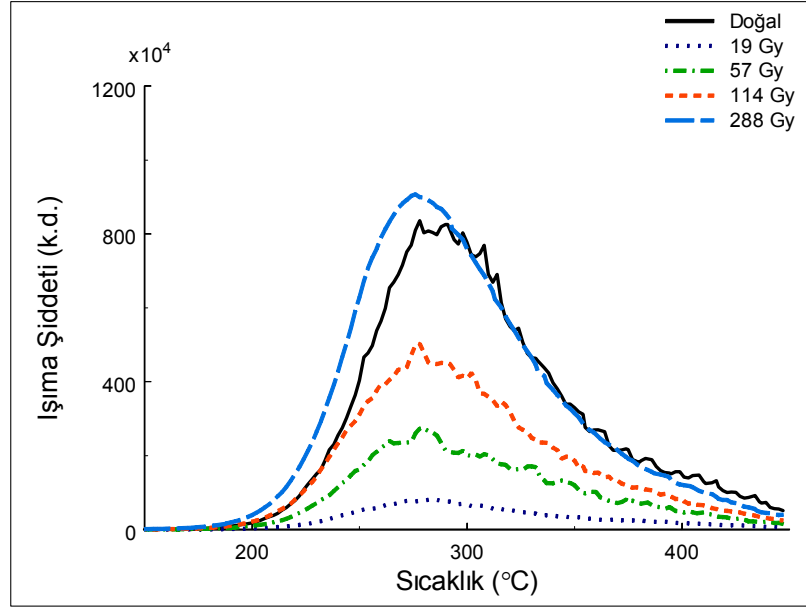
Elde edilen parıldama eğrileri incelendiğinde şekil olarak doğal sinyale en iyi uyum sağlayan parıldama eğrisinin kale alt örneği için 250 °C'lik ve kale üst örneği için ise 230 °C'lik ön ısıtmalarla elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle eşdeğer dozun belirlenmesi aşamasında tüm ışıma ölçümlerinde bu belirlenen ön ısıtmaların uygulanmasına karar verilmiştir.

4.4.4 SAR tekniğine göre belirlenen eşdeğer doz değerleri

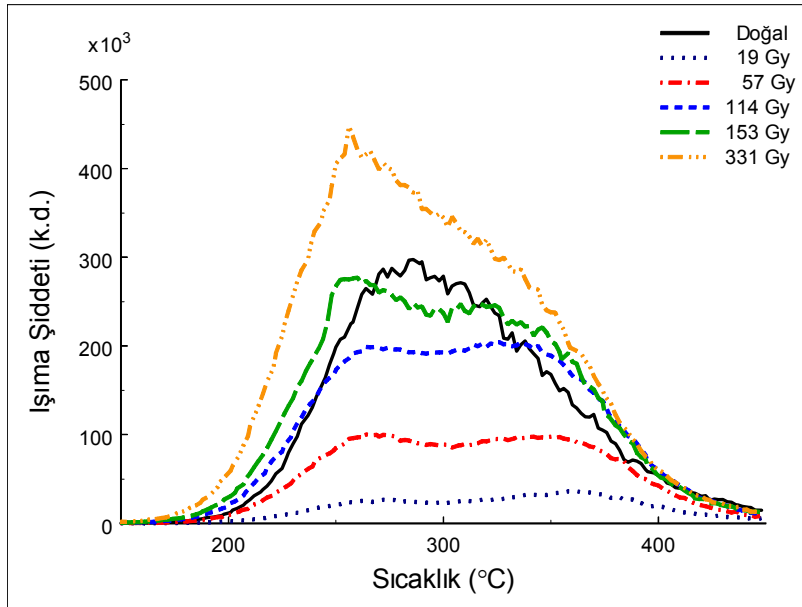
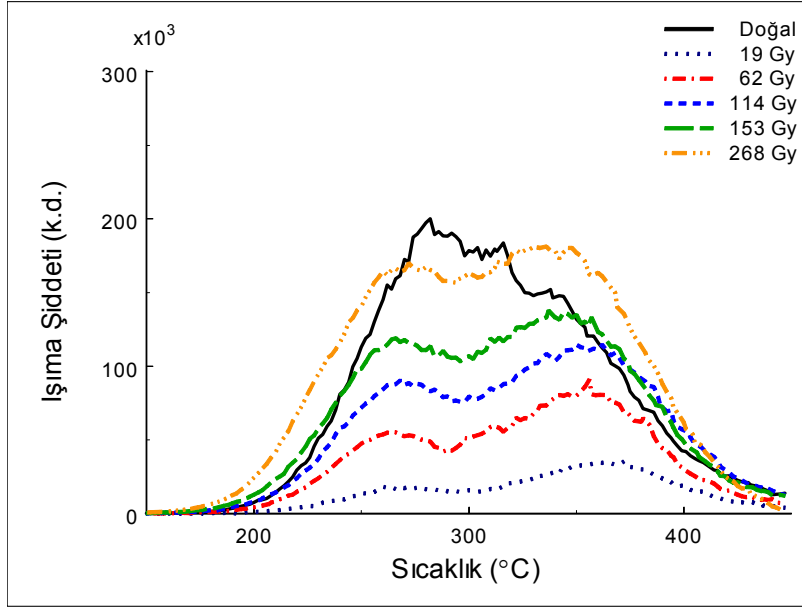
Eşdeğer doz ölçümleri için kale alt ve kale üst alanı jeolojik kuvars örneğine ait 4 adet disk hazırlanmıştır. Örneklerin önce doğal sinyali alınmış ve daha sonra $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β kaynağı ile farklı sürelerde dozlar verilerek her bir ışınlama sonrasında parıldama eğrileri ve bunu takiben art ortam ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerden yararlanarak net

