

**ARKEOLOJİK ÖRNEKLERİN İNFRARED
UYARMALI LÜMİNESANS (IRSL)
KULLANILARAK TARİHLENDİRİLMESİ**

Nisa Nur AKTI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2007
ANKARA**

Nisa Nur AKTI tarafından hazırlanan ARKEOLOJİK ÖRNEKLERİN INFRARED UYARMALI LÜMİNESANS (IRSL) KULLANILARAK TARİHLENDİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Doç. Dr. Eyyüp TEL
Tez Yöneticisi

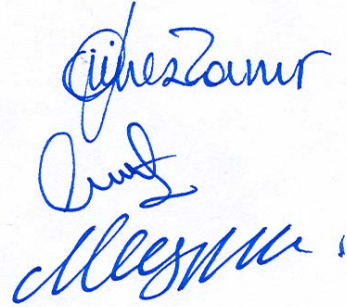
Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. A. Güneş TANIR

Üye : Doç. Dr. Eyyüp TEL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Niyazi MERİÇ

Tarih : 01/06/2007



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

N. Nur Akti

Nisa Nur AKTI

**ARKEOLOJİK ÖRNEKLERİN İNFRARED UYARMALI LÜMİNESANS
(IRSL) KULLANILARAK TARİHLENDİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Nisa Nur AKTI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2007

ÖZET

Feldspat örneklerin tarihlendirilmesinde infrared uyarmalı lüminesans (IRSL) rutin olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı Projesi (BTC HPBH) Büyükardıç-Erzincan arkeolojik kurtarma kazısından alınan çömlek parçasının IRSL yöntemiyle tarihlendirilmesi yapılmıştır. IRSL yöntemi ile tarihlendirme işleminin en önemli adımları, eşdeğer doz ve yıllık doz tespiti. Eşdeğer dozun belirlenmesinde, çok-tablet ve tek-tablet olmak üzere iki potansiyel yaklaşım kullanılmıştır. Tek-tablet işleminde yeniden oluşturma yöntemi kullanılmış olup, ortalama ve maksimum sayımlar için eşdeğer doz elde edilmiştir. Çok-tablet işleminde ilave doz yöntemi kullanılarak eşdeğer doz elde edilmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen eşdeğer doz değerlerinin kendi aralarında uyumlu olduğu gözlenmiştir. Son zamanlarda, eşdeğer doz tespiti için yapılan çalışmalarda farklı yöntemler geliştirilmektedir. Bu çerçevede çalışmamızda çok-tablet sürekli dalga optik uyarmalı lüminesans (CW-OSL) bozunum eğrilerinde, yavaş bileşenlerin eşdeğer doza katkısı incelenmiştir. Ayrıca CW-OSL'den lineer modülasyon optik uyarmalı lüminesansa (LM-OSL) bir geçiş uygulaması yapılmıştır. Daha sonra LM-OSL uygulaması sonucunda yavaş bileşenlerin eşdeğer doza katkısı incelenmiştir. CW-OSL ve LM-OSL yavaş bileşenlerinden elde edilen eşdeğer doz değerleri, tek-tablet ve çok-tablet prosedürlerinden elde edilen eşdeğer doz

değerlerine yakındır. Fakat LM-OSL tekniği sonucu, CW-OSL'den daha başarılıdır. Çömlek parçasının belirlenen yaş değeri, Erken Demir Çağı dönemi aralığı içerisine karşılık gelen 2640 ile 3320 yılları arasında değişiklik göstermektedir.

Bilim Kodu : 202.1.108

Anahtar Kelimeler : İnfrared uyarmalı lüminesans (IRSL), Feldspat, Eşdeğer Doz (ED), Yıllık doz, Yaş

Sayfa adedi : 74

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Eyyüp TEL

**DATING OF ARCHAEOLOGICAL SAMPLES USING INFRARED
STIMULATION LUMINESCENCE (IRSL)
(M.Sc. Thesis)**

Nisa Nur AKTI

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2007

ABSTRACT

Infrared stimulation luminescence (IRSL) has been extensively used for dating of feldspars. In this study, pot sherds taken from Baku-Tbilisi-Ceyhan Crude Oil Pipe Line Project including archaeological salvage excavation at Büyükdere-Erzincan has been dated using IRSL method. Determination of equivalent dose and annual dose is very important rank of IRSL dating. Two potential approaches known single-aliquot and multiple-aliquot were used in determination of equivalent dose. In the present work, regeneration method has been used for single-aliquot procedure and equivalent dose has also been obtained by taking into account the average and maximum counts. By using additive dose method, equivalent dose has been obtained for multiple-aliquot procedure. Equivalent dose results obtained from both methods are in agreement with each other.

Recently, different methods have been improved in some studies for determination of equivalent dose. In this study, effect of slow components on ED was discussed for continuous wave optically stimulated luminescence (CW-OSL) decay curves obtained from multiple-aliquot procedure. Furthermore, it has been made a transformation from CW-OSL decay curves to the linear modulation optically stimulated luminescence (LM-OSL). Then, the effect of the slow components on ED was discussed in the result of LM-OSL application.

Equivalent dose results of slow components have been obtained from CW-OSL and LM-OSL are agree with equivalent dose results of the single-aliquot and multiple-aliquot procedures. In result, LM-OSL is more succesful than CW-OSL. The determined age of pot sherd has been found in the range of 2640-3320 years in which range corresponds to Early Iron Age.

Science code : 202.1.108
Key words : Infrared Stimulation Luminescence (IRSL), Feldspar, Equivalent dose, Annual dose, Age
Page number : 74
Adviser : Assoc. Prof. Eyyüp TEL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. A. Güneş TANIR'a yine her türlü konuda yardım ve desteğini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Eyyüp TEL'e, tezimin son olarak şekillendirilmesinde değerli yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Şeref OKUDUCU' ya, çalışmamda kullandığım örnek hakkında engin bilgilerini esirgemeyen Doç. Dr. S. Yücel ŞENYURT'a, tez çalışmalarım süresince OSL konusundaki bilgilerini benimle paylaşan ve anlayışlı tutumlarıyla yardımcı olan meslektaşım Arş. Gör. M. Hicabi BÖLÜKDEMİR'e, beni yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşlarıma ve ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1.GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL).....	6
2.2. Eşdeğer Doz Tespiti.....	15
2.2.1. İlave doz yöntemi.....	15
2.2.2. Yeniden oluşturma yöntemi.....	17
2.3. Yıllık Doz.....	18
3.DENEYSEL İŞLEMLER.....	21
3.1.Deney Sistemi.....	21
3.1.1. OSL 9010 sistemi.....	21
3.1.2. OSL 9010 sisteminin kalibrasyonu.....	23
3.1.3. 7286 Alfa sayma sistemi.....	25
3.1.4. 7286 Alfa sayma sisteminin kalibrasyonu.....	26

Sayfa

3.2. Örnek Alımı ve Hazırlanması.....	28
3.2.1. Bakü-Tiflis-Ceyhan ham petrol boru hattı projesi genel tanımı.....	29
3.2.2. Büyükardıç kazısı.....	30
3.2.3. Eşdeğer doz ve yıllık doz tespiti için örnek hazırlığı.....	33
3.3. Metodoloji.....	34
3.3.1. Ön ısıtma sıcaklığı.....	34
3.3.2. En uygun sayma zamanının belirlenmesi.....	35
3.3.3. Eşdeğer doz tespiti.....	36
3.3.4. Yıllık doz tespiti.....	43
3.3.5. Farklı eşdeğer doz uygulamaları.....	45
4.SONUÇ.....	63
KAYNAKLAR.....	66
EKLER.....	70
EK-1 Deneyde kullanılan aletlerin resimleri.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi doza bağlı ortalama IRSL sayım verileri.....	37
Çizelge 3.2. Tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi doza bağlı maksimum IRSL sayım verileri.....	37
Çizelge 3.3. Çok-tablet ilave doz yöntemi doza bağlı IRSL sayım verileri.....	41
Çizelge 3.4. Yaş hesabı için programda ihtiyaç duyulan bilgi ve değerler.....	43
Çizelge 3.5. Doz hızları.....	44
Çizelge 3.6. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık elde edilen CW-OSL fit sonuçları.....	49
Çizelge 3.7. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık fit edilmiş CW-OSL toplam bozunum denklemleri.....	50
Çizelge 3.8. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık fit edilmiş CW-OSL hızlı ve yavaş bileşen bozunum denklemleri.....	50
Çizelge 3.9. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık fit edilmiş CW-OSL yavaş bileşen sayım verileri.....	51
Çizelge 3.10. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık elde edilen LM-OSL toplam bozunum denklemleri.....	56
Çizelge 3.11. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık elde edilen LM-OSL hızlı ve yavaş bileşen bozunum denklemleri.....	57
Çizelge 3.12. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık LM-OSL yavaş bileşenler için elde edilen L_{mak} sayım verileri.....	61
Çizelge 4.1. Büyükdüç çömlek parçasının ED, yıllık doz ve yaş değerleri.....	64
Çizelge 4.2. Hataların dağılımı.....	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kristal yapısında bulunan kusurlar.....	7
Şekil 2.2. Band modeline göre lüminesans mekanizmasının enerji diyagramı.....	8
Şekil 2.3. Tipik bir OSL bozunum eğrisi.....	10
Şekil 2.4. OSL sistemi için basitleştirilmiş diyagram.....	10
Şekil 2.5. Model sistematığı.....	12
Şekil 2.6. İlave doz yönteminde ED'nin tespiti için elde edilen grafik.....	17
Şekil 2.7. Yeniden oluşturma yönteminde ED'nin tespiti için elde edilen grafik.....	18
Şekil 2.8. Alfa, beta ve gamma ışınlarının menzilleri.....	19
Şekil 3.1. OSL 9010 sayma sistemi deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	22
Şekil 3.2. Beta kaynağının şematik gösterimi.....	22
Şekil 3.3. Fotoçoğaltıcının H.T. voltaj kalibrasyon eğrisi (Eşik değeri =1 için).....	24
Şekil 3.4. OSL 9010 sistemindeki önyükselticinin eşik değerini bulmak için elde edilen kalibrasyon eğrisi	25
Şekil 3.5. Alfa sayma sisteminin şematik gösterimi.....	26
Şekil 3.6. EMI 6097B fotoçoğaltıcı tüpün H.T. voltajının tespiti için çizilen kalibrasyon eğrisi.....	28
Şekil 3.7. Alfa sayma sisteminde önyükselticinin eşik değerini bulmak için elde edilen kalibrasyon eğrisi.....	28
Şekil 3.8. Oda sıcaklığındaki ($\approx 20^{\circ}\text{C}$) IRSL bozunma eğrisi.....	36
Şekil 3.9. Tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi işlem algoritması.....	38
Şekil 3.10. Tek-tablet yeniden oluşturma yönteminde doğal lüminesans için elde edilen IRSL bozunum eğrisi.....	39

Şekil	Sayfa
Şekil 3.11. Tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi ortalama sayım ED grafiği.....	39
Şekil 3.12. Tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi maksimum sayım ED grafiği.....	40
Şekil 3.13. Çok-tablet ilave doz yöntemi işlem algoritması.....	41
Şekil 3.14. Çok-tablet ilave doz yönteminde doğal lüminesans için IRSI bozunum eğrisi.....	42
Şekil 3.15. Çok-tablet ilave doz yöntemi ED grafiği.....	42
Şekil 3.16. Çok-tablet ilave doz yönteminde doğal lüminesans için CW-OSL fit eğrisi.....	46
Şekil 3.17. Çok-tablet ilave doz yönteminde 0,51Gy için CW-OSL fit eğrisi.....	46
Şekil 3.18. Çok-tablet ilave doz yönteminde 1,02Gy için CW-OSL fit eğrisi.....	47
Şekil 3.19. Çok-tablet ilave doz yönteminde 2,04Gy için CW-OSL fit eğrisi.....	47
Şekil 3.20. Çok-tablet ilave doz yönteminde 4,08Gy için CW-OSL fit eğrisi.....	48
Şekil 3.21. Çok-tablet ilave doz yönteminde 8,16Gy için CW-OSL fit eğrisi.....	48
Şekil 3.22. Çok-tablet ilave doz yönteminde 16,32Gy için CW-OSL fit eğrisi.....	49
Şekil 3.23. Çok-tablet ilave doz yöntemi fit edilmiş CW-OSL yavaş bileşen için elde edilen ED grafiği.....	51
Şekil 3.24. Çok-tablet ilave doz yönteminde doğal lüminesans için LM-OSL eğrileri.....	58
Şekil 3.25. Çok-tablet ilave doz yönteminde 0,51Gy için LM-OSL eğrileri.....	58

Şekil	Sayfa
Şekil 3.26. Çok-tablet ilave doz yönteminde 1,02Gy için LM-OSL eğrileri.....	59
Şekil 3.27. Çok-tablet ilave doz yönteminde 2,04Gy için LM-OSL eğrileri.....	59
Şekil 3.28. Çok-tablet ilave doz yönteminde 4,08Gy için LM-OSL eğrileri.....	60
Şekil 3.29. Çok-tablet ilave doz yönteminde 8,16Gy için LM-OSL eğrileri.....	60
Şekil 3.30. Çok-tablet ilave doz yönteminde 16,32Gy için LM-OSL eğrileri.....	61
Şekil 3.31. Çok-tablet ilave doz yönteminde LM-OSL yavaş bileşenler için elde edilen ED grafiği.....	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Büyükardıç tepesi ve yerleşim terası.....	31
Resim 3.2. IRSL yöntemiyle tarihlendirilmesi yapılan çömlek parçası.....	32

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. BTC HPBH projesi fiziki haritası.....	30
Harita 3.2. BTC HPBH projesi siyasi haritası.....	30
Harita 3.3. Büyükardıç topografik haritası.....	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
ka	Tarihlendirme birimi; 1ka=1000 yıl
Ts	Sığ tuzak
Td	Derin tuzak
H	Deşik
R	Lüminesans merkezi
E	Tuzak enerjisi
Ei	İletim bandı enerjisi
Ev	Valans bandı enerjisi
L(N)	Doğal lüminesans sinyali
L(β)	β dozuna karşılık gelen lüminesans sinyali
L(N+β)	Doğal+artan dozlara karşılık gelen lüminesans sinyali
Th	Toryum
U	Uranyum
K	Potasyum
Gy	Gray (Radyasyon soğurma birimi)=J/kg
⁹⁰Sr	Stronsiyum-90
⁹⁰Y	Yttriyum-90
H.T.	Yüksek voltaj
P.M.	Fotoçoğaltıcı
HCl	Hidroklorik asit
ZnS	Çinko sülfür

Kısaltmalar	Açıklama
OSL	Optik Uyarmalı Lüminesans
TL	Termolüminesans
ESR	Elektron Spin Rezonans
IRSL	İnfrared Uyarmalı Lüminesans
LED	Işık Yayan Diyot
IR	İnfrared
ED	Eşdeğer doz
SARA	Tek Tablet Yeniden Oluşturma İlave Doz Yöntemi
CW-OSL	Sürekli dalga OSL
LM-OSL	Lineer Modülasyon OSL
POSL	Pulslu OSL
LMT	Lineer Modülasyon Tekniği
BTC HPBHP	Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı Projesi
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
SANAEM	Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi
GÜ-ARÇED	Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Arkeolojik Çevre Değerleri Araştırma Merkezi

1.GİRİŞ

Organik ve inorganik malzemelerin tarihlendirilmesinde kullanılabilecek çeşitli tarihlendirme yöntemleri vardır. Organik malzemelerin yaşını bulmakta yaygın olarak kullanılan yöntem Radyokarbon Tarihlendirme'sidir. Doğal ve suni olarak türemiş çevresel olaylarla ilişkili materyallerin tarihlendirilmesi için organik olmayan malzemelerle de çalışılabilen daha yeni ve farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunların başında Lüminesans Yöntemleri gelir. Optik uyarmalı lüminesans (OSL) yöntemi, bir mineralin soğurduğu nükleer radyasyon dozunun tespiti için termolüminesans (TL) ve elektron spin rezonansa (ESR) alternatif bir yöntemdir. Kristal içinde tuzaklanmış yüklerin çıkarılması; TL'de sıcaklık ile OSL'de ışık ile yapılır. Uyarıcı olarak kullanılan ışığın dalga boyu infrared bölgede ise yöntem infrared uyarmalı lüminesans (IRSL) olarak adlandırılır.