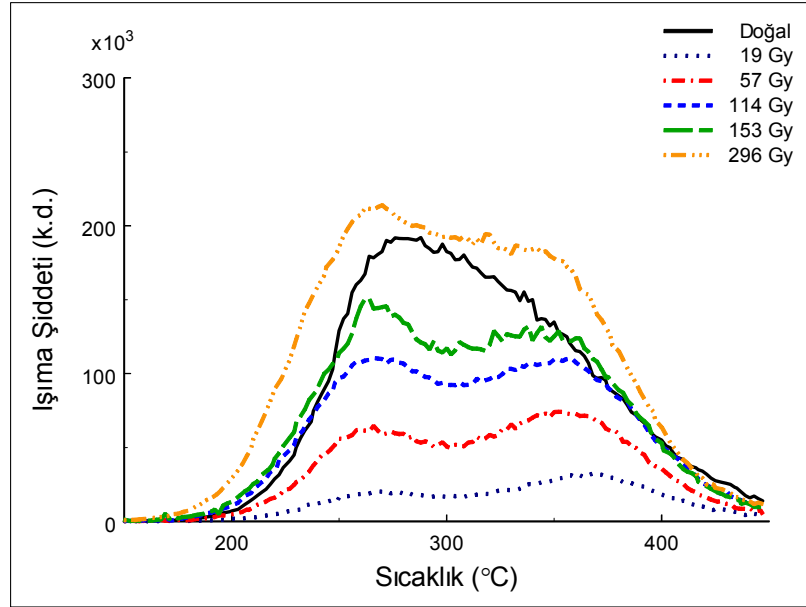
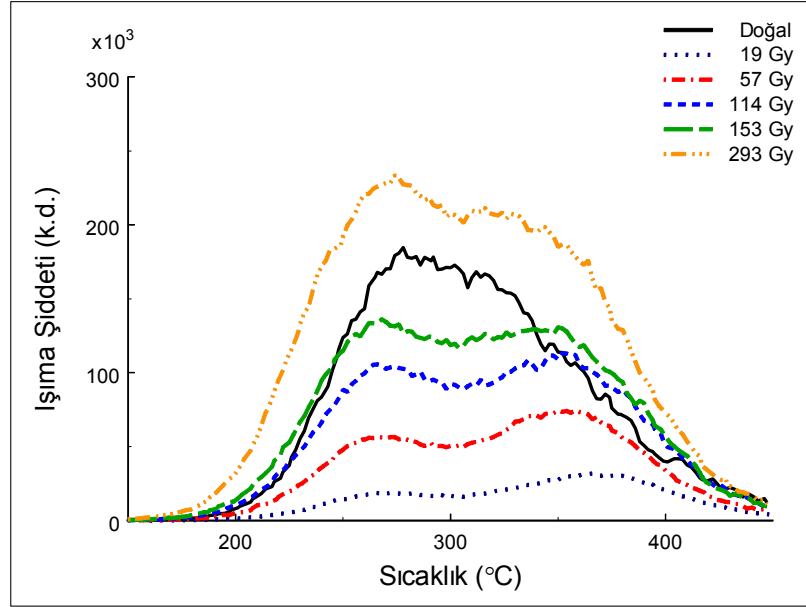
parıldama eğrileri elde edilmiştir. Kale alt ve kale üst jeolojik örneklerine ait parıldama eğrileri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’te verilmiştir.





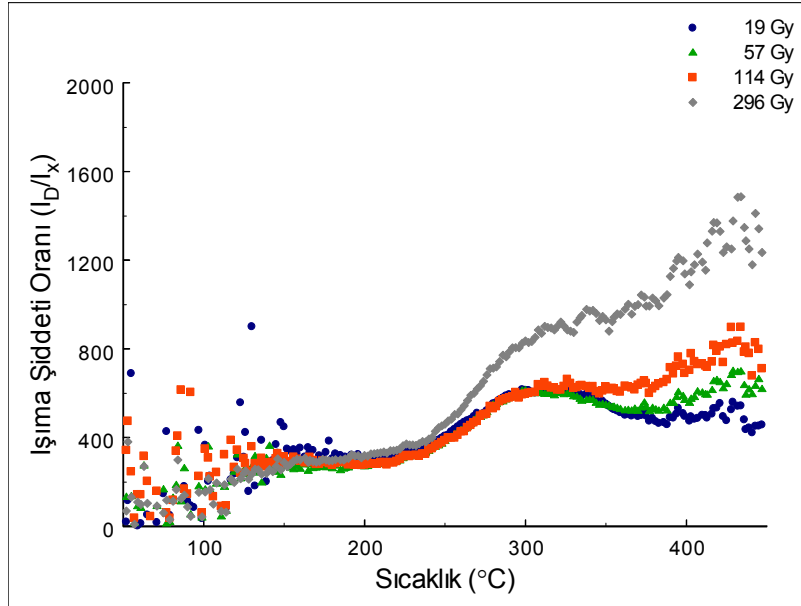
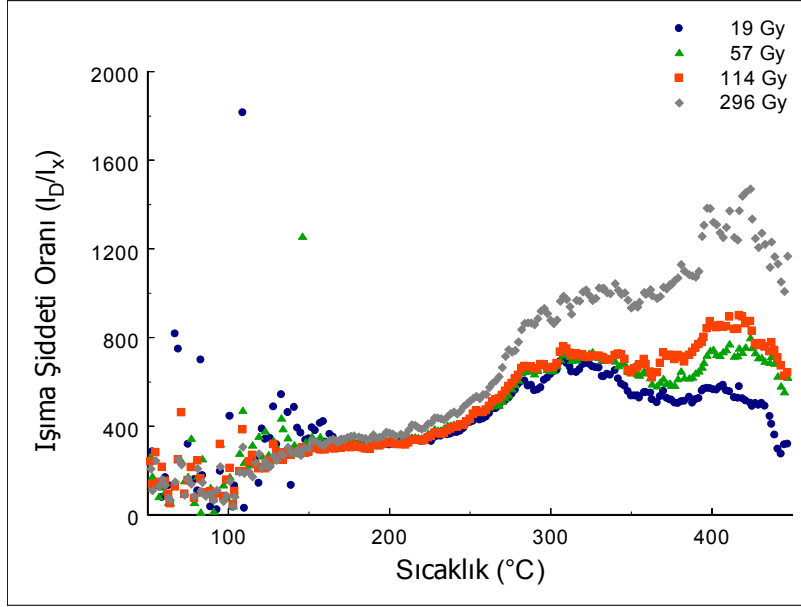
Şekil 4.6 Doğal ve $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ kaynağı ile farklı dozlarda ışınlamaların ardından alınan 4 kale alt alan kuvars örneğine ait parıldama eğrileri.

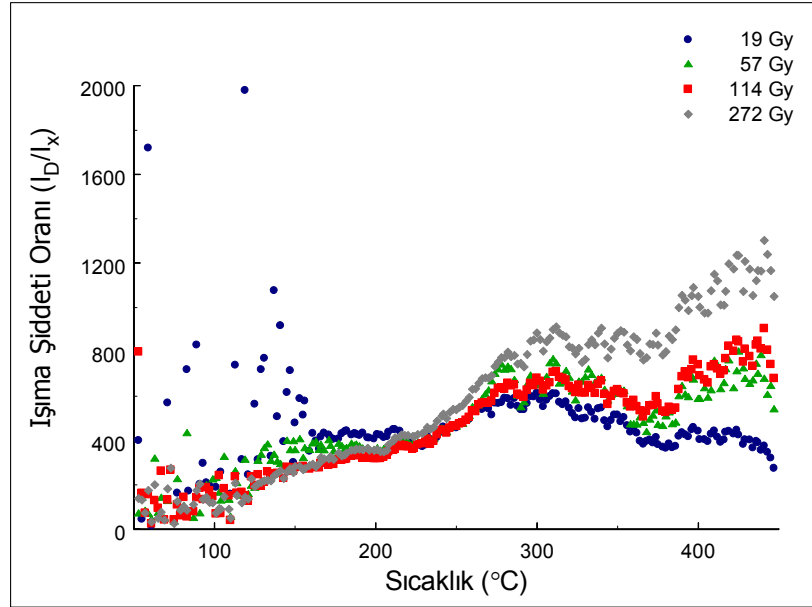
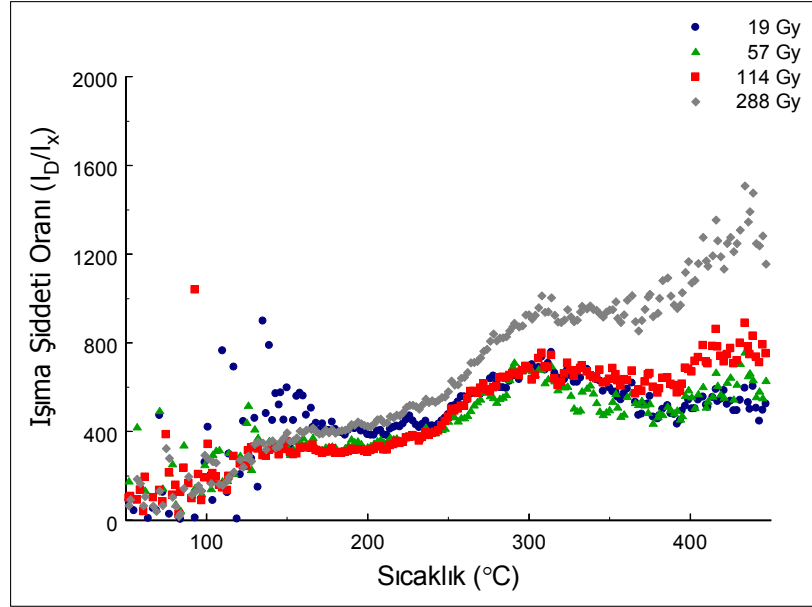




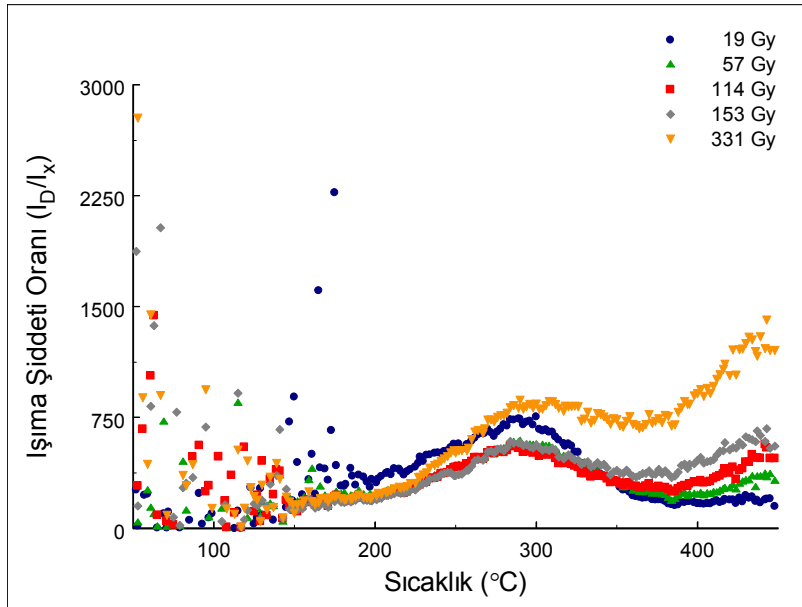
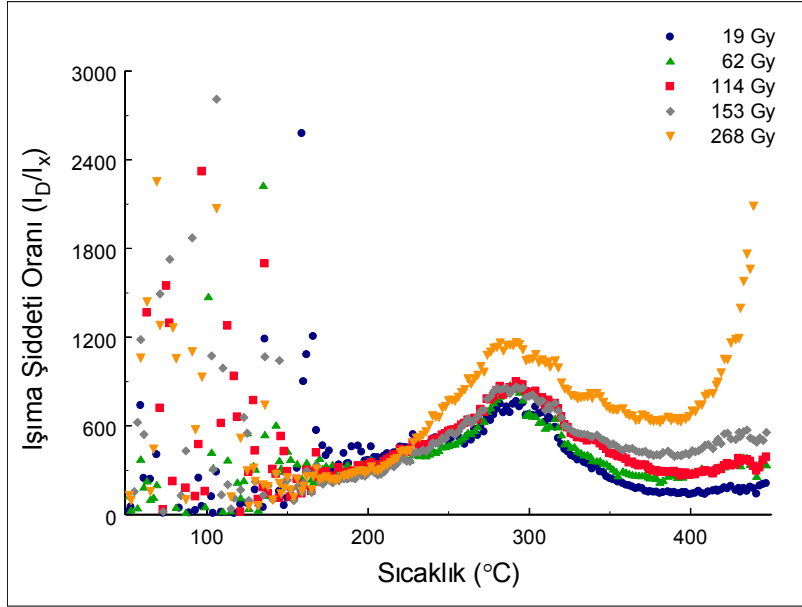
Şekil 4.7 Doğal ve $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ kaynağı ile farklı dozlarda ışınlamaların ardından alınan 4 kale üst alan kuvars örneğine ait parıldama eğrileri.