OSL, arkeolojik ve jeolojik materyalleri tarihlendirme çalışmalarında, dozimetre ve katıhal araştırmalarında, popülaritesi gün geçtikçe artmakta olan bir yöntemdir. OSL, ilk kez 1985 yılında Huntley ve ark. tarafından tarihlendirme amacıyla önerilmiştir [1]. Huntley ve ark. ilk deneylerinde 514,5nm'lik argon iyon lazerinden çıkan demeti kullanarak Güney Avustralya'da bir deniz kenarından aldıkları örnekler üzerinde çalışmışlardır. Örnekler bu lazer demetinin yeşil ışığı ile uyarılmış ve yayınlanan mavi/mor lüminesans sinyalleri ölçülmüştür. Filtreli lambalar ve daha sonra ışık yayan diyotlara (LED) dayalı olan daha ucuz uyarma sistemlerinin gelişmesi, tarihlendirme uygulamalarında artışa sebep olmuştur. Hütt ve ark. tarafından ilk kez 1988 yılında, infrared ışığın ($880\pm 80\text{nm}$) feldspatlardaki lüminesansı ölçmek için kullanılabileceği ortaya çıkarılmıştır [2]. Ayrıca 1990 yılında Spooner ve ark. tarafından, infrared uyarımı ile sadece feldspatlardan lüminesans üretildiği ve kuvarslarda lüminesans oluşturulamadığı açıklanmıştır [3].

Feldspatlar ve kuvarslar yaygın olarak lüminesans tarihlendirmede kullanılan minerallerdir ve çevre dozimetrisinde önemli yer tutarlar. Kuvarslar kimyasal olarak basit minerallerdir fakat feldspatların çok geniş bir bileşim aralığı vardır. Feldspatlar minerolojik olarak kuvarslardan daha karmaşık olmalarına rağmen, lüminesans

davranışları, üzerlerinde çok sayıda ve önemli araştırmalar yapılmasına uygundur. Feldspatlarla çalışmanın en büyük avantajı infrared ışıkla uyarıldıklarında OSL sinyali sergileyebilmeleridir. Ayrıca feldspatlar çok düşük radyasyon dozlarına maruz bırakılsalar bile lüminesans ölçümleri alınabilir. Feldspatların lüminesans mekanizmasının karakteristik özelliklerini anlamak için çok sayıda çalışma yürütülmüştür [4,5]. Feldspat örneklerinin IRSL çalışmalarının ilk analizleri Bailiff ve Poolton tarafından yapılmıştır [6]. Feldspatların IRSL bozunma eğrilerinin biçimlerinin tuzaklardaki elektronların lokalize oldukları yerlerden etkilendiği söylenir [7]. Örnekler uzun bir yeşil ışık uyarımına maruz bırakıldıklarında IRSL, zamanın fonksiyonu olarak incelenirse bozunmadan önce açıkça bir artış olduğu görülür. Buna benzer çalışmalar pek çok araştırmacı tarafından yapılmıştır [8-10].

Lüminesans ile tarihlendirme çalışmalarında numunelerin yaşı, toplam dozun yıllık doza oranı ile bulunur [11].

$$\text{Yaş (ka)} = \frac{\text{Eşdeğer Doz (Gy)}}{\text{Yıllık Doz (Gy/ka)}} \quad (1.1)$$

Yani, numunelerin lüminesans ile tarihlendirilmesi şu iki temel büyüklüğün ölçülmesine dayanır:

1-Eşdeğer Doz

2-Yıllık Doz

Lüminesans ile tarihlendirme işleminde, kuvars ve feldspat örnekler laboratuvarında uygun dalga boylu ve şiddetteki kararlı ışık kaynaklarına maruz bırakılır ve bu işlem esnasında mineralden gelen lüminesans, uyarma zamanının bir fonksiyonu olarak gözlenir. Uyarma periyodu esnasındaki yayılan lüminesansın toplamı, numunenin ışığa en son maruz kaldığı günden şu anki zamana kadar mineral tarafından soğurulan nükleer radyasyon dozunun ölçümüdür. Bilinen radyasyon dozlarına karşı sinyallerin karşılaştırılmasıyla soğurulan doz miktarı elde edilir. Bu nicelik Eşdeğer Doz (ED) veya Paleodoz olarak bilinir. Yıllık doz ise örneğin bir yılda maruz kaldığı

radyasyon dozunu tanımlar. Bu niceliğin belirlenmesinden sonra Eş.1.1 ile örneğin yaşı bulunabilir.

ED'nin belirlenmesinde, çok-tablet ve tek-tablet olmak üzere iki potansiyel yaklaşım vardır. IRSL çalışmalarında, ED'nin tayini için geleneksel metod olarak çok-tablet yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok-tablet metoduna dayalı işlemlerde özdeş özelliklere sahip çok sayıda örnek gerekmektedir. Tabletlerin her ne kadar özdeş olmaları bekleniyorsa da küçük farklılıkları gidermek için normalize edilmeleri gerekmektedir. ED ölçümlerinde kullanılan çok-tablet metodu iki kategoriye ayrılabilir: (1) İlave doz (2) Yeniden oluşturma. Çok-tablet ilave doz metodu ismini gerçekte çok sayıda tablete ihtiyaç duyduğundan ve doğal dozun üzerine laboratuvar dozu ilave edilmesinden alır [12].

ED'nin belirlenmesinde, tek-tablet kullanımı ilk kez Duller tarafından tanımlanmıştır [13-14]. Bu konuda daha sonraki çalışmalar pek çok araştırmacı tarafından yürütülmüştür [15-20]. Bu yöntemde tüm işlemler sadece örneğin tek bir tabletinin kullanımına dayandırılır. Yöntem, çok-tablet metoduyla karşılaştırıldığında, normalizasyona ihtiyaç duyulmaması, az miktarda örneğin yeterli olması, değerlendirmede kesinlik sağlaması, ölçümlerin hızlı olması gibi avantajlara sahiptir. Bu yöntem için 1996 yılında Murray tarafından “çift ön ısıtma” işlemi, en uygun yeniden oluşturmaya ortaya çıkarmak için en iyi işlem olarak görülmüştür [21]. ED ölçümlerinde kullanılan tek-tablet metodu üç kategoriye ayrılabilir: (1) İlave doz (2) Yeniden oluşturma (3) Tek tablet yeniden oluşturma ilave dozu (SARA)

Tek-tablet yeniden oluşturma ilave doz (SARA) metodu, 1994 yılında Bøtter-Jensen ve Mejdahl tarafından tek-tablet yeniden oluşturma işleminde hassasiyet değişim etkilerinin üstesinden gelmek için ileri sürülmüştür [15]. Bu metot, örneğin 3-4 tabletinin kullanılmasıyla uygulandığı için, gerçek bir tek-tablet kullanımı işleminden farklı olup her bir tabletin tekrar ölçülmesine dayanır. SARA metodu yeni geliştirilmiş bir yöntemdir ve genç örnekler için idealdir.

OSL işleminde, aşağıdaki gibi sınıflandırılabilen farklı uyarma şekilleri vardır.

- 1- Sürekli dalga OSL (CW-OSL)
- 2- Lineer Modülasyon OSL (LM-OSL)
- 3- Pulsu OSL (POSL)

Pek çok OSL uygulamalarında ölçümler sürekli dalga OSL (CW-OSL) şeklinde alınır. Burada örnek, sabit ışık şiddetiyle uyarılarak uyarma süresince lüminesans kaydı yapılır. CW-OSL’de uyarma kaynağı açık iken lüminesans sürekli bir şekilde gözlenebilir. Dar bant veya kesici filtreler, uyarma ışığı ile emisyonu ayırmak ve uyarma ışığının dedektör girişinden dağılımını önlemek için kullanılır. Genellikle OSL, uyarma ışığı açıldığı anda gözlenir. Bütün tuzaklar boşalıp sabit bir taban seviyesine ulaşıncaya kadar üstel fonksiyona benzeyen bir lüminesans bozunum eğrisi gözlenir. Daha sonra, toplam emisyon sinyali (bozunum eğrisinin altında kalan alan) kaydedilir ve soğurulan dozun tespiti için kullanılır [22].

1996 yılında Bulur tarafından OSL ölçümü için, lüminesans kaydı süresince uyarma ışığı şiddetinin sıfırdan bir maksimum değere kadar lineer olarak artmasına dayalı “Lineer Modülasyon Tekniği (LMT)” adında yeni bir teknik ileri sürülmüştür [23]. Ele alınan geleneksel OSL bozunum eğrisinin aksine, LMT pik şeklinde lüminesans eğrisi verir. Yeni lüminesans eğrisinin parametreleri; tuzaklanmış elektronların sayısı ve tuzaklardan elektronların boşalma hızı gibi lüminesans işleminden sorumlu tuzakların fiziksel parametreleriyle ilişkili olan pik yüksekliği L_{mak} ve pik durumu t_{mak} olarak verilir [24]. 1985 yılında Huntley ve ark. tarafından uyarılma zamanıyla azalan lüminesansın, tek bir eksponansiyeli takip etmediği belirtilmiştir [1]. Bu lüminesansın; her biri farklı bozunum hızlı olan birden daha fazla tuzak tipinden meydana geldiğini önerilmiştir. 1994 yılında Smith ve Rhodes, 1997 yılında Bailey ve ark. tarafından kuvarslar için lüminesans ile azalan eğrinin genellikle “hızlı”, “orta” ve “yavaş” olmak üzere üç ana bileşenden meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır [25-26]. Bu durumdan esinlenerek lineer modülasyon tekniğini geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda LMT için örneklerin bozunum eğrilerinden bu bileşenlerin varlığı gözlenmiştir.

Pulslu OSL olarak adlandırılan uyarma şekli 1996 yılında Mc Keever ve ark. tarafından önerilmiştir [27]. Burada uyarma ışığı pulslanır ve OSL yalnızca eş zamanlı uyarıcı ışık pulsları arasında ölçülür. Uyarma ışığı kaynağı kapatıldığında çıkan lüminesans sayıldığından, uyarma ışığı ile lüminesansı birbirinden ayırmak için optik filtreler ihtiyacı vardır [28].

Bu çalışmanın esas amacı, Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı Projesi (BTC HPBHP) kapsamındaki Büyükardıç Arkeolojik Kurtarma Kazısı'ndan alınan çömlek parçasının IRSL yöntemiyle tarihlendirilmesidir. Bu çerçevede örneğin eşdeğer dozu, tek-tablet yeniden oluşturma ve çok-tablet ilave doz yöntemleriyle tespit edilmiştir. Ayrıca ek çalışma olarak, çok-tablet CW-OSL bozunum eğrilerinde, yavaş tuzak bileşenlerin ED'ye katkısı incelenmiştir. Daha sonra CW-OSL'den LM-OSL'ye bir geçiş uygulaması yapılmış ve bu uygulama sonucunda da yavaş bileşenlerin ED'ye katkısı incelenmiştir.

Çalışmada, öncelikle konu ile ilgili genel bilgiler sunulmuş, ardından deney sisteminin tanıtılması ve yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Son olarak, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL)

Lüminesans, minerallerin laboratuvar ortamında kontrollü olarak ısıtılması veya ışınlanması sonucu, kristal örgüdeki ısıya veya ışığa duyarlı tuzaklardaki elektron ve pozitif boşlukların serbest kalması sonucu yayılır. Minerallerin bu doğal lüminesans şiddeti, en son güneş gördükleri günden itibaren almış oldukları radyasyon dozunun bir ölçüsüdür [29].

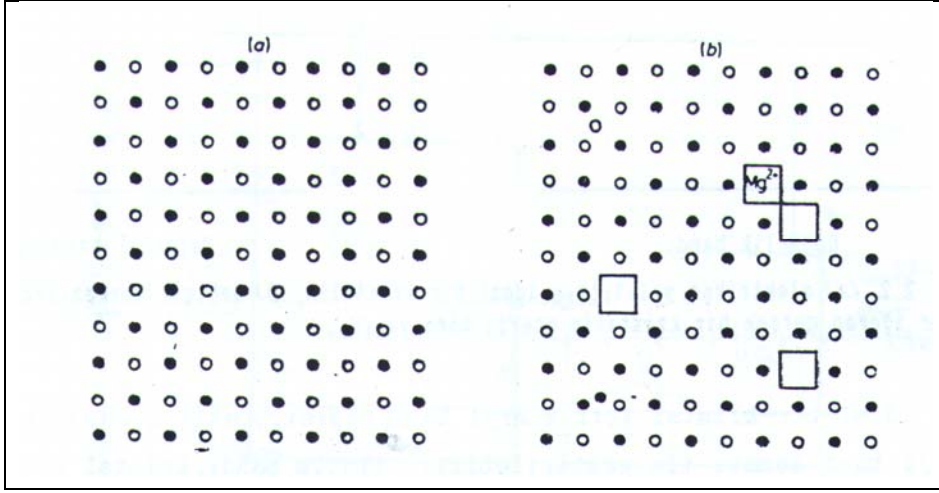
OSL, iyonize radyasyona maruz kalan minerallerin optik olarak uyarılmalarından kaynaklanır. Minerallerin toprak altında kaldığı süre içerisinde etraftan veya kendi yapısında bulunan radyoaktif izotopların yaydığı nükleer radyasyona maruz kalmaları sonucu radyasyon enerjisi kristal örgüde birikir ve depolanır. Uyarılma sonucu tuzaklardaki yükler kurtularak lüminesans merkezleriyle birleşir ve sonuç olarak lüminesans sinyali ölçülür.

Kristaller OSL olayında önemli rol oynayan değişik tipte örgü kusurları içerebilir. Bu kusurlar,

- 1- Isısal veya doğal kusurlar
- 2- Geçici kusurlar veya örgü iyonu ile yer değiştirmiş safsızlık kusurları
- 3- Radyasyonun oluşturduğu kusurlar

olarak sınıflandırılabilir. Bir kristal yapısında bulunan kusurlar Şekil.2.1’de gösterilmiştir.

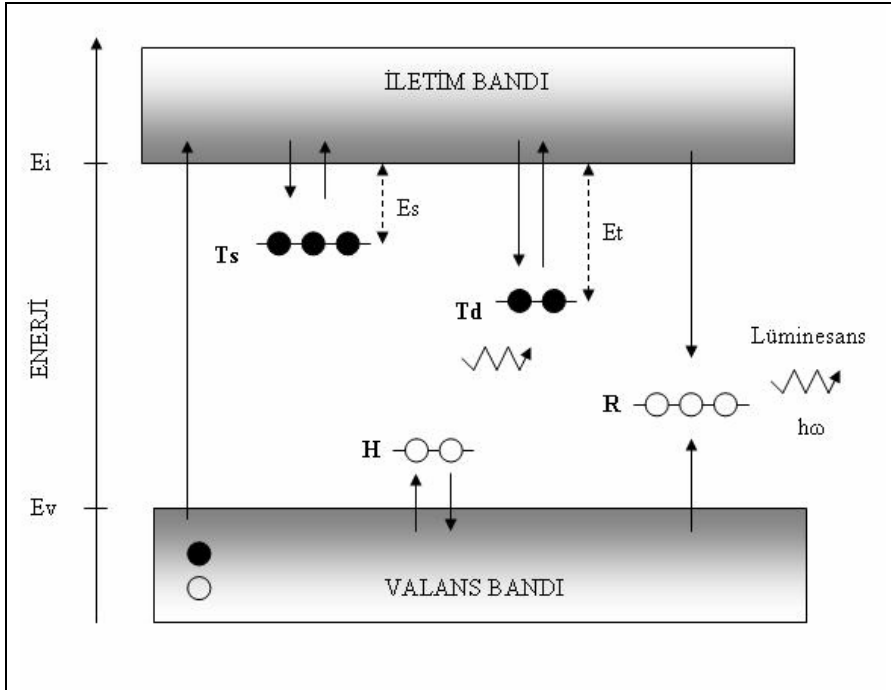
Elektronların tuzaklanma olayında yalnızca doğal kusurların bulunduğu durum göz önüne alınırsa Şekil 2.1.b’de görüldüğü gibi bir eksi iyon boşluğu aslında artı yükü fazla olan bir bölgedir ve serbest bir elektronun tuzaklanmasına en uygun yer olarak düşünülür. Tuzağa yakalanan elektron, bir F merkezi oluştururken eksi yük fazlalığı olan bölge de pozitif serbest yükler (deşikler) için uygun bir tuzaktır.



Şekil 2.1. Kristal yapısında bulunan kusurlar [30]

a) İdeal saf bir kristalin iyonik yapısı b) Değişik tipte kusurlar içeren saf olmayan bir kristalin iyonik yapısı

OSL mekanizması tartışmaları için en uygun başlangıç, enerji seviyesi diyagramı olabilir. Band modeline göre lüminesans mekanizmasının enerji diyagramı Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Bant modeline göre; radyasyon enerjisinin soğurulması, elektron-deşik çiftlerinin oluşması anlamına gelir. Elektron ve deşiklerin oluşumu iyonizasyonla, lüminesans ise elektron ve deşiklerin lüminesans merkezlerinde birleşmesiyle meydana gelir. Elektron–deşik çiftlerinin her biri tuzaklara (Ts, Td, H) ulaşıp yerleşinceye kadar kristal içerisinde başıboş dolaşır. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi elektronlar sıg ve derin tuzaklarda (Ts ve Td); deşikler ise H bölgelerinde tuzaklanmışlardır. Kusurlar, iyonik kristalin çok yüksek sıcaklıklarda iken soğumasından kaynaklanabilir ve bir elektron tuzağı gibi davranabilirler. Tuzaklardaki elektronlar ya mineralin ısıtılmasıyla ya da optik olarak uyarılmasıyla çıkarılabilirler. Tuzaklardan çıkan elektronlar, önce iletim bandına daha sonra birleşme merkezlerine giderler. Buradaki birleşme, ışık emisyonu ile veya ışık emisyonu olmadan gerçekleşebilir. Işık emisyonu ile birleşme merkezlerine lüminesans merkezleri (R) denir. Birleşme foton yayılımı olmadan da gerçekleşir ancak bu durum lüminesans olmadığı için ölü bölgedir ve fazla enerji ısı şeklinde açığa çıkar.



Şekil 2.2. Band modeline göre lüminesans mekanizmasının enerji diyagramı [28]

Lüminesans şiddeti, tuzaklanmış elektron sayısı ile orantılı olup, tuzaklanmış elektron sayısı da kristalin maruz kaldığı nükleer radyasyon dozuyla orantılıdır. Tuzaklanmış elektronlar tuzaklarda normal şartlarda, uyarılıncaya kadar kalırlar. Buna karşılık oda sıcaklıklarında bile tuzaklardan kaçma olasılıkları vardır. Tuzak derinliği ne kadar fazla olursa elektronların tuzaklardan kaçma olasılığı o denli azalmış olur. Hatta elektronların tuzaklardan kaçması milyonlarca yıl sürebilir. Bir tuzak, E enerjisi ile karakterize edilebilir. Tuzaklardaki elektronların ömrü, tuzakın E derinliği ile belirlenir ki tarihlendirme işleminde E enerjisi büyük olan bu tuzaklar ile (E_t , derin tuzak) ilgilenilir. Tuzaklanmış elektron, tuzaktan kaçmak için E enerjisini alırsa tuzaktan çıkar ve kristal içine karışarak iletim bandına geçer. E tuzak derinliği, iletkenlik veya valans band kenarıyla tuzak arasındaki enerji farkına eşittir. Belli bir sıcaklıkta küçük E değerli merkez (sığ tuzak enerjisi E_s), büyük E değerli merkezden (derin tuzak enerjisi E_t) tuzak olmaya daha çok yatkındır. Bu nedenle yeniden birleşme merkezleri yasak band aralığının ortalarına doğru yer alırken, elektron ve deşik tuzakları sırasıyla iletim bandı ve valans bandına daha yakındır.

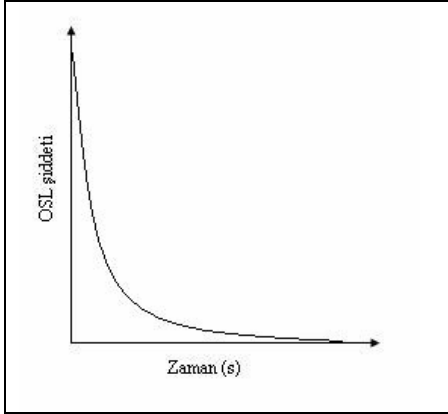
Verilen tuzak tipinin lüminesans işlemine duyarlılığının yalnızca E ile belirlenmesi doğru değildir. Yapılan çalışmalar tuzaktan çıkarma işleminin uyarıcı ışığının dalga boyuna da sıkı sıkıya bağlı olduğunu göstermiştir. Genelde kısa dalga boylu ışıkla uyarmanın çıkarma işlemini çabuklaştırdığı deneylerle kanıtlanmıştır. Fotonun soğurulması ile ortaya çıkan enerji, dalga boyu ile ters orantılıdır [31].

$$E(\text{eV}) = 1240 / \lambda (\text{nm}) \quad (2.1)$$

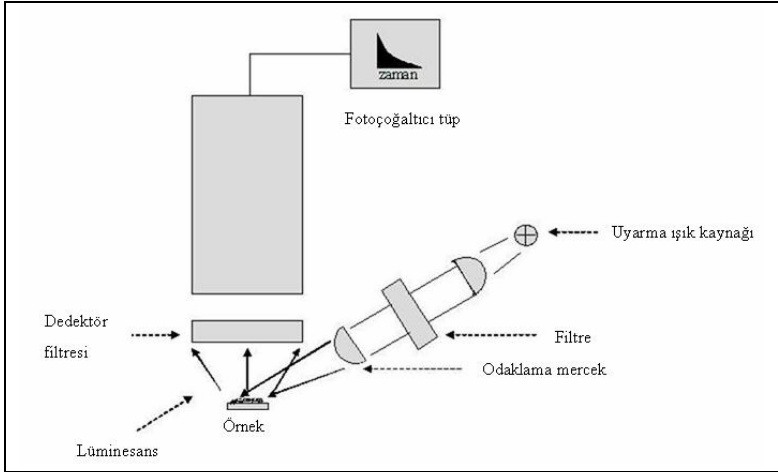
Böylelikle, tuzak derinliği enerjisi bilinen elektronların tuzaklardan çıkarılması için hangi dalga boylu uyarıcı ışık kullanılması gerektiği belirlenebilir. Örneğin, kayıp olmadan; elektronun 1.7eV'luk derinliğe sahip tuzaktan çıkarılması için, uyarıcı ışığın dalgaboyu $1240/1,7=730\text{nm}$ 'den az olmalıdır. Yani, elektronun çıkarma işleminin gerçekleşebilmesi için infrared ışığın dalgaboyuna yakın dalgaboyunda ışık kullanılmalıdır.

OSL'nin benzer diğer yöntemlere göre önemli avantajları vardır. OSL; ışığa duyarlı, tuzaklanmış elektron yoğunluğunu ölçer. OSL, normalizasyondan dolayı hassasiyet değişiminde daha az bozucu etki yapar ve sayımlar genellikle oda sıcaklığında yapıldığı için kristalin yapısında kayda değer bozucu etki yapmaz.

OSL tekniğinde, hangi dalga boyunda ışık kullanılırsa kullanılsın OSL sinyali, sayma zamanıyla önce hızlı sonra yavaş bir düşüşle azalır. Buna "Bozunma Eğrisi" denir ve bu eğri basit tanımlarla açıklanamaz. Bozunma genellikle eksponansiyel değildir; lüminesans ölçüm süresi uzadıkça hızlı düşüşü takip eden uzun bir kuyruk vardır. Tipik bir OSL bozunum eğrisi Şekil 2.3'de ve OSL sistemi için basitleştirilmiş diyagram ise Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Belli şartlarda ve bazı örnekler için OSL sinyali önce yavaş bir artış sonra azalma gösterir. Özetle, OSL bozunma eğrileri; soğurulan doza, uyarılma şiddetine ve sıcaklığa bağlıdır [32].



Şekil 2.3. Tipik bir OSL bozunum eğrisi [33]



Şekil 2.4. OSL sistemi için basitleştirilmiş diyagram [33]

OSL'nin sıcaklık bağımlılığı genelde derin olmayan tuzakların varlığı ile karmaşık hale gelmektedir. Örneğin, OSL uyarması oda sıcaklığında yapıldığında bozunma eğrisindeki uzun kuyruk genelde gözlenir. Bu durumun lüminesans salınımı sırasında sık tuzaklara yerleşmiş yüklerin etkisinden kaynaklandığına ve tuzak derinliğiyle beraber örnek sıcaklığına bağlı olarak belirlenen hızla yavaşça tekrar salındıklarına inanılır. Yani OSL bozunma işlemini yavaşlatan sık tuzaklardır ve OSL bozunma eğrisinin sıcaklıkla farklılık göstermesinin sebeplerinden biri de budur [32].

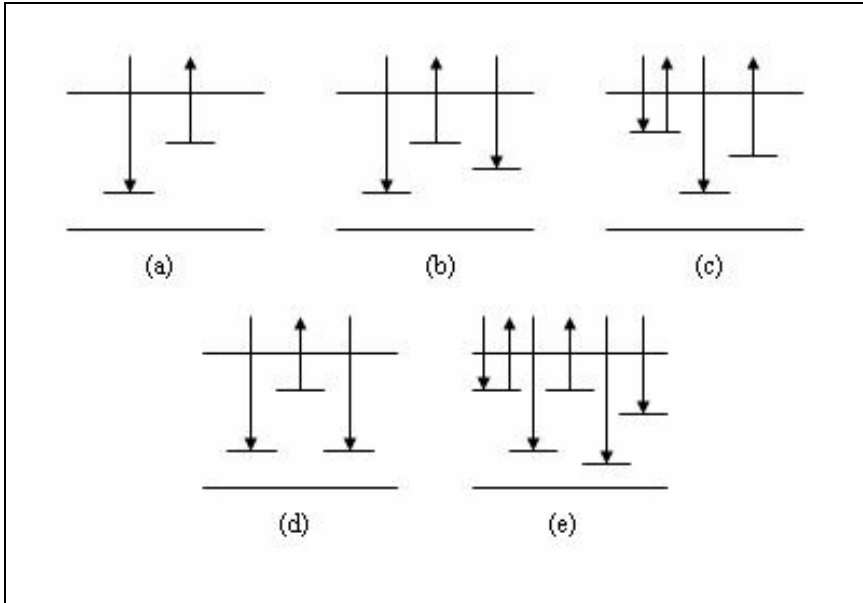
Lüminesans şiddetinin bağlı olduğu önemli parametrelerden birisi de örneklerin aldığı radyasyon dozlarıdır. Lüminesans şiddeti, örneklerle verilen radyasyon dozu ile

orantılı olarak artar. Sediment örneklerinden elde edilen lüminesans şiddeti, mineroloji, radyoaktivite, sıcaklık v.b. gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Herhangi bir mineralde üretilen lüminesans mekanizmasının detayları iyi bilinmemektedir. Lüminesans mekanizması ile ilgili çalışmalar son yıllarda yoğunluk kazanmıştır. Lüminesans üretim mekanizmasının fiziksel olarak çok karmaşık yapıya sahip olması nedeniyle çelişkili sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Lüminesans üretimi için pek çok model ileri sürülmesine rağmen en basit model katılardaki band modelidir. En basit band modeli için bile analitik çözüm yoktur sadece varsayımlara dayanan çözüm önerileri vardır. Katılardaki lüminesans işlemlerinin oldukça karmaşık olmasından dolayı şu anki deneysel gözlemleri tanımlamada kullanılan modeller, gerçek durumun aşırı basitleştirilmiş halidir.

Bir kristal, bulundurduğu tuzak sayısı veya tuzak çeşidine göre modellenenebilir. Kristalin sahip olabileceği tuzaklar; optik aktif tuzaklar, derin tuzaklar ve sığ tuzaklardır. Bütün bu tuzakları bir arada içeren kristal modelleri de bulunmaktadır [22,32]. Böyle bir model Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Model sistematığı [22,32]

- a) Bir elektron ve bir deşik tuzağı içeren en basit OSL modeli b) Daha derin tuzak içeren bir model c) İletim bandına daha yakın tuzak içeren model d) İki birleşme merkezi (bir ışımalı ve bir ışımasız merkez) içeren model e) Yukarıdaki tüm durumları içeren model

En basit model: Bir tuzak/Bir merkez

Çoğu OSL modeli, optik olarak uyarılmış yüklerin delokalize bantlardan geçerek yeniden birleşme bölgesine taşındığını varsayar. OSL üretimini açıklayan en basit model bir elektron ve bir deşik tuzağından oluşur. Bu basit OSL modeli Şekil 2.5.a'da gösterilmiştir. Burada ışık, tuzaklanmış elektronları uyarır, f hızı ile iletim bandına geçirir ve daha sonra tuzaklanmış deşikler ile yeniden birleşme gerçekleşir. Bu birleşme sonucunda I_{OSL} şiddetinde OSL üretilir.

Yük akış hızı Eş.2.2 ile tanımlanır.

$$\frac{dn_c}{dt} = -\frac{dn}{dt} + \frac{dm}{dt} \quad (2.2)$$

$$n_c + n = m \quad (2.3)$$

n_c : birim zamandaki yük akışı

n : elektron konsantrasyonu

m : deşik tuzaklarının konsantrasyonu

Yarı kararlı denge varsayımlarıyla ($\frac{dn_c}{dt} \ll \frac{dn}{dt}, \frac{dm}{dt}$ ve $n_c \ll n, m$) ve yeniden tuzaklanmaları ihmal edildiğinde Eş.2.4 elde edilir.

$$I_{OSL} = -\frac{dm}{dt} = -\frac{dn}{dt} = nf \quad (2.4)$$

f : elektronların iletim bandına geçme hızı

Eş.2.4 çözüldüğünde Eş.2.5 elde edilir;

$$I_{OSL} = n_0 f \exp(-tf) = I_0 \exp(-t/\tau) \quad (2.5)$$

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

n_0 : $t=0$ anındaki tuzaklanmış elektronların konsantrasyonu

I_0 : $t=0$ 'daki lüminesans şiddeti

τ : tuzaktan iletim bandına geçme zamanı

Buradan; ilk şiddetin, direkt olarak uyarma hızı ile orantılı olduğu ve OSL bozunumunun zamanla değişiminin basit bir eksponansiyel ifade olduğu sonucuna ulaşılabilir.