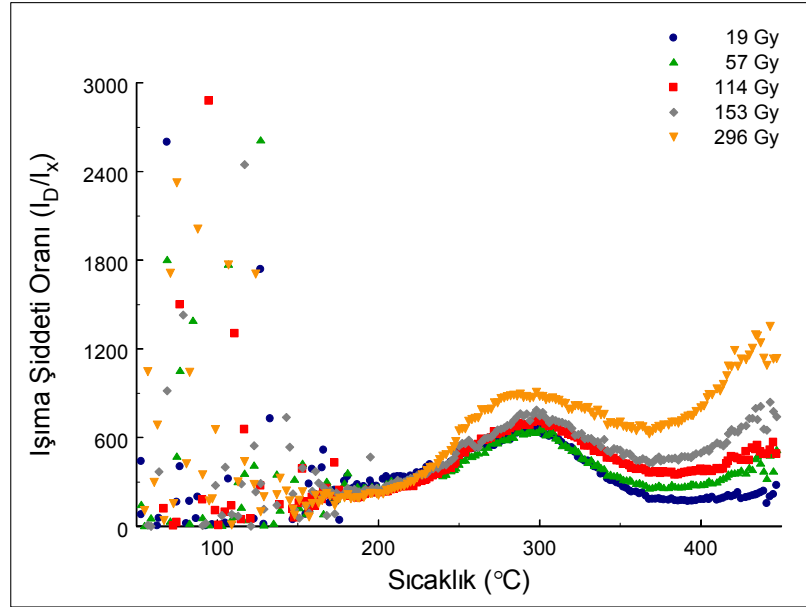
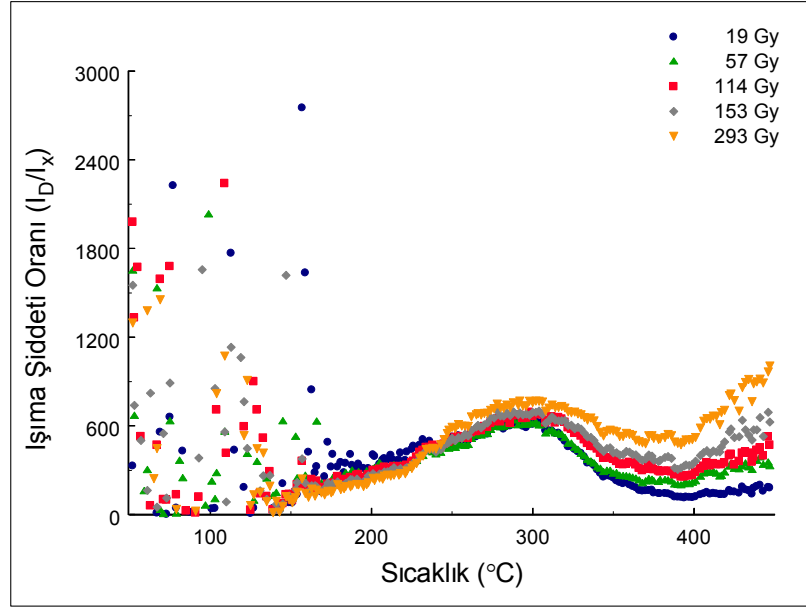
Yapılan ölçümlerden elde edilen parıldama eğrilerinin doğal sinyale oranından yararlanarak literatürde belirtildiği gibi her bir doz değeri için plato testi yapılmıştır (Şekil 4.8-4.9).





Şekil 4.8 Kale alt alan örneklerine ait plato testi sonuçları (I_D : doğal sinyal şiddeti, I_x : x dozuna bağlı şiddet).





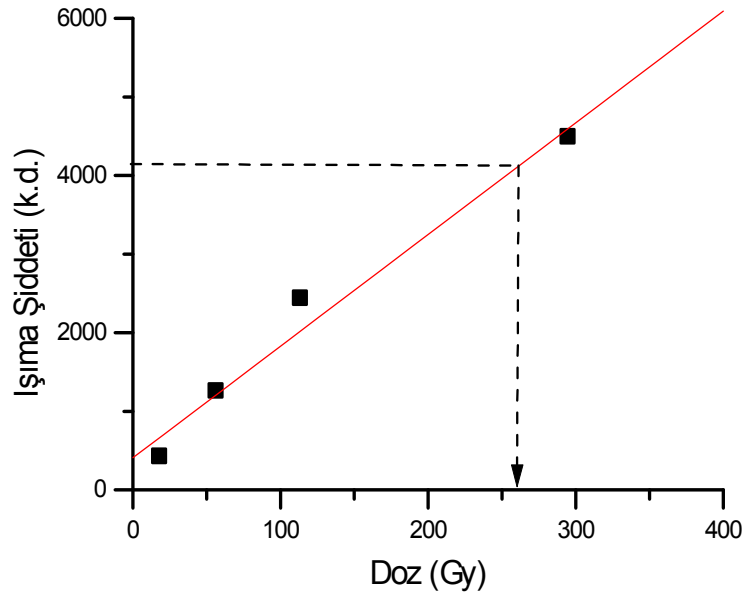
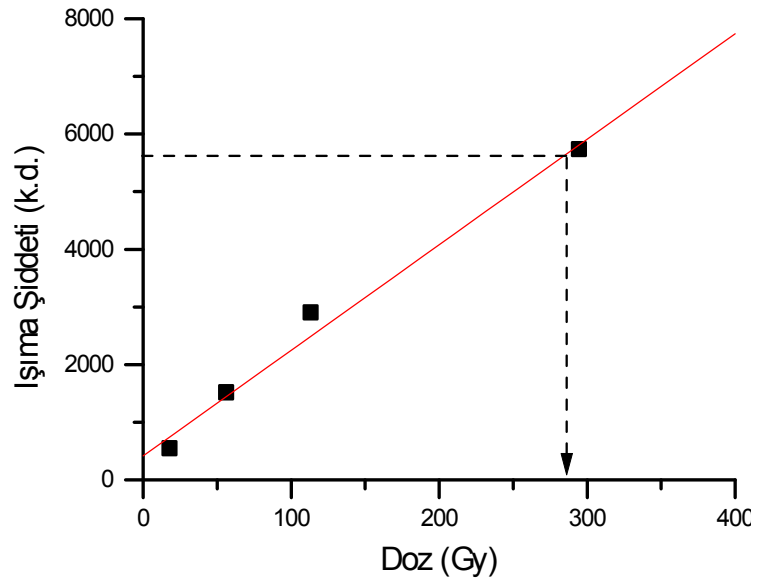
Şekil 4.9 Kale üst alan örneklerine ait plato testi sonuçları (I_D : doğal sinyal şiddeti, I_x : x dozuna bağlı şiddet).

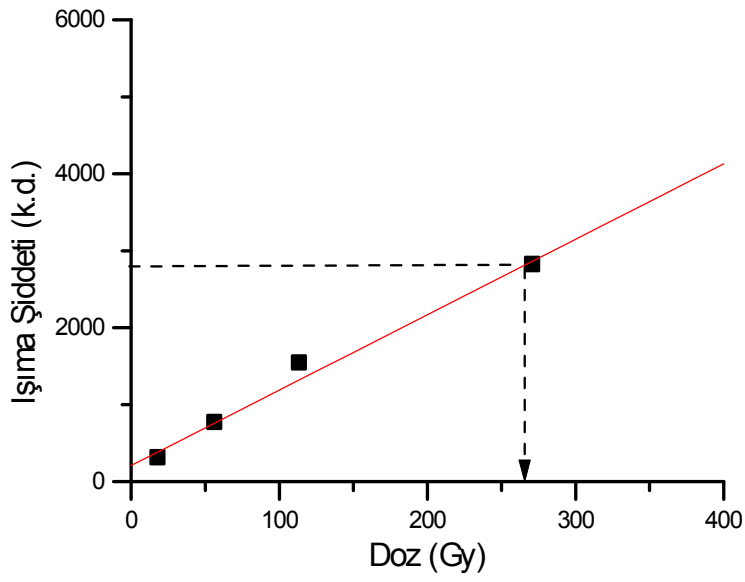
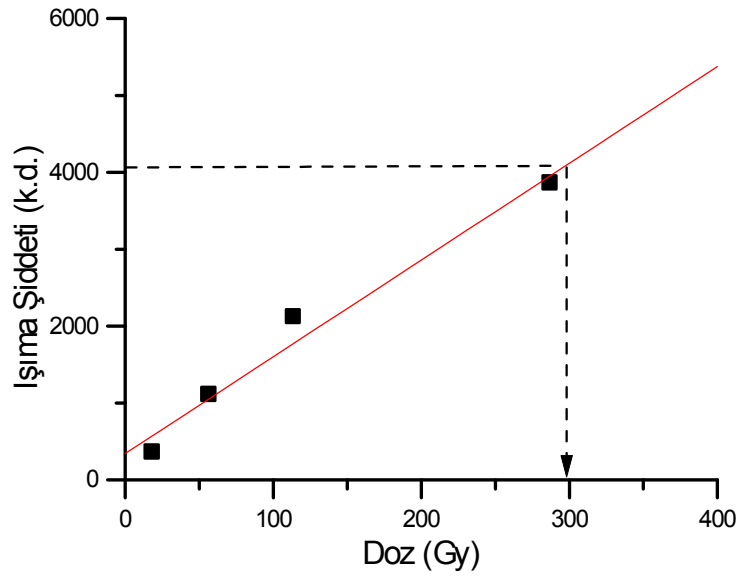
Plato testi yapılırken doğal ışımaya sinyallerinin (I_D), $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ kaynağı ile yapılan yapay dozla elde edilen ışımaya sinyaline (I_X) oranı alınır. Bu elde edilen oranın sıcaklığa göre çizilen grafiği incelenir. Bu grafiklerde bu oranın sabit kaldığı yani düz olarak gözlemlendiği bölgelere plato adı verilir. Bu plato bölgelerinin yaşam ömürlerinin örneğin yaşıyla kıyaslanabilecek kadar uzun olduğu ifade edilir ve tarihleme için integrasyon alanları bu plato bölgesinde kalan aralıktan belirlenir (Aitken 1985,1990b).

Plato testi sonuçları değerlendirildiğinde eşdeğer dozun belirlenmesi için uygun integrasyon aralığı olarak kale alt örneği için 300-316 °C ve kale üst örneği için ise 250-265 °C seçilmiştir.

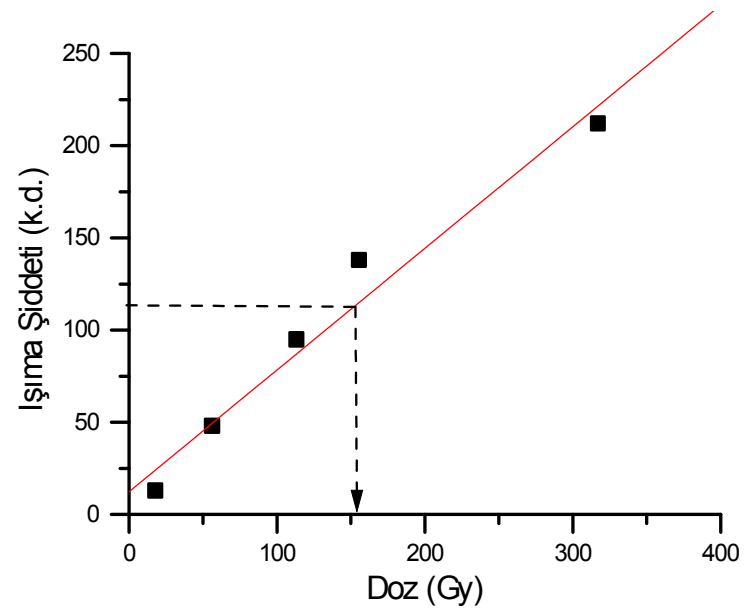
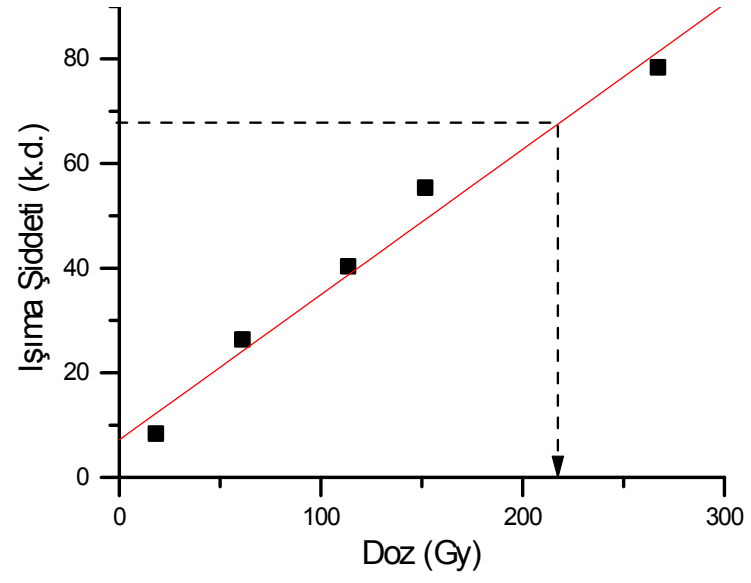
SAR tekniğine göre eşdeğer dozun belirlenmesi için büyütme eğrileri çizilir. Bu eğriler çizilirken plato testiyle belirlenen sıcaklık aralıklarında doğal ve her bir yapay ışınlama ile elde edilen ışımaya eğrilerinin altında kalan alanlarının integrasyonları hesaplanır. Her doz değerine karşılık gelen integrasyon değerlerine göre bir eğri çizilir. Bu eğrilere büyütme eğrileri denir (Şekil 4.10-4.11).