Ek derin tuzak

Konsantrasyonları n_1 ve n_2 ; uyarılma hızları f_1 ve f_2 olan iki optik aktif tuzak için aynı varsayımlar düşünülebilir.

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{dn_1}{dt} - \frac{dn_2}{dt} \quad (2.7)$$

$$m = n_1 + n_2 \text{ şartından dolayı} \quad (2.8)$$

$$n_1 = n_{10} \exp(-tf_1) \quad (2.9)$$

ve

$$n_2 = n_{20} \exp(-tf_2) \quad (2.10)$$

eşitlikleri elde edilir.

$n_{10} = n_1$ optik tuzağının $t=0$ 'daki konsantrasyonu

$n_{20} = n_2$ optik tuzağının $t=0$ 'daki konsantrasyonu

Böylece,

$$I_{OSL} = n_{10}f_1\exp(-tf_1) + n_{20}f_2\exp(-tf_2) \quad (2.11)$$

$$I_{OSL} = I_{10}\exp(-\frac{t}{\tau_1}) + I_{20}\exp(-\frac{t}{\tau_2}) \quad (2.12)$$

olur ve OSL bozunma eğrisi, iki eksponansiyel eğrinin toplamı olarak ifade edilir.

Alternatif olarak, ek tuzak optik ve termal olarak aktif değil ise (Bkz. Şekil 2.5.b)

OSL şiddeti şu şekilde yazılabilir;

$$I_{OSL} = n_{10}f\exp(-tf) - \frac{dn_2}{dt} \quad (2.13)$$

Burada,

$$\frac{dn_2}{dt} = n_c(N_2 - n_2)A_2 \quad (2.14)$$

standart tanıma uygundur.

$N_2 \gg n_2$ varsayımı ve $n_c N_2 A_2 \approx C$ (sabit) olmak üzere;

$$I_{OSL} = n_{10} \exp(-t\tau) - C \quad (2.15)$$

elde edilir ve OSL şiddetinde, derin tuzaklara yeniden tuzaklanma ile azalma gözlenir. $t \rightarrow \infty$, $n_c \rightarrow 0$ gibi sınırlamalarda, $C \rightarrow 0$ 'a gider. Bu nedenle C aslında zamana göre çok yavaş değişen bir fonksiyondur [22].

2.2. Eşdeğer Doz Tespiti

Eşdeğer doz, örneklerin laboratuvarında bilinen bir nükleer radyasyona maruz bırakılması sonucu elde edilmiş OSL sayımları ile aynı örneklerin sahip oldukları doğal OSL sayımlarının karşılaştırılması ile elde edilir.

Tek-tablet ve çok-tablet kullanımına dayalı eşdeğer doz tespiti, genel olarak ilave doz ve yeniden oluşturma olarak adlandırılan iki temel yöntemeye dayanır.

2.2.1. İlave doz yöntemi

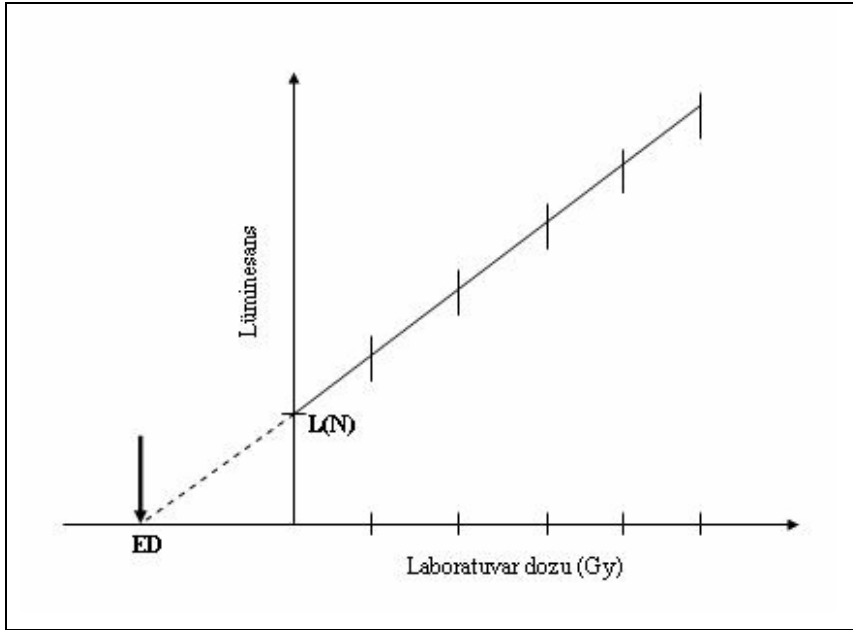
Tuzak yoğunluğu ile orantılı olan lüminesans şiddeti, doza göre ölçeklendirilmedikçe örneğin soğurduğu doz, dolayısıyla da yaşı belirlenemez. Belirlenen bir gelecekteki tuzaklanmış elektron sayısı bilinirse, şimdiki tuzaklanmış elektron sayısının yardımıyla geçmiş zaman dilimi hesaplanabilir. Doğal bir örneği gelecekteki tuzaklanmış elektron yoğunluğuna ulaştırmak için yapılması gereken iş, örneği yapay olarak ışınlamaktır. O halde seçilen örnek bir beta ya da gamma kaynağıyla ışınladığı zaman kaynaktan gelen beta ya da gamma ışınları, şimdiki tuzaklanmış

elektron yoğunluğunu gelecekteki durumuna götüren bir zaman makinesi gibi çalışır. Bu yöntemle ‘ilave doz yöntemi’ denir [34].

İlave doz yöntemi, tek-tablet ve çok-tablet kullanımına dayalı eşdeğer doz tayininin her ikisinde de kullanılmaktadır. İlave doz yönteminde; lüminesans sinyali, örneğe verilen laboratuvar dozunun bir fonksiyonu olarak incelenir.

İlave doz yöntemi olarak çok-tablet ilave doz yöntemini ele alalım. Çok-tablet ilave doz yönteminde aynı şartlarda eşit miktarlarda örnekler, tabletler halinde ve her grupta birden fazla tablet bulunacak şekilde gruplandırılır. Bir grup; $L(N)$ doğal lüminesans sayımının alınması için ayrıldıktan sonra kalan diğer gruplar lüminesans sayımı öncesi, radyasyon kaynağı ile bilinen çeşitli laboratuvar dozlarına (β) maruz bırakılarak $L(N+\beta)$ lüminesans sayımlarının alınması için ayrılır. Gruplardaki her bir tablete aynı laboratuvar dozu (β) verilir. OSL ile yapılan sayımlarda bütün gruplara, sayım öncesi ön ısıtma işlemi uygulanır.

İlave doz yöntemiyle elde edilen grafik Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Grafikteki $L(N)$ değeri, örnekten gelen doğal lüminesans sayımını gösterir. Alınan lüminesans sayımlarının verilen laboratuvar dozlarına karşı grafiği çizilerek doz cevap eğrisi elde edilir. ED, doz cevap eğrisinin doz eksenine ekstrapolasyonundan elde edilir. Başka bir deyişle, doz cevap eğrisinde elde edilen noktalar üzerinden en uygun doğrusal eğim geçirilerek bu eğimin x-eksenini kestiği nokta bulunur. Doğrunun x-eksenini kestiği nokta ED’yi verir.



Şekil 2.6. İlave doz yönteminde ED'nin tespiti için elde edilen grafik [11]

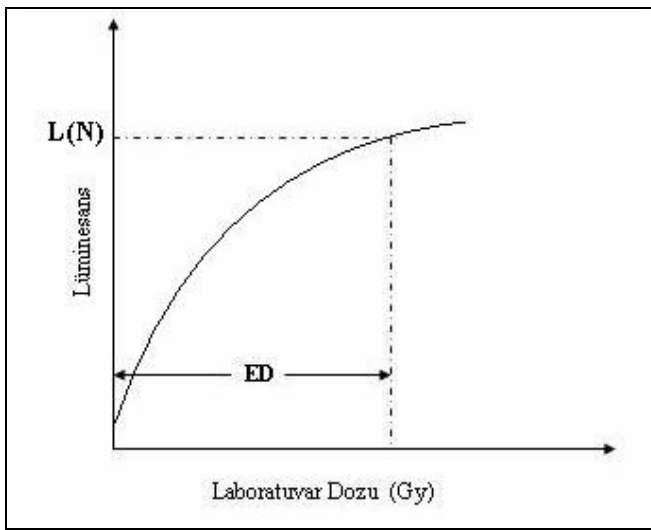
2.2.2. Yeniden oluşturma yöntemi

Yeniden oluşturma yöntemi de ilave doz yöntemi gibi tek-tablet ve çok-tablet kullanımına dayalı eşdeğer doz tayininin her ikisinde de kullanılmaktadır. Yeniden oluşturma yöntemi, doğal lüminesans sayımına karşılık gelen nükleer radyasyon dozunun belirlenmesine dayanır. Bu yöntem, ilave doz yönteminden daha basit bir uygulamaya sahiptir.

Yeniden oluşturma yöntemi olarak tek-tablet yeniden oluşturma yöntemini ele alalım. Tek-tablet yeniden oluşturma yönteminde, ilk olarak örneğin tek bir tabletinden gelen doğal lüminesans sayımı alınır. Daha sonra örnek sıfırlanır ve örnek radyasyon kaynağı ile bilinen bir laboratuvar dozuna (β) maruz bırakılarak $L(\beta)$ lüminesans sayımı alınır. Aynı işlemler lüminesans sinyalinin cevabını karakterize etmek için çeşitli β dozlarıyla tekrarlanır.

Yeniden oluşturma yönteminde, örneğin tek tabletine verilecek β dozunun iyi ayarlanması gerekmektedir. Tabletın tekrar kullanımı için sıfırlama, doz verme, ön ısıtma işlemleri lüminesans hassasiyetinde değişiklik yapmamalıdır.

Yeniden oluşturma yöntemiyle elde edilen grafik Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Grafikteki $L(N)$ değeri, örnekten gelen doğal lüminesans sayımını gösterir. Alınan lüminesans sayımlarının verilen laboratuvar dozlarına karşı grafiği çizilir. ED, bu grafikteki gelişen eğri üzerine doğal lüminesans sinyalinin interpolasyonu ile bulunur. Başka bir deyişle, çeşitli laboratuvar dozlarına maruz kalan tabletten elde edilen $L(\beta)$ sayımlarıyla gelişen eğriyle, doğal lüminesans sayımının doğrudan karşılaştırılmasıyla bulunur. Bu karşılaştırmanın x-eksenini kestiği nokta ED’yi verir.



Şekil 2.7. Yeniden oluşturma yönteminde ED’nin tespiti için elde edilen grafik [11]

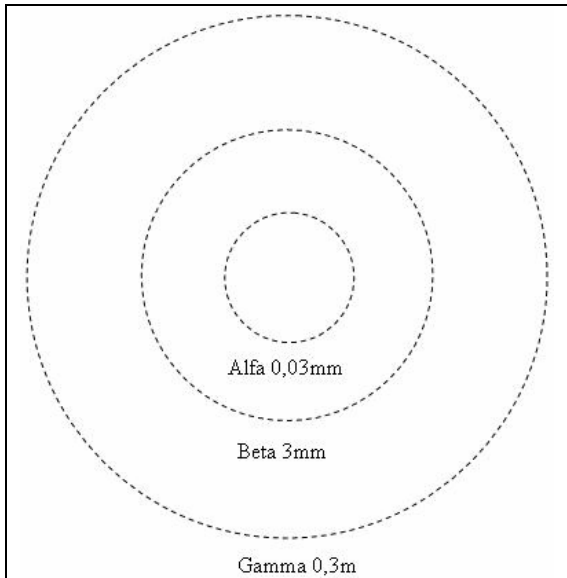
2.3. Yıllık Doz

Yıllık doz değeri tarihlendirme çalışmalarında en önemli iki bileşenden biridir. Doğal OSL sinyali esas olarak ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K ’dan gelen nükleer radyasyon sebebiyle oluşur. Bunun dışındaki önemli bir katkı da kozmik ışınlardan gelebilir. Diğer radyoaktif elementlerin katkıları ihmal edilebilecek kadar düşüktür [11].

Tipik bir çömlek ve toprak örneği için oransal katkılar yaklaşık şu şekildedir: Alfa %45, beta %30, gamma %25. Üç temel radyoaktif kirlilikten gelen oransal katkılar ise şöyledir: potasyum %21, toryum %37 ve uranyum %39 [11].

Potasyum, toryum ve uranyumdan gelen miktara “iç doz”, bu elementlerle beraber kozmik ışıklardan kaynaklanana “dış doz” denir. İç doz, maddenin içindeki U, Th ve ^{40}K oranlarının çeşitli analizlerle saptanmasından ve bunların yaydığı alfa (α), beta (β) ve gamma (γ) radyasyonlarının orantısal etkilerinin bulunmasından elde edilir. Dış doz ise yine çevre toprağının analizinden U, Th ve ^{40}K oranlarının saptanması ve bunlardan gelen radyasyon katkılarının hesaplanması ile bulunur. Ayrıca dış dozu bulmak için çalışılan örneğin alındığı bölgeye gamma (γ) radyasyonuna duyarlı dozimetreler yerleştirilebilir.

Yıllık doza katkıda bulunan elementleri ele alalım. Tarihlendirme çalışmalarında kullanılan çok küçük parçacıklar hem ince ($< 20\mu\text{m}$) hem de kalın boyutta ($100\text{-}200\mu\text{m}$ dahil) olabilir. Alfa (α), beta (β) ve gamma (γ) ışınlarının menzilleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Dayanıklı bir çökeltide, alfa (α) radyasyonunun ortalama menzili yaklaşık $20\text{-}30\mu\text{m}$ olup, beta (β) ve gamma (γ) radyasyonlarının menzilinden çok daha kısadır. Beta (β) ve gamma (γ) radyasyonlarının ortalama menzili sırasıyla $2\text{-}3\text{mm}$ ve $20\text{-}30\text{cm}$ ’dir [31,35]. Yani yaklaşık 10mm ’den daha kalın numuneler için yıllık doz alfa (α) ve beta (β) lardan oluşan iç doz (baskın olarak) ve gamma (γ) lardan oluşan dış dozdan kaynaklanır.



Şekil 2.8. Alfa, beta ve gamma ışınlarının menzilleri [31]

Arkeolojik ve jeolojik örneklerin doğal olarak soğurduğu toplam doz, örnek içindeki radyoaktif maddelerden ve çevreden gelen radyasyondan kaynaklanmaktadır. Bu doz miktarının kaç yılda biriktiğini bulmak için de örneklerin bir yılda soğurduğu doz miktarını hesaplamak gerekir. Bu doz, kilogram (kg) başına soğurulan enerji olarak tanımlanır ve birimi de Gray (Gy) olup $1\text{Gy}=1\text{J/kg}$ 'dır. Doğal doz hızını Gy/ka (Gray/bin yıl) ya da mGy/a olarak vermek uygundur. Bu doz hızı “yıllık doz” olarak adlandırılır.