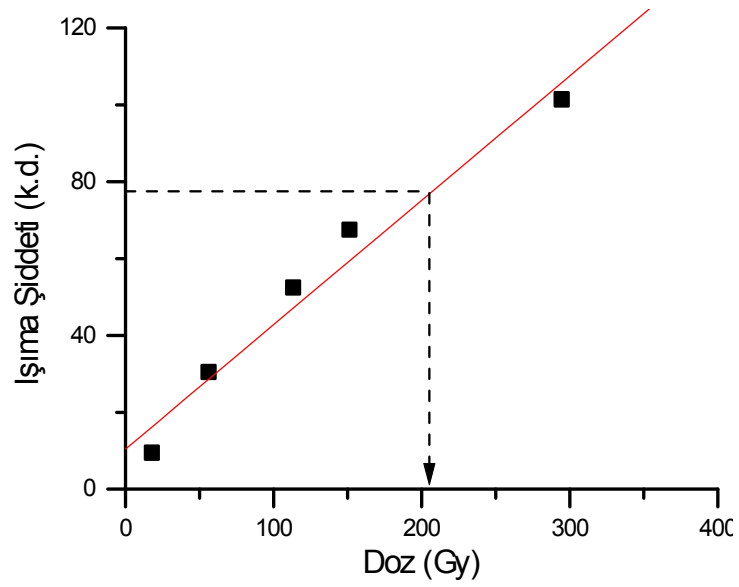
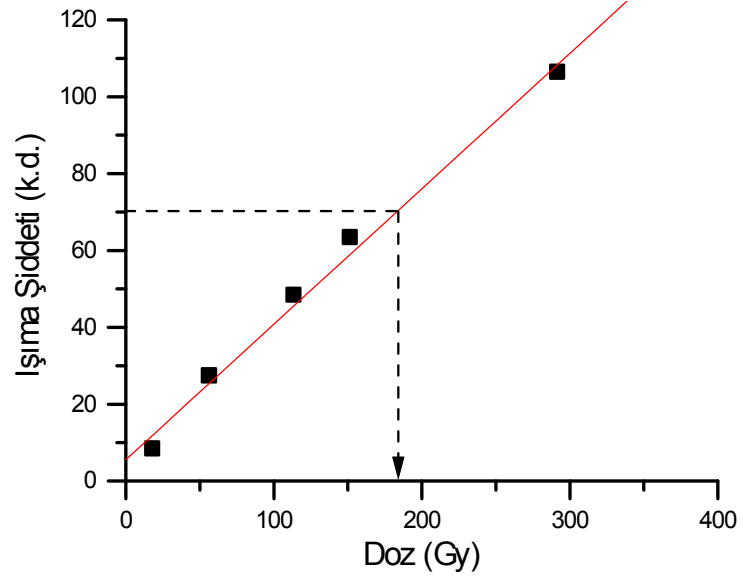
Büyütme eğrilerinden elde edilen doğru denklemi göz önüne alınarak, doğal sinyalin x ekseninde kestiği nokta belirlenmiş ve örneklere ait eşdeğer doz değerleri hesaplanmıştır. Bu verilere göre kale alt örneğine ait eşdeğer doz yaklaşık 278 ± 14 Gy, kale üst örneğine ait eşdeğer doz ise 182 ± 25 Gy olarak hesaplanmıştır.





Şekil 4.10 SAR tekniğine göre çizilen kale alt örneklerine ait büyütme eğrileri.





Şekil 4.11 SAR tekniğine göre çizilen kale üst örneklerine ait büyütme eğrileri.

Örnekler için hesaplanan eşdeğer doz değerleri ve alanlar için her iki metotla belirlenen yıllık doz hızları yaş denkleminde yerine konularak örneklerin yaşları hesaplanmıştır.

$$\text{Yaş} = [\text{Eşdeğer Doz (mGy)}] / [\text{Yıllık Doz (mGy/ y)}]$$

Bu yaş değerleri Çizelge 4.9-4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.9 Kale alt ve kale üst örneklerine ait hesaplanan eşdeğer doz, doğrudan metotla elde edilen yıllık doz hızı ve yaş değerleri.

Örnek Adı	Eşdeğer Doz (mGy)	Yıllık Doz Hızı (Doğrudan) (mGy.y ⁻¹)	Yaş (y)
Kale alt	278.409±13.762	3,21±0,42	86.732±11.276
Kale üst	182.320±25.293	2,26±0,32	80.673±11.294

Doğrudan metot ile edilen yıllık dozlar dikkate alınarak yaşlar incelendiğinde kale alt alanının yaklaşık 6.000 yıl daha önce ışık gördüğü söylenebilir (Çizelge 4.9). Doğrudan metot ile elde edilen yaşlarda hata oranı yaklaşık %14 civarındadır.

Dolaylı metotla elde edilen yıllık dozlar kullanıldığında iki alan arasındaki yaş farkı yaklaşık 10.000 yıldır (Çizelge 4.10). Fakat bu ölçüm tekniğinde elde edilen sonuçlardaki hata %30 civarındadır. Bu nedenle iki teknikte elde edilen yaşların birbirleriyle uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.10 Kale alt ve kale üst örneklerine ait hesaplanan eşdeğer doz, dolaylı metotla elde edilen yıllık doz hızı ve yaş değerleri.

Örnek Adı	Eşdeğer Doz (mGy)	Yıllık Doz Hızı (Dolaylı) (mGy.y ⁻¹)	Yaş (y)
Kale alt	278.409±13.762	2,89±0,70	96.335±23.617
Kale üst	182.320±25.293	2,13±0,60	85.596±26.796

Her iki metotla elde edilen yıllık doz hızlarının ortalaması alınıp yaş hesabında bu veriler kullanıldığında, iki alan arasında yaklaşık 8.000 yıllık bir fark elde edilmiştir (Çizelge 4.10). Bu bilgi bize kale alt alanındaki sedimentlerin kale üst alanındaki sedimentlere göre en son 8.000 yıl önce ışık gördüğünü ifade etmektedir.

Çizelge 4.11 Kale alt ve kale üst örneklerine ait hesaplanan eşdeğer doz, ortalama yıllık doz hızı ve yaş değerleri.

Örnek Adı	Eşdeğer Doz (mGy)	Ortalama Yıllık Doz Hızı (mGy.y ⁻¹)	Yaş (y)
Kale alt	278.409±13.762	3,05±0,82	91.282±24.649
Kale üst	182.320±25.293	2,20±0,69	83.062±28.253

Bu sonuçlara göre günümüzden yaklaşık 80-90 bin yıl önce bu bölgeye fluvial sedimentlerin taşınmasını sağlayan olayların yaşanmış olabileceği düşünülebilir.

Brooke ve arkadaşları Avustralya'da Moreton koyunda sertleşmiş kumların tarihlendirilmesiyle ilgili bir çalışma yapmışlardır (Brooke et al., 2008). Çalışmamızdaki örneklere benzer olarak koydan aldıkları kumlar içindeki kaba tanecik kuvars tanecikleri kullanılmıştır. Yıllık doz hesabında bu çalışmadan farklı olarak U ve Th konsantrasyonlarını belirlemek için kalın örnek alfa sayımını ve K konsantrasyonu için ise atomik soğurma spektroskopisini kullanmışlardır. Belirledikleri yıllık doz değerleri Kaletepe değerleri ile kıyaslandığında oldukça düşüktür. Ayrıca yine benzer olarak TL yöntemiyle eşdeğer doz ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmanın en dikkati çeken noktası toplam doz değerlerinin Kaletepe değerlerinden neredeyse on kat az olmasına rağmen yıllık doz hızlarının çok düşük olması nedeniyle 100.000 yıla varan yaşlar bulunmasıdır.

Yine Avustralya'da doğal su kaynaklarının çevresindeki toprak yığınlarındaki birikimlerin TL tekniği ile tarihlendirilmesi yapılmış bu ölçümlerde kaba tanecik kuvars örnekleri kullanılmıştır. Çalışmamıza benzer şekilde SAR tekniği kullanarak eşdeğer doz belirlenmiştir. TL tekniği ile hesaplanan yaş değerleri 10.000 ile 740.000 yıl arasındadır. TL tekniği ile bu kadar büyük yaşlar ölçebilmelerinin nedeni yıllık doz hızlarının Kaletepe yöresine göre çok çok düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Prescott and Habermehl, 2008).

Yapılan literatür incelemeleri sonucunda Türkiye'de fluvial sedimentlerden elde edilen kuvars mineralinin TL yöntemiyle tarihlendirilmesine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yurtdışındaki çalışmalar incelendiğinde ise sedimentlerin tarihlendirilmesinde TL yöntemi kullanılmaya devam etmekle birlikte OSL yönteminin de yaygınlaşmaya başladığı görülmüştür (Prescott and Robertson, 1997; Wintle, 2008).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Salihli-Kaletepe yöresinden sağlanan *fluvial* sediment örnekleri ışınma teknikleriyle tarihlendirilmiştir.

Çalışmanın ilk adımında, kale alt ve kale üst örnekleme alanlarının yıllık doz hızları doğrudan ve dolaylı metot olmak üzere iki şekilde tayin edilmiştir. Işınma tarihleme çalışmaları için kaba tanecik kuvars tekniğinin (*quartz inclusion technique*) kullanılmasına karar verilmiştir. Bu doğrultuda, yıllık doza sadece, gama radyasyonu (D_γ), beta radyasyonu (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 α - Al_2O_3 : C TLD dozimetreler kullanılmıştır. Doğrudan metot ile kale alt ve kale üst alanlarına ait yıllık doz hızı değerleri sırasıyla $3,21 \pm 0,42$ ve $2,26 \pm 0,32$ $mGy.y^{-1}$ olarak saptanmıştır. Dolaylı metot ile ölçümlerde HPGe gama spektrometre sistemi kullanılmıştır. Dolaylı metot ile elde edilen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları kullanılarak gama (D_γ) ve beta (D_β) dozları hesaplanmış ve kozmik radyasyon katkısı, alanlara ait yükselti, enlem ve toprak yoğunluğu verileri kullanılarak elde edilmiştir. Dolaylı metot ile kale alt ve kale üst alanlarına ait yıllık doz hızı değerleri sırası ile $2,89 \pm 0,70$ ve $2,13 \pm 0,60$ $mGy.y^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Özetle, elde edilen sonuçlar, % 68 güvenlik aralığı ($\pm 1\sigma$) içinde birbiri ile örtüşmektedir. Bu anlamda, çalışmada yıllık doz ölçümünde kullanılan her iki metodun birbirine göre avantaj ve dezavantajlarının altının çizilmesi gerekmektedir. Dolaylı metot ile ölçümler birkaç hafta alınırken, doğrudan metot ile ölçümlerde, doz hızı hesaplamalarında

oluşabilecek hatalardan kaçınmak için dozimetreler uzun süre (yaklaşık 1 yıl) çalışma alanında gömülü bırakılmaktadır. Açıkça ifade etmek gerekirse, kısa süreli ölçüm aralığı ile dolaylı metot, doğrudan metoda üstünlük sağlasa da, bu yöntem ile kozmik ışın katkısının doğrudan belirlenememesi söz konusu yöntemin en önemli dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Doğrudan metot ile yıllık doz ölçümlerinde daha öncede ifade edildiği üzere, dozimetrelerin çalışma alanında mümkün olduğu kadar uzun sürelerde ve farklı mevsimleri de içerecek şekilde bırakılması ölçümlerdeki hassasiyeti arttırmakta ve kozmik ışın katkısındaki hatalardan kaçınılmasını sağlamaktadır. Dolaylı ölçüm metodunda ise, toprak örneklerinin kapalı sistemlerden ve kor yöntemi ile alınması, doz ölçümlerinde radyoaktif dengeden kaynaklanacak hatalardan kaçınılmasını sağlamakta ve hesaplamalardaki hassasiyeti arttırmaktadır. Ayrıca bu yöntem ile çalışıldığında düşük aktiviteli örneklerin sayılarından gelebilecek hatalar, ölçüm süresi ve örnek miktarı artırılarak giderilmelidir.

Çalışmada eşdeğer doz ölçümleri yapılmadan önce, örneklerin güneş ışığı ile sönmelenme özellikleri incelenmiştir. Bu aşamada, güneş ışığına 90 dakika maruz kalan sediment örneklerinin doğal ışına sinyallerinin art ortam seviyesine indiği gözlenmiştir. Bu gözlem doğrultusunda, söz konusu malzemenin ışına yöntemi ile tarihlendirmeye uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Eşdeğer doz (ED) ölçümlerinde tekli örnek yenileme metodu (SAR) uygulanmıştır. Bu metotta tek örnek kullanılması yeterli olmasına rağmen, çalışmada istatistiksel hatanın azaltılması için her alana ait dört örneğin ışına ölçümleri yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması ED

değerleri olarak saptanmıştır. ED değerleri, kale alt alanı için 278 ± 14 Gy, kale üst alanı için ise 182 ± 25 Gy olarak hesaplanmıştır.

Her iki alana ait yıllık doz hızı ve eşdeğer doz değerleri belirlenerek, nehir yoluyla taşınmış olan sediment örneklerinden kimyasal yolla elde edilen kuvars taneciklerinin son ışık gördüğü tarih, yani yaşları belirlenmiştir. Ortalama yıllık doz değerleri göz ününe alındığında kale alt alanına ait sediment örneğinin yaşı 91.282 ± 24.649 yıl ve kale üst alanına ait sediment örneğinin yaşı ise 83.062 ± 28.253 yıl olarak hesaplanmıştır.