Örnekteki radyoaktif elementlerin derişiminin saptanmasıyla doz hızı hesaplanabilir. Bu hesaplama için ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K miktarlarının ve nemin tespiti gereklidir. Bunların tespitinde, nötron aktivasyon, atomik absorpsiyon, X-ray floresans gibi özel metodlar kullanılabilir [31]. Uranyum, toryum ve potasyum tespiti dışında gamma spektrometresi yardımıyla veya gamma termoluminesans dozimetreleri (TLD) sonucuyla da doz hızı hesaplanabilmektedir. Beta ve gamma TLD'leri yardımıyla sadece beta ve gamma radyasyonlarının doz hızına katkıda bulunduğu varsayımı ile de doz hızı hesaplanabilir [11].

3. DENEYSEL İŞLEMLER

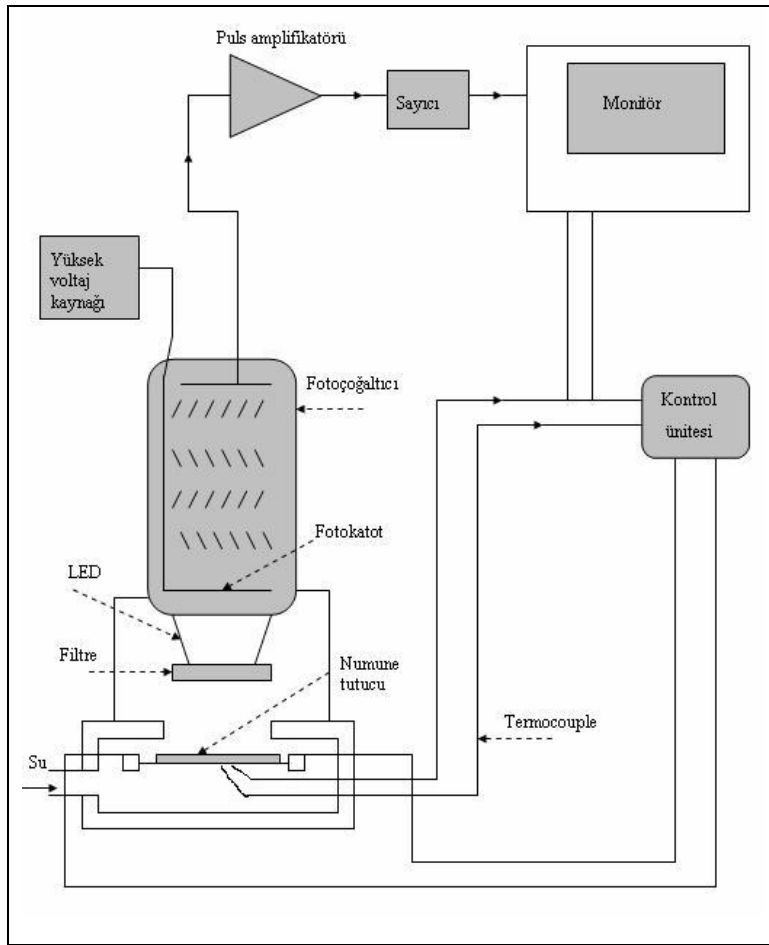
3.1. Deney Sistemi

Tarihlendirme çalışmasında, eşdeğer doz ve doz hızı hesaplamaları, iki ayrı deney sistemi ile gerçekleştirilir.

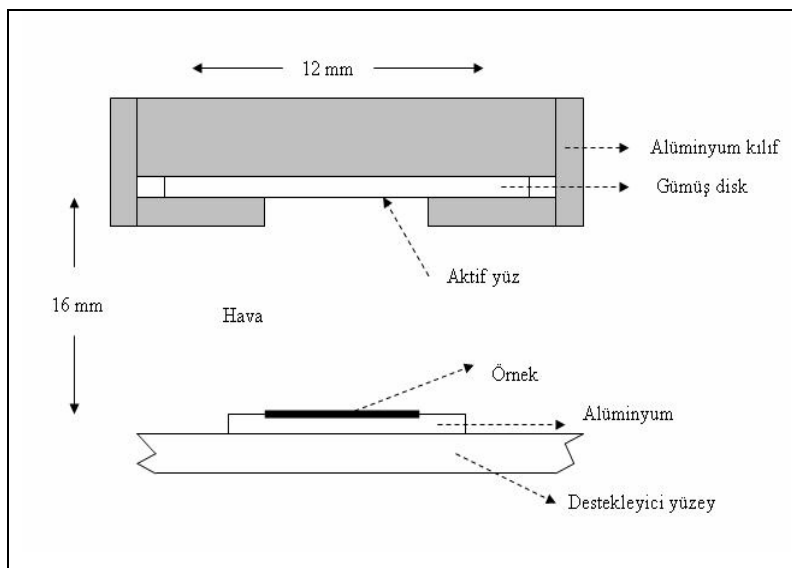
3.1.1. OSL 9010 sistemi

Eşdeğer dozu belirlemek için kullanılan OSL 9010 Sistemi; Spooner, Aitken, Smith, Franks ve McElroy tarafından geliştirilmiştir [3]. OSL 9010 sayma sistemi deney düzeneğinin şeması Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bu sistem ile çalışma yapılırken 64 numune aynı anda incelenerek kullanma kolaylığı sağlanmış olur. Numuneler 64 örnek kapasiteli bir numune tutucu üzerine yerleştirilerek sistemdeki fotoçoğaltıcı tüpün hemen altında yer alan kızağa gönderilir. Bilgisayar programı vasıtasıyla istenilen örnek, fotoçoğaltıcı tüpün altına getirilerek sayımlar alınır. Sıcaklık kontrolünün otomatik olarak yapıldığı sistemde toplam dozu belirlemedeki doğruluk payı %95 veya %97 gibi yüksek bir değerdir. Sisteme, incelenmek istenen numuneler bir kez yerleştirildikten sonra el ile müdahaleye gerek kalmadan bütün işlemler, bilgisayar kontrolüyle hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Tuzaklanmış elektronları yerlerinden çıkarmak için kullanılan LED’ler (Light Emitting Diode) infrared bölgede ($880\pm 80\text{nm}$) 30mW/cm^2 güç sağlayacak şekilde yaklaşık 40mA akım veren TEMT 484 IR diyotlarıdır. Lüminesans, Thorn EMI 9235 QA fotoçoğaltıcı tüp ile dedekte edilir. Uyarma süresi 1 saniyeden az olması durumunda 64 örnek için ışınlama süresi 10 dakika civarındadır. Sistem 0,01 saniyeden 1 yıla kadar zaman aralığı için örnek ışınlatabilir.

Çalışmada, tabletlere laboratuvar dozunun verilmesi için ^{90}Sr - ^{90}Y β kaynağı kullanılmıştır. Kaynağın yarı ömrü 28 yıldır. Kaynak, numunenin üzerinde 16 mm’lik bir mesafede bulunur. Beta kaynağının şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Kullanılan ^{90}Sr - ^{90}Y β kaynağının doz hızı 0,034 Gy/s’dir.



Şekil 3.1. OSL 9010 sayma sistemi deney düzeneğinin şematik gösterimi [36]



Şekil 3.2. Beta kaynağının şematik gösterimi [31]

3.1.2. OSL 9010 sisteminin kalibrasyonu

Deney sisteminde foton sayımı için kullanılan fotoçoğaltıcının hassasiyeti yüksek voltaj kaynağından uygulanan voltajla orantılı olmasına rağmen genellikle voltaj değeri çok yükseltildiğinde taban sayım gürültüsü (yalancı sayım) de artacağından bir eşik gerilimi tespiti yapılmalıdır. Eşik gerilimi tespiti fotoçoğaltıcı tüpün altına yerleştirilen kararlı bir ışık kaynağı ile yapılır. Fotoçoğaltıcı tüpün üst kısmındaki eşik değeri kontrol potansiyometresi 3 veya 4 değerine ayarlanılarak yüksek voltaj kaynağı 20V aralıklarla 700-1400V arasında değiştirilir. Buradan ölçülen sayımlara karşılık voltaj grafiği çizilir. Bu grafikte plato bölgesinin tam ortasına karşılık gelen voltaj değeri, fotoçoğaltıcı tüpün en uygun çalışma voltajıdır. Bu değer belirlenmesi ile fotoçoğaltıcı tüpün yüksek voltaj kalibrasyon işlemi tamamlanmış olur.

Yapılan çalışmada toplam 100 saniyelik sürede 10 periyotluk sayımlar, 900 ile 1440V arasındaki voltaj değerleri için 20V'luk artışlarla ölçülmüştür. Elde edilen sayımların yüksek voltaj değerlerine (H.T.) göre grafiği çizilmiştir. Fotoçoğaltıcı tüpün H.T. voltaj kalibrasyon eğrisi Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Bu eğriye göre deney sisteminin güvenilir çalışması için gerekli olan çalışma voltajı değeri 1220V'tur.

Fotoçoğaltıcının lüminesans sayımını düşük seviyeli sayımlar olumsuz yönde etkileyebilir. Fotoçoğaltıcının düşük seviyeli sayımları almaması için önyükselticinin de eşik değerinin ayarlanması gerekir. Bu eşik değeri; taban gürültüsünü mümkün olduğu kadar azaltıp aynı zamanda gerçek fakat küçük pulsları kaybetmeyecek şekilde ayarlanmalıdır.

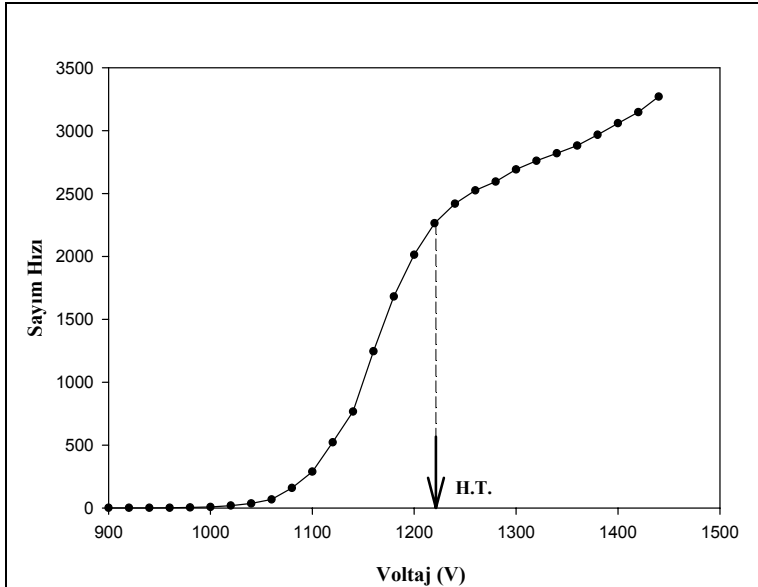
Önyükselticinin kalibrasyon işleminin yapılması için ışık kaynağı aynen H.T. voltaj kalibrasyonunda olduğu gibi yerleştirilir. H.T. voltajı 1220V'ta sabit tutulurken eşik değeri 0 ile 10V aralığında 0,25V'luk artışlarla değiştirilerek ışık şiddeti ölçümleri alınır. Daha sonra alınan bu değerlerden faydalanılarak ışık şiddetinin eşik gerilimine göre grafiği çizilir. OSL 9010 sistemindeki önyükselticinin eşik değerini bulmak için

elde edilen kalibrasyon eğrisi Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Bu eğriden faydalanılarak eşik değerini bulmak için %85 kuralı uygulanır. Alınan verilerden en uygun doğru geçirilerek, bu doğrunun y eksenini kestiği nokta bulunur. Bulunan bu değer, yani ışık şiddetinin %85’ine karşılık gelen değer hesaplanarak, bu değere karşılık gelen eşik gerilimi değeri tespit edilir. Tespit edilen bu değer, deneyde kullanılacak eşik değerini verir. Bu şekilde önyükseltici kalibrasyon işlemi tamamlanmış olur.

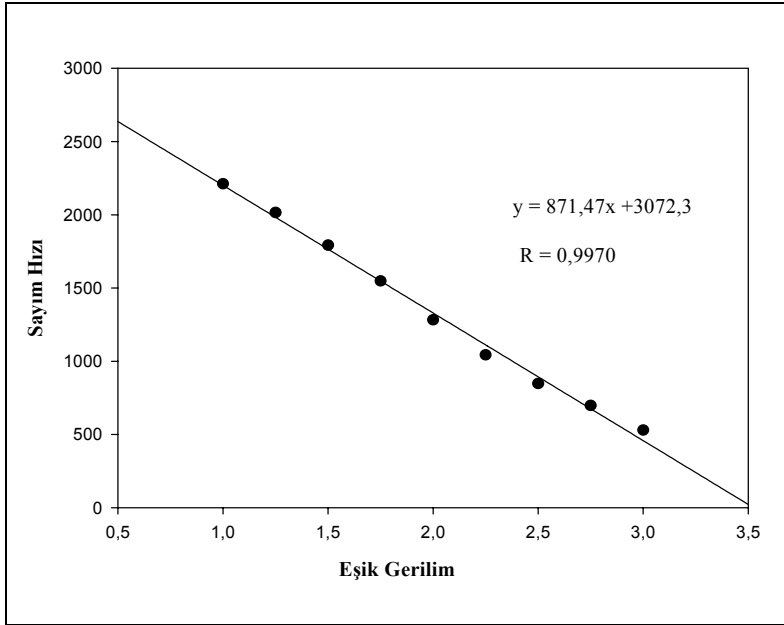
%85 kuralına göre sistemin eşik değerinin hesaplanması:

$$\begin{aligned} \text{Kalibrasyon eğrisinin eğimi} &: y = - 871,467x + 3072,3 \\ y \text{ eksenini kestiği nokta} &: x = 0 \text{ iken } y = 3072,3 \\ y \text{ değerinin } \%85\text{'i} &: y' = 2611,455 \\ y' \text{ ne karşılık gelen } x \text{ değeri} &: x' = 0,52 \end{aligned}$$

Yapılan kalibrasyon işlemi sonucu önyükselticinin bulunan eşik değeri $\approx 0,52$ Volt’tur.