Her metot kendi içerisinde avantaj ve dezavantajlara ve ayrıca farklı hata kaynaklarına sahiptir. Bu anlamda, tarihleme ile ilgili çalışmalarda birden fazla yöntem kullanılarak bulguların değerlendirilmesi hata oranlarının azaltılmasına ve yaş tayininde daha doğru sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

Salihli-Kaletepe yöresinden sağlanan *fluvial* sediment örneklerinin **termal uyarımlı ışıma tekniği** ile tarihlendirildiği bu tez çalışması, bu bölgede yapılan ilk tarihleme çalışması olmasının yanı sıra ortaya koyduğu yıllık doz ölçüm sonuçları ve uygulanan yöntem ile benzer çalışmalara yol gösterici nitelikte olması nedeniyle önemli bir araştırmadır. Bu kapsamlı deneysel çalışma, ışıma tarihleme tekniğinin Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde uygulanmasına olanak sağlayacak bilgi birikiminin yanı sıra, alt yapı ve laboratuvar olanaklarının oluşmasına da katkıda bulunmuştur.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adamiec, G. and Aitken, M.J.**, 1998, Dose-rate conversion factors: update, *Ancient TL*, 16: 37-50pp.
- Aitken, M.J.**, 1985, Thermoluminescence Dating, Academic Press, London, 359p.
- 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.**, 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)

- Atlıhan, M.A. and Meric, N.**, 2008, Luminescence dating of a geological sample from Denizli, Turkey, *Applied Radiation Isotopes*, 66: 69–74pp.
- Barni, F. , Lewis S.W., Berti, A., Miskelly, G.M., Lago, G.**, 2007, Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection, *Talanta*, 72: 896-913pp.
- 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.
- Botter-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.
- Burbidge, C.I. and Duller, G.A.T.**, 2003, Combined gamma and beta dosimetry, using $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{C}$, for in situ measurements on a sequence of archaeological deposits, *Radiation Measurements*, 37: 285-291.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Buylaert, J.P., Murray A.S., Vandenberghe, D., Vriend, M., De Corte, F., Van den haute, P., 2008, Optical dating of Chinese loess using sand-sized quartz: Establishing a time frame for Late Pleistocene climate changes in the western part of the Chinese Loess Plateau, *Quaternary Geochronology*, 3: 99-113pp.

Brooke, B., Preda, M., Lee R., Cox, M., Olley, J., Pietsch T. and Price, D., 2008, Development, composition and age of indurated sand layers in the Late Quaternary coastal deposits of northern Moreton Bay, Queensland, *Australian Journal of Earth Sciences*, 55:141-157pp.

Curie, L.A., 1968, Limits for Qualitative Detection an Quantitative Determination, *Analytical Chemistry*, 40(3):586-593pp.

De Corte, F., Umansa, H., Vandenberghe, D., De Wispelaere, A., Van den haute, P., 2005, Direct gamma-spectrometric measurement of the ^{226}Ra 186.2 keV line for detecting $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$ disequilibrium in determining the environmental dose rate for the luminescence dating of sediments, *Applied Radiation and Isotopes*, 63:589-598pp.

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.
- 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.
- 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.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Furetta, C. and Kitis, G.,** 2004, Review Models in Thermoluminescence, *Journal of Materials Science*, 39: 2277-2294pp.
- Furetta, C. and Weng, P.S.,** 1998, Operational thermoluminescence dosimetry, World Scientific, Singapore, River Edge, N.J.
- Furetta, C.,** 2003, Some remarks on the pre-exponential factor and the half-life in second and general order of kinetics, *Journal of Materials Science Letters*, 22: 1395-1397pp.
- 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.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Guérin, G. and Samper, A.**, 2007, Aberrant thermoluminescence dates obtained from primary volcanic quartz, *Radiation Measurement*, 42:453 – 1459pp.
- 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.
- 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.
- 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.
- Lang, A., Rieser, U., Habermann, J. And Wagner., G. A.**, 1998 Luminescence Dating of Sediments, *Naturwissenschaften*, 85:515–523pp.
- 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.

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 .
- Mejdahl, V.**, 1979, Thermoluminescence dating: beta-dose attenuation in quartz grains, *Archaeometry*, 21:61-72.
- Miallier, D., Sanzelle, S., Pilleyre, T., Bassineta, C.**, 2006, Residual thermoluminescence for sun-bleached quartz: Dependence on pre-exposure radiation dose, *Quaternary Geochronology*, 1:313-319pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- 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.
- 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 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 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.
- Olley, J.M., Murray, A. and Roberts, R.G.**, 1996, The effects of Disequilibrium in the Uranium and Thorium Decay Chains on Burial Dose Rates in Fluvial Sediments, *Quaternary Science Reviews*, 15:751-760.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- 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. and Habermehl, M. A.,** 2008, Luminescence dating of spring mound deposits in the southwestern Great Artesian Basin, northern South Australia, *Australian Journal of Earth Sciences*, 55: 167-181pp.
- Prescott, J.R. and Hutton, J.T.,** 1988, Cosmic ray and gamma ray dosimetry for TL and ESR, *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 14, 223-227pp.
- Prescott, J. R. and Hutton, J.T.,** 1994, Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large Depths and long-term time variations, *Radiation Measurements*, 23 (2/3):497-500pp.
- 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: 893-922pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Prescott, J.R. and Stephan, L.G.**, 1982., The contribution of cosmic radiation to the environmental dose for thermoluminescent dating. Latitude, altitude and depth dependences, *PACT* 6, 17–25pp.
- Rasheedy, M.S., El-Sherif, M.A., Hefni, M. A.**, 2006, Applications of the three points analysis method for obtaining the trap parameters and the separation of hermoluminescence glow curve into its components, *Radiation Effects & Defects in Solids*, 161(10):579-590pp.
- Sözbilir, H.**, 2002. Geometry and origin of folding in the neogene sediments of the Gediz Graben, Western Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 15: 277–288pp.
- Stokes, S.**, 1999, Luminescence dating applications in geomorphological research, *Geomorphology*, 29: 153-171pp.
- Ulusoy, Ü.**, 2000, ESR dating of a quartz single crystal from the Menderes Massif in Turkey. *Applied Radiation Isotopes*, 52: 1363-1370pp.
- Vandenberghe, 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.
- Vij, D.R.**, 1998, Luminescence of Solids, Plenum Pres, New York.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- 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.
- Yaprak, G.**, 1995, Radyoaktif mineral içeren örneklerin gama spektroskopik analizlerde matris etkisi ve self absorpsiyon için bir düzeltme yönteminin geliştirilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü.
- 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.
- Zyihyong, H.**, 1999, Thermoluminescence Dating in Granitic Quartz, Ph.D. Thesis, University of Hong Kong.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Arzu Ege
Doğum Yeri : İzmir
Doğum Tarihi : 27.02.1976

Öğrenim Durumu:

Lisans : 1993–1998, Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Eğitim Fakültesi, Fizik Öğretmenliği.
Yüksek Lisans : 1999–2002, Celal Bayar Üniversitesi, Fen
Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Katıhal Fiziği
Anabilim Dalı.
Doktora : 2003– Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler
Enstitüsü

Mesleki Durumu:

1998–2000 : Bergama Final Dershanesi, Fizik Öğretmeni.
2000–2003 : Celal Bayar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü, Araştırma Görevlisi.
2003– : Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü,
Araştırma Görevlisi.