Şekil 3.3. Fotoçoğaltıcının H.T. voltaj kalibrasyon eğrisi (Eşik değeri =1 için)



Şekil 3.4. OSL 9010 sistemindeki önyükselticinin eşik değerini bulmak için elde edilen kalibrasyon eğrisi

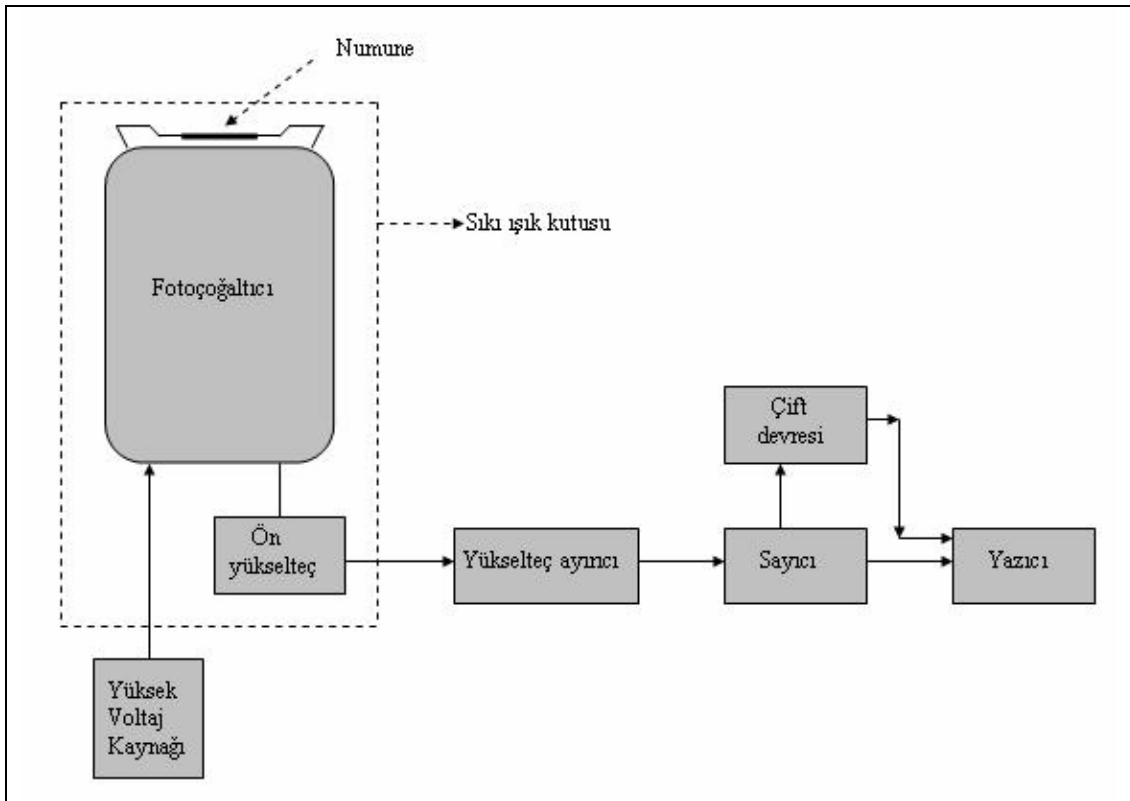
3.1.3. 7286 Alfa sayma sistemi

Tarihlendirme çalışmalarında; doz hızı hesabı için geliştirilen 7286 Alfa Sayma Sistemi, sayım hızının düşük olduğu alfaların sayımı için kullanılan bir cihazdır. Bu cihazla örneklerin içindeki toryumdan ve uranyumdan gelen alfa parçacıkları sayılır. Bir çıktı ünitesinden en fazla dört sintilasyon fotoçoğaltıcısı kontrol edilebilir. Alfa sayma sistemi deney düzeneği Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

42mm çaplı mylar film üzerine sürülmüş ZnS sintilatörün kullanıldığı alfa sayma sistemi EMI 6097B tipinde fotoçoğaltıcı tüpe (PM) bağlıdır. Cihazdaki fotoçoğaltıcı tüpün tepesine konulan örnekten çıkan her alfa parçacığı ekrana çarparak bir ışıldama (sintilasyon) üretir. Bu ışıldama, fotokatoddan fotoelektronlar üreterek çoğaldıktan sonra PM tüpünün anodunda bir elektrik pulsu oluşturur. Bu puls, sayma cihazının üzerinde görünür. Toz halindeki örnek doğrudan sintilatörle temas edecek şekilde yerleştirilir. Ekranın temiz olması son derece önemlidir. Çinko sülfürün önemi, alfa parçacıkları tarafından üretilen ışıldamaya uygun pulsların, beta parçacıkları ve

gamma radyasyonu tarafından üretilenlerden fazla olmasıdır. PM tüpü ışığa duyarlı olduğundan karanlık bir yerde tutulmalıdır.

Birkaç voltta yüksek pulsalar toplandıktan sonra ayırıcı (diskriminatör) birimine gönderilir. Bu birim daha önce ayarlanmış olan eşik (Threshold) voltajından daha büyük voltaj pulsalarını kabul eder. Böylelikle gamma ve betaya uyan pulsalar çıkarılır. Diskriminatörden gelen çıkış pulsaları sayaca gönderilir ve kaydedilen sayım kullanıcının istediği zaman aralığında yazıcıdan alınabilir.



Şekil 3.5. Alfa sayma sisteminin şematik gösterimi [11]

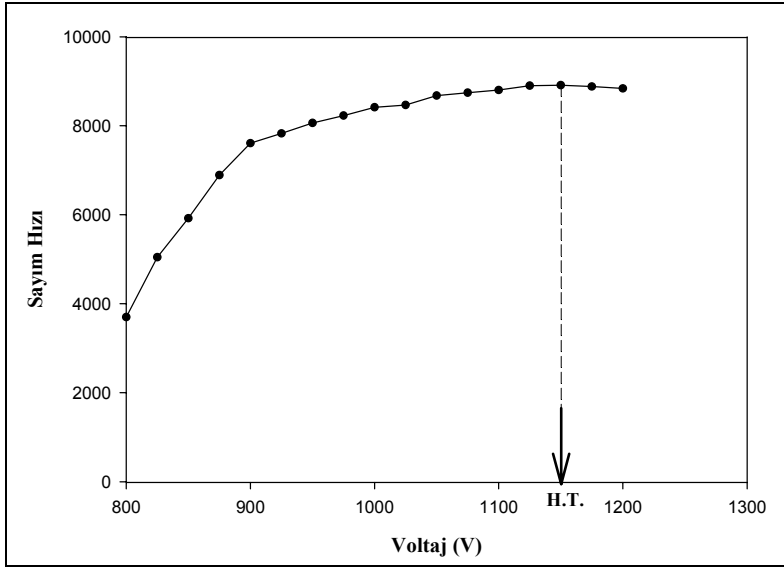
3.1.4. 7286 Alfa sayma sisteminin kalibrasyonu

7286 Alfa Sayma Sistemi'nde kullanılan PM tüpü, fotoçoğaltıcı tüplerin karakteristik özelliklerinden dolayı kalibre edilmelidir. Bu işlem arka paneldeki H.T. voltajı ve eşik voltaj değerinin ayarlanmasını içerir. Sayma sisteminin arka panelindeki eşik

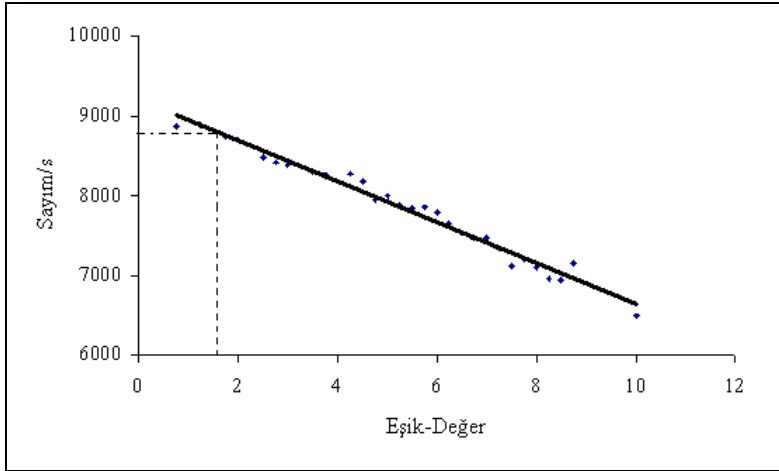
değer (Threshold) düğmesi 1 değerine getirilir (Eşik değer düğmesi 0-10 bölme aralığında en fazla 2,5V'u gösterdiğinden ayarlanan 1 değeri aslında 0,25V'tur).

Alfa cihazının kalibrasyonunda toryum ve uranyum aktiviteleri içeren kaynak kullanılmaktadır. Kaynak, kullanılacak örneklerdeki gibi toz halinde olmalıdır. Burada sistemin kalibrasyonu için kuvvetli alfa kaynağı olarak lüks lamba fitilinin yakılmış hali kullanılmıştır. Lüks lambasının fitili yakılarak, külü agatta ezilir. Daha sonra eldiven yardımıyla ZnS sintilatöre dairesel hareketlerle yedirilerek sürülür. Sintilatör üzerindeki fazla numuneler hafif sallanarak dökülür ve homojen olup olmadığı kabaca kontrol edilir. Bu fitil doğal bir alfa kaynağıdır. Yeteri kadar kuvvetli olan bu alfa kaynağı kullanılarak H.T. voltajı 25V aralıklarla 1300V'dan 800V'a kadar 100 saniye periyotlarla sayım tespit edilir. Fotoçoğaltıcı tüp çalıştırıldıktan sonra ilk 5 dakika sayım alınmadan beklenir. Aynı zamanda her voltaj değeri değiştirildikten sonra 5 dakika beklenir ve fotoçoğaltıcı tüpün dengeye gelerek kararlı olması sağlanır. Böylelikle alınan sayımların güvenilirliği arttırılmış olur. EMI 6097B fotoçoğaltıcı tüpün H.T. voltajının tespiti için çizilen kalibrasyon eğrisi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Eğri, alınan H.T. voltajlarına karşılık elde edilen sayımların ortalaması alınarak çizilmiştir. Çizilen bu eğrinin düz bölgesindeki bir noktadan H.T. voltajının kalibrasyon değeri saptanır. Bu değer 1150V'tur.

H.T. voltajı ayarlandıktan sonra eşik voltaj değerinin belirlenmesi gerekir. Bunun için eğriden elde edilen H.T. voltaj değeri sabit tutulur, aynı kaynak kullanılarak eşik değerler 0V'dan 10V'a kadar 0,25V arttırılarak 100 saniye periyotlarla sayım hızı alınır (Cihazda eşik değer voltajı %25 duyarlılıkta olduğundan 0V'dan 2,5V'a kadar 0,25V aralıklarla sayım hızı tespit edilmiştir). Eşik değer voltaj kontrolü PM tüpünden gelen pulsları minimum pik voltajına ayarlar. Eşik değerlere karşı çizilen ışık şiddeti eğrisi bir lineer eğim vermelidir. Alfa sayma sisteminde önyükselticinin eşik değerini bulmak için yapılan kalibrasyon eğrisi Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Eğride çizilen doğrunun y-eksenini kestiği noktanın %85'ine karşılık gelen değer, ilk önce lineer eğime daha sonra x-eksenine iz düşürülür. x-eksenindeki karşılığı çalışmada kullanılacak eşik değeri verir. Bu eşik değer voltajı kalibrasyon değeri 1,55V olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.6. EMI 6097B fotoçoğaltıcı tüpün H.T. voltajının tespiti için çizilen kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.7. Alfa sayma sisteminde önyükselticinin eşik değerini bulmak için elde edilen kalibrasyon eğrisi [36]

3.2. Örnek Alımı ve Hazırlanması

Tarihlendirilmesi amaçlanan arkeolojik örnek, Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Arkeolojik Çevre Değerleri Araştırma Merkezi (GÜ-ARÇED) Müdürlüğü'nce yürütülen Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı Projesi (BTC

HPBH) Büyükardıç Arkeolojik Kurtarma Kazısı çalışmaları sonucu elde edilen bir çömlek parçasıdır.

Örnek Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Arkeoloji bölümünden alınmış olup tarihlendirme çalışması Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik laboratuvarında yapılmıştır.

3.2.1. Bakü-Tiflis-Ceyhan ham petrol boru hattı projesi genel tanımı

Hazar Denizi'nin soğuk suları altında yatan “zengin” hidrokarbon rezervlerinin, uluslar arası enerji piyasalarına ulaştırılması meselesi, 10 yılı aşkın bir süredir Türk ve dünya kamuoyunun yakından, merakla ve dikkatle takip ettiği çok önemli bir gündem maddesidir. Daha kesin bir ifadeyle, BTC HPBH Projesi, 1991 yılından bu yana Türkiye'nin gündemindedir. Bu tarihi proje kapsamında Bakü'den başlayıp, Ceyhan'da son bulacak toplam 1774km uzunluğunda bir boru hattı ile (Türkiye kesimi 1074km) başta Azeri petrolü olmak üzere bölgede üretilecek yılda 50 milyon ton düzeyinde ham petrolün, Ceyhan'da inşa edilecek deniz terminaline ve buradan da tankerlerle dünya pazarlarına ulaştırılması amaçlanmaktadır. BTC HPBH Projesi fiziki haritası Harita 3.1'de siyasi haritası ise Harita 3.2'de gösterilmiştir. Bu proje ile hem ekonomik açıdan uygun, hem de çevresel açıdan sürdürülebilir bir taşıma sistemi kurulmuş olacaktır.

BTC HPBH Projesi ile Türkiye, Güney Kafkasya ve Orta Asya'yı, Türkiye ve Akdeniz'e bağlaması planlanan ve “Doğu-Batı Enerji Koridoru” olarak adlandırılan sağlam bir güvenlik koridoru oluşturmayı ve bu sayede Batı'nın çok önem verdiği bir mesele olan “enerji arz güvenliği” açısından sağlam bir temel atılmasını garantilemiş olmaktadır. BTC HPBH Projesi ile jeopolitik gücünü sağlamlaştıracak Türkiye ayrıca, Türk Boğazları'ndaki aşırı yükünden kaynaklanan geçiş risklerinin en aza indirilmesi açısından da son derece büyük bir öneme sahiptir.

Gazi Üniversitesi Arkeolojik Çevre Değerleri Araştırma Merkezi'nin BTC HPBH ÇED Raporu Kültürel Miras Yönetim Planı çerçevesinde hazırlamış olduğu teklifin

kabul edilmesiyle 17.02.2003 tarihinde Gazi Üniversitesi ile BOTAŞ BTC Ham Petrol Boru Hattı Proje Direktörlüğü arasında Arkeolojik Kurtarma Kazıları Projesi sözleşmesi imzalanmıştır. GÜ-ARÇED Müdürlüğü'nce yürütülen projede toplam 12 ayrı arkeolojik merkezde kurtarma kazısı çalışmaları tamamlanmıştır [37].



Harita 3.1. BTC HPBH projesi fiziki haritası [37]



Harita 3.2. BTC HPBH projesi siyasi haritası [37]

3.2.2. Büyükardıç kazısı

Büyükardıç Kazısı, BTC HPBH Projesi Arkeolojik Kurtarma Kazıları Projesi çerçevesinde, Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün izinleri, BTC HPBH Direktörlüğü'nün finansman desteği ve GÜ-

ARÇED Merkezi'nin oluşturduğu kazı ekibi ile 11 Ağustos 2003 ve 22 Kasım 2003 tarihleri arasında Erzurum Müzesi Müdürlüğü Başkanlığında yapılmıştır [38].

Büyükardıç; Erzincan ili, Tercan ilçesine bağlı Gökdere Köyü'nün 500m güneyinde olup batıda Tercan ovası, doğu ve güneyinde Erzurum yönüne bakan kayalık doğal bir tepe görünümündedir. Büyükardıç tepesi ve yerleşim terası Resim 3.1'de gösterilmiştir. 2050m rakıma sahip olan tepenin doğu kesimi ham petrol boru hattının 28m koridoru içerisinde kalmaktadır.



Resim 3.1. Büyükardıç tepesi ve yerleşim terası [38]

BTC HPBH Projesi gereği 28m koridoru içerisinde yürütülmesi gereken kazı çalışmaları için söz konusu koridorun sınırları içerisindeki yüzeyde gözlenen çanak çömlek parçalarının dağılımına göre belirlenen arkeolojik hassasiyete sahip alan 10x10m'lik gritlere bölünmüştür. Büyükardıç Tepesi'nin güneyinden tepeye doğru yükselen güzergah yaklaşık 2020-2035m rakımlı teras üzerinde bir kırılma ile kuzeydoğuya yönelmektedir.

Buna göre, 28m koridorunun kırılma noktasının güneyinde kalan kısmı, A-1-A-3 (10x10m), B-1-B-3 (10x10m) ve C-1-C-3 (8x10m) açmaları, kuzeyinde kalan ve dik yamaca rastladığı için arkeolojik hassasiyetin daha az olduğu kısmı ise A'-1-A'-2 (10x10m) ve B'-1-B'-2 (10x10m) olmak üzere gritlenmiştir. Bu gritlenmiş alanların belirtildiği Büyükardıç topografik haritası Harita 3.3'te gösterilmektedir.

Kazılan alanın nispeten küçük olmasına karşın mevcut yapı kalıntıları merkezi bir yerleşim planlamasının olmadığını göstermektedir.

3.2.3. Eşdeğer doz ve yıllık doz tespiti için örnek hazırlığı

IRSL yöntemiyle tarihlendirilmesi yapılan çömlek parçası (Bkz. Resim 3.4) saf su ile yıkanarak atıklarından arındırılmıştır. Örneğin herhangi bir şekilde ışık görmesi ihtimali göz önünde bulundurularak kalın tabakasının her cephesinden 1cm'lik dış tabakası kaldırılmıştır. Kesici aletin örnek üzerinde katkı bırakmamasına dikkat edilmiştir. Toz haline gelen örnek darbeli elek makinesi kullanılarak 60µm ve 45µm boyutlarına ayrılmıştır. 45µm boyutundaki örnek, kalsitlerin ayrılması için %10'luk HCl asitten geçirilerek kimyasal işleme tabi tutulmuştur. Bu kimyasal işlemde, örnek 30 dakika HCl asit içinde tutulmuş ve üzerine bol miktarda saf su koyulmuştur. Karışım iyice karıştırıldıktan sonra 2 saat beklenmiştir. Üstte kalan çözünmüş kısım atılarak geriye kalan malzeme asetonla yıkanmış ve kuruması için beklenmiştir. Kimyasal işlem sonucu kurumuş olan örnek tekrar elenerek toz haline getirilmiştir. Elde edilen toz örnekler, alüminyum foillerin üzerine tutturulmuştur. Bunun için öncelikle yüzeyi zımpara ile temizlenmiş olan 1cm çaplı alüminyum foilin üzerine yapışmayı sağlamak için ince bir tabaka halinde parafin sürülmüştür. Daha sonra foilin üzerine çok kalın bir tabaka oluşturmayacak ve yüzeye homojen dağılacak biçimde elde edilen toz örnekler, alüminyum foillere yayılmış ve üzerine bastırılmak suretiyle deneyde kullanılacak numuneler elde edilmiştir. Numunelerin bu şekilde hazırlanması sonuçların daha doğru çıkmasında büyük rol oynamaktadır.

Deneyde; eşdeğer doz tespitinde kullanılacak metotlardan tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi için bir tablet, çok-tablet ilave doz yöntemi için ise her biri 2'şer tabletli 7 grup oluşturulmuştur. Bu toplam 14 tabletlik numuneler hazırlanırken eşit kütlede (0,011g) olmalarına dikkat edilmiştir. Böylelikle, eşdeğer doz tespiti için hazırlanan tabletler deney düzeneğinin örnek tutucusuna yerleştirilerek ölçüme hazır hale getirilmiştir.

Yıllık doz tespiti için örnek hiçbir kimyasal işleme tabi tutulmamış, darbeli elek makinesiyle 45µm boyutuna ayrılmış kısmı kullanılmıştır.

OSL ile tarihlendirme çalışmalarında, numunelerin gün ışığına maruz kalmaması gerekmektedir. Güneş ışığı birkaç saniyede çok dayanıklı tarihleme sinyalinin bile azalmasına neden olabilir. Bu ise hesaplanacak yaştan olması gerekenden daha küçük çıkmasına sebep olur. Bu nedenle tüm deneysel işlemlerde olduğu gibi numuneler hazırlanırken de ortamın oldukça mat kırmızı ışıkla aydınlatılmış olmasına dikkat edilmiştir. Aksi takdirde incelenmek istenen tuzaklanmış elektronlar istenmeyen bir şekilde boşaltılmış olacaktır.

Deneyde kullanılan cihaz ve aletler EK-1’de gösterilmiştir.

3.3. Metodoloji

Tarihlendirme çalışmasında, öncelikle ön ısıtma sıcaklığı ve en uygun sayma zamanı belirlenmesi için bir ön çalışması yapılmıştır. Daha sonra eşdeğer doz tespitine geçilmiş, son olarak ise yıllık doz tespiti yapılmıştır.

3.3.1. Ön ısıtma sıcaklığı

OSL ile kararlı ve kararsız lüminesansı ayırmaya uygun TL’deki gibi bir ısı gelişim eğrisinin eşdeğeri yoktur. Bu nedenle de kararsız tuzaklar ile ortaya çıkan yapay lüminesans sinyalinin etkisi ön ısıtma işlemi ile ortadan kaldırılır. Örneklerin laboratuvarında yapay ışınlanmasından sonra ön ısıtma işlemine tabi tutulması gerekir. Çünkü ışığa duyarlı sığ tuzakların doğrudan katkıları ile yapay OSL sinyali oluşabilir. Bunun yanı sıra doğal örneklerin lüminesansına, gömülü bulunduğu sürece sığ tuzaklardan gelen katkılar olacaktır. Ön ısıtma yapılmadıkça bulunan eşdeğer doz, bu katkılarla çok yüksek değerde bulunur. Lüminesans duyarlılığındaki değişim, doğal OSL’yi yapay OSL’dekinden çok daha güçlü etkilerse bulunan eşdeğer dozun saptanması çok daha kesinlik kazanır.

Her örneğin kendi yapısından kaynaklanan farklılıklardan dolayı farklı ön ısıtma sıcaklıkları vardır. Kuvarz örnekler için 48 saat 150°C; 16 saat 160°C; 5 dakika 220°C ve 1 dakika 240°C; feldspat örnekler için 5 saat 160°C veya 10 dakika 220°C; 5 gün 140°C ayrıca ince tanecikli feldspatlar için 16 saat 140°C, kalın tanecikli feldspatlar için bir hafta 100°C sıcaklık ve süreler ön ısıtma işleminde kullanılan bir çeşit reçetelerdir [29-31].

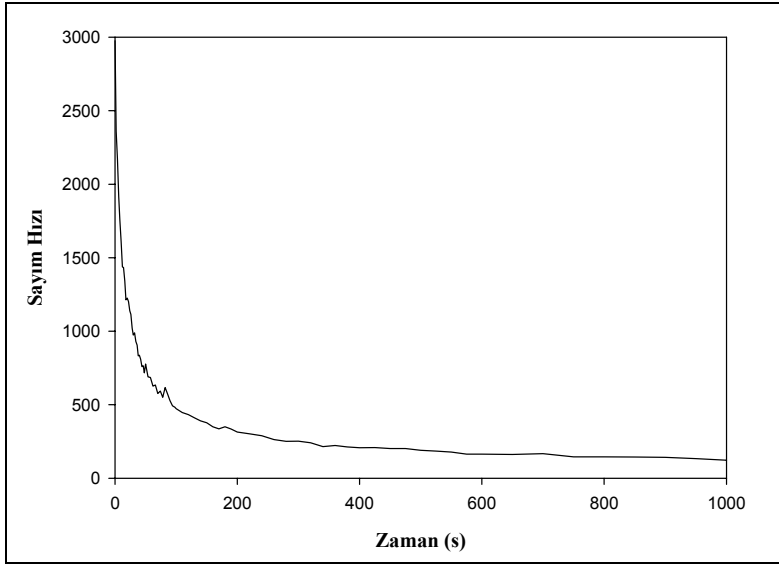
Bu reçeteler göz önünde bulundurularak deneyde kullanılan feldspat örnek için ön ısıtma sıcaklığı 180°C olarak alınmıştır.

3.3.2. En uygun sayma zamanının belirlenmesi

OSL eğrileri uygun sayma zamanına (uyarılma süresine) karşı alınan OSL şiddetleri ile oluşur. Maksimum lüminesans sayımının elde edilmesi en uygun sayma zamanının bulunmasına bağlıdır. Uygun sayma zamanının tespitinde alınan ölçü tuzaklardaki elektronların hepsinin çıkarılmasıdır. Bunun belirlenmesi için bir deneme tableti alınarak küçük zaman aralıklarıyla örneğin özelliğine bağlı olarak belirli bir süre sayılır. Sayım hızının zamana göre olan grafiğinde, sayım hızının durulmaya başladığı nokta en uygun sayma zamanını verir.

Büyükardıç örneğinin en uygun sayma süresinin tespitinde örnek, ^{90}Sr - ^{90}Y kaynağı kullanılarak 20Gy β dozuna maruz bırakılmıştır. 180°C'de 5 dakika ön ısıtma yapılmış ve oda sıcaklığında 30 dakika bekletildikten sonra 1000 saniye, 0,1 saniye periyotlar ile lüminesans sayımı alınmıştır. Örnek için oda sıcaklığındaki ($\approx 20^\circ\text{C}$) IRSI bozunma eğrisi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi sayım hızındaki durulma 200 saniyeden sonra başlamaktadır. Dolayısıyla çalışmada ele alınan sayma zamanı 200 saniye olarak belirlenmiştir. Bundan sonra eşdeğer doz tespitinde bütün sayımlar için bu sayma zamanı kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Oda sıcaklığındaki ($\approx 20^\circ\text{C}$) IRSL bozunma eğrisi

3.3.3. Eşdeğer doz tespiti

Örneğin eşdeğer doz tespiti, tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi ve çok-tablet ilave doz yöntemi olmak üzere iki farklı yöntem uygulanarak yapılmıştır.

Tek-Tablet Yeniden Oluşturma Yöntemi

ED hesabında, tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi için önceden hazırlanan tablete 180°C 'de 5 dakika ön ısıtma yapılmış ve oda sıcaklığında 30 dakika bekletildikten sonra doğal lüminesans sayımı alınmıştır. Örnek sıfırlanmış ve örneğe 15s laboratuvar dozu verilmiştir. Tekrar ön ısıtma yapıp lüminesans sayımı alınmıştır. Bu adımlar sırasıyla 30s, 60s, 120s, 240s, 480s için tekrarlanmıştır. Her adım arasında örneğin sıfırlanıp sıfırlanmadığı örneğin tekrar tekrar IRSL sayımı alınarak lüminesans sayımının taban seviyeye düşmesiyle kontrol edilmiştir.

Laboratuvar dozları, ^{90}Sr - ^{90}Y beta kaynağı ile tabletlere 0,034 Gy/s olarak verilmiştir ki bahsedilen doz verme zamanları sırasıyla 0,51Gy; 1,02Gy; 2,04Gy; 4,08Gy; 8,16Gy; 16,32Gy'lik laboratuvar dozlarına karşılık gelmektedir. Tek-tablet yeniden oluşturma yönteminde eşdeğer doz; doz cevap eğrisinin doz eksenine doğal

lümİnesans sinyalinin interpolasyonuİla elde edildiği için doz verme zamanına karşılık gelen yukarıdaki laboratuvar dozları ölçü alınmıştır.

Tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi işlem algoritması şekil 3.9’da gösterilmiştir.

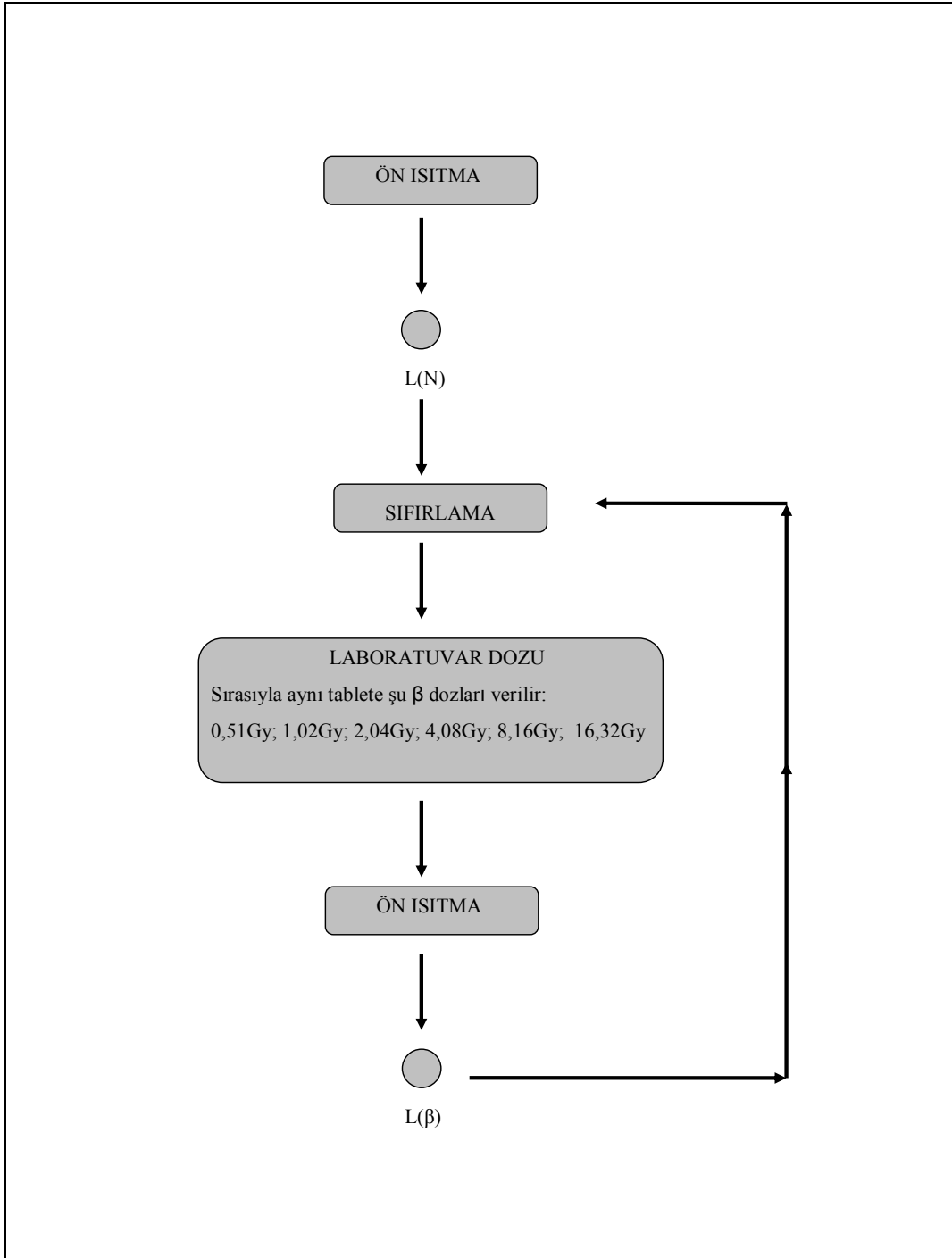
řekil 3.9’daki her bir adımda doza baĐlı IRSŁ sayım verileri iki řekilde elde edilmiřtir. İlk olarak; bu eĐrilerdeki ortalama IRSŁ sayımı, ikinci olarak maksimum IRSŁ sayımı dikkate alınarak eřdeĐer doz tespit edilmiřtir. Tek-tablet yeniden oluřturma yöntemi doza baĐlı ortalama IRSŁ sayım verileri izelge 3.1’de maksimum IRSŁ sayım verileri izelge 3.2’de gösterilmiřtir.

Çizelge 3.1. Tek-tablet yeniden oluřturma yöntemi doza baĐlı ortalama IRSŁ sayım verileri

Doz (Gy)	0	0,51	1,02	2,04	4,08	8,16	16,32
Sayım Hızı	120	44	44	70	70	133	271

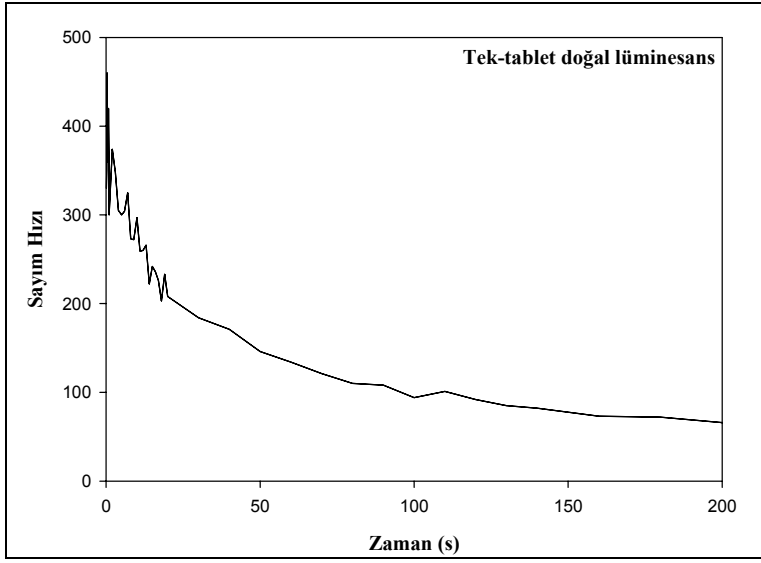
Çizelge 3.2. Tek-tablet yeniden oluřturma yöntemi doza baĐlı maksimum IRSŁ sayım verileri

Doz (Gy)	0	0,51	1,02	2,04	4,08	8,16	16,32
Sayım Hızı	420	66	52	188	210	420	1020



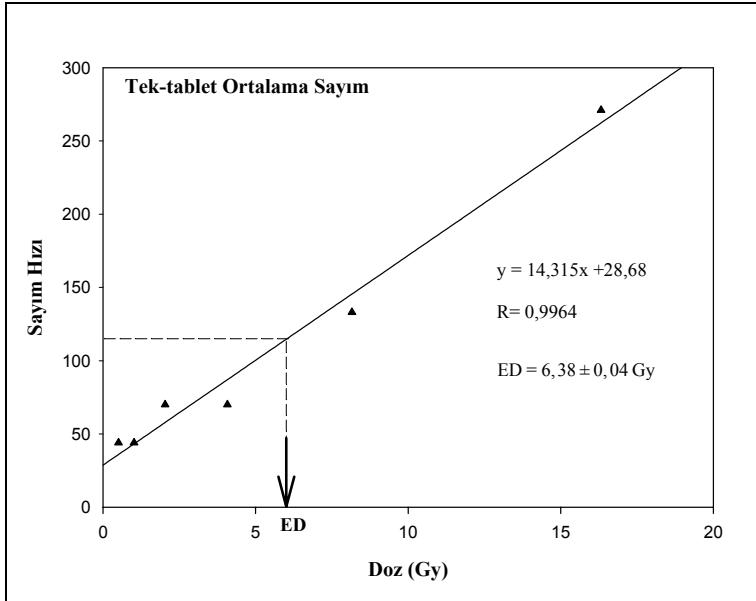
Şekil 3.9. Tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi işlem algoritması

Tek-tablet yeniden oluşturma yönteminde, doğal lüminesans için elde edilen IRSL bozunum eğrisi Şekil 3.10’da gösterilmiştir.

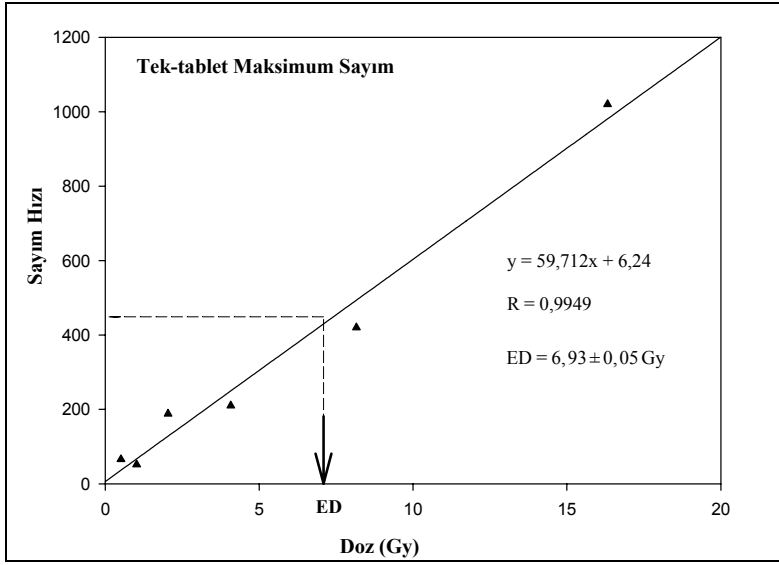


Şekil 3.10. Tek-tablet yeniden oluşturma yönteminde doğal lüminesans için IRSL bozunum eğrisi

ED tespiti için yeniden oluşturma yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem için iki ED değeri bulunmuştur. Tek-tablet yeniden oluşturma yönteminde, ortalama sayım ED grafiği Şekil 3.11’de ve maksimum sayım ED grafiği Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi ortalama sayım ED grafiği



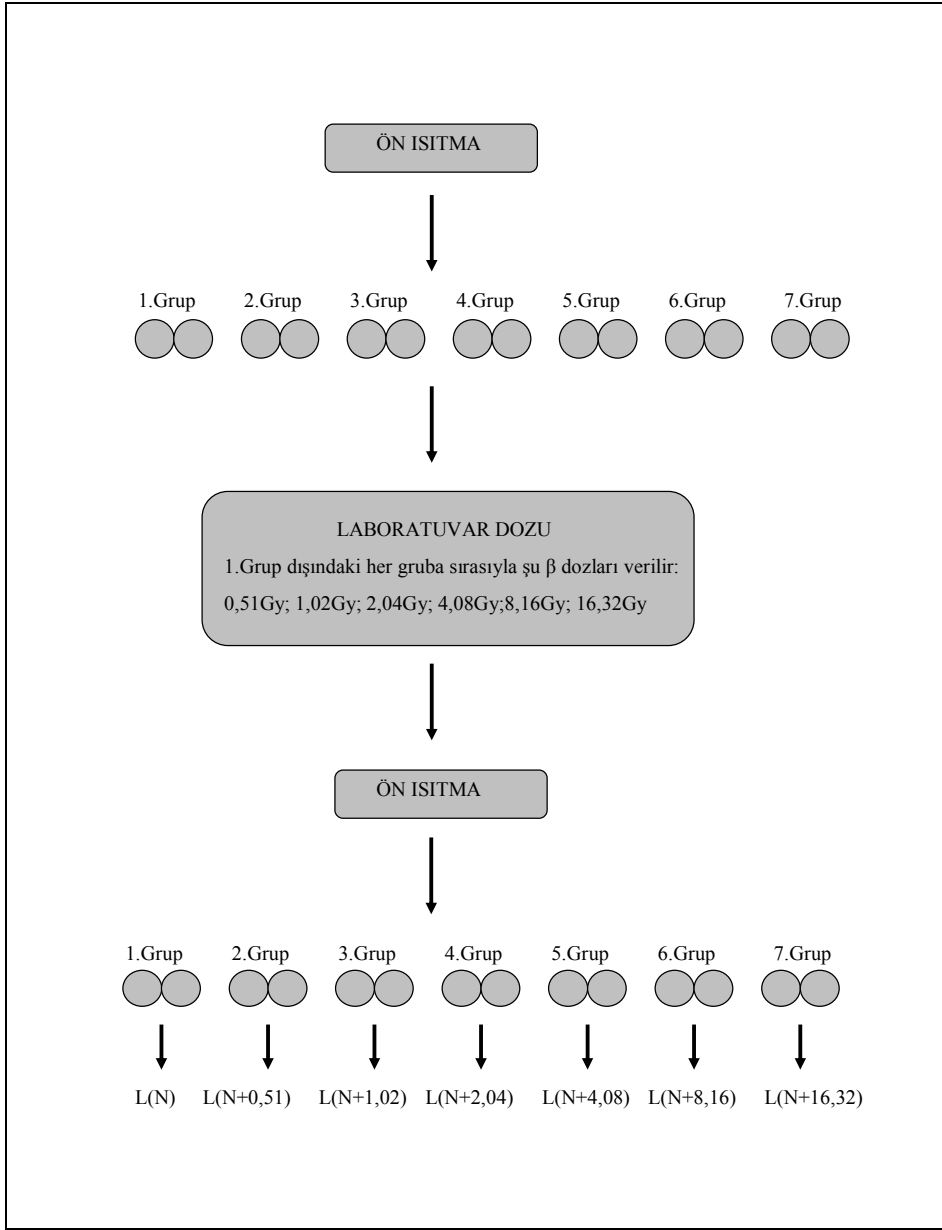
Şekil 3.12. Tek-tablet yeniden oluşturma yöntemi maksimum sayım ED grafiği

Çok-Tablet İlave Doz Yöntemi

ED hesabında, çok-tablet ilave doz yöntemi için önceden hazırlanan ikişer tabletli 7 gruptan oluşan toplam 14 tablete ilk olarak, 180°C’de 5 dakika ön ısıtma uygulanmış ve LED’ler ile 0,1 saniye uyarılarak tabletler normalize edilmiştir. Böylelikle tabletlerin özdeşliği sağlanmıştır. Gruplardan birine hiçbir laboratuvar dozu verilmemiş, diğer gruplara ise doğal+artan dozlarda laboratuvar dozu (β dozu) verilmiştir. Çalışmada tabletlere uygulanan artan β dozları sırasıyla; 0,51Gy; 1,02Gy; 2,04Gy; 4,08Gy; 8,16Gy; 16,32Gy’dir. Bütün grupların luminesans sayımları; 180°C’de 5 dakika ön ısıtma uygulanıp, oda sıcaklığında 30 dakika bekletildikten sonra alınmıştır. Böylelikle, hiçbir laboratuvar dozu verilmemiş olan grubun doğal luminesans sayımı $L(N)$ ile diğer grupların $L(N+\beta)$ luminesans sayımları elde edilmiştir.

Çok-tablet ilave doz yöntemi işlem algoritması Şekil 3.13’de gösterilmiştir.

ED tespitinde doğruluk oranını artırmak için $L(N)$ ve her bir $L(N+\beta)$ luminesans sayımlarından en uygun IRSL sayımları göz önünde bulundurulmuştur. Çok-tablet ilave doz yöntemi doza bağlı IRSL sayım verileri Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

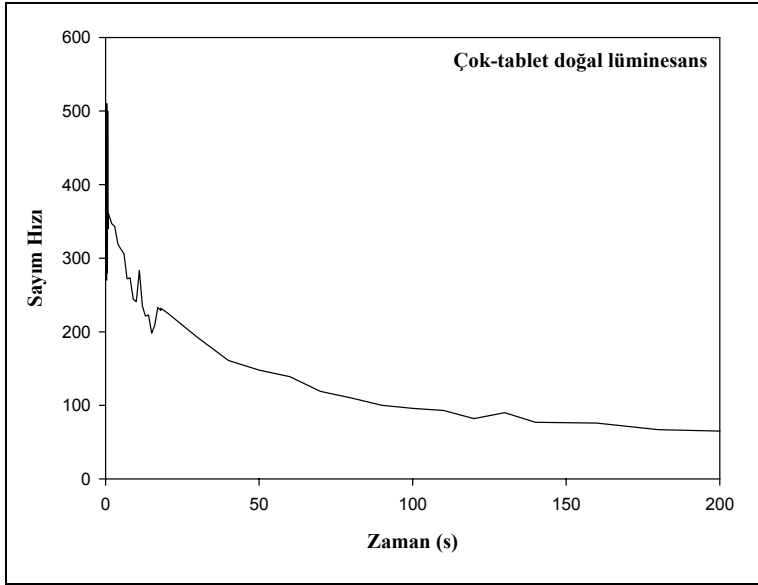


Şekil 3.13. Çok-tablet ilave doz yöntemi işlem algoritması

Çizelge 3.3. Çok-tablet ilave doz yöntemi doza bağlı IRS L sayım verileri

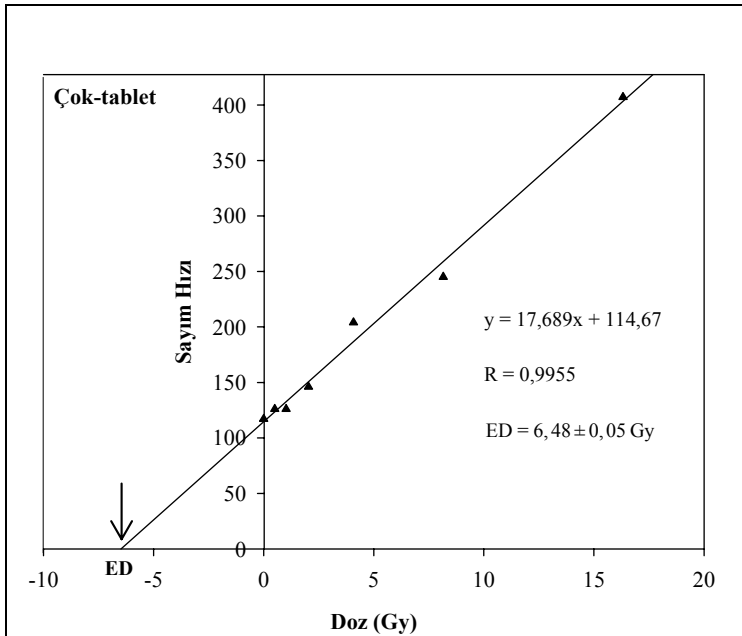
Doz (Gy)	0	0,51	1,02	2,04	4,08	8,16	16,32
Sayım Hızı	118	126	134	154	217	262	429

Çok-tablet ilave doz yönteminde, doğal lüminesans için elde edilen IRS L bozunum eğrisi Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Çok-tablet ilave doz yönteminde doğal lüminesans için IRSI bozunum eğrisi

ED tespiti için ilave doz yöntemi uygulanmıştır. Çok-tablet ilave doz yöntemi ED grafiği Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Çok-tablet ilave doz yöntemi ED grafiği

3.3.4. Yıllık doz tespiti

Örneğin K tayini Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi'nde (SANAEM) atomik absorpsiyon ile, U ve Th katkıları ise düşük seviye alfa sayıcısıyla bulunmuştur. Deneyde kullanılan alfa sayıcısı EK-1'de gösterilmiştir. K, U ve Th konsantrasyonlarından faydalanarak yıllık doz hesaplanmıştır. Örneğin potasyum yüzdesi % 1,46 olarak belirlenmiştir.

Yıllık doz tespiti için, hiçbir kimyasal işleme tabi tutulmayan örnek kullanılmıştır. Örnek, özel mika kap içindeki çinko sülfür ekran üzerine ince bir tabaka halinde homojen yayılarak ve üzeri sıkıca kapatılarak alfa sayıcısının dedektörü içerisine konulmuştur. 1000s'lik periyotlarla sayımlar alınmıştır.

Yıllık doz, OSL 9010 Sistemi lüminesans okuyucusunun yaş hesaplama programında girilen bilgilerle tespit edilmiştir. Ayrıca, örneğin aynı zaman periyodu ile üzerindeki kapak açılarak sayımlar alınarak açık sayım sonuçları alınmıştır. Böylece örnek için kapalı ve açık sayım sonuçları elde edilmiş ve bu sonuçlar kullanılan yaş programında veri olarak girilmiştir. Yaş hesabı için programda ihtiyaç duyulan bilgi ve değerler Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Yaş hesabı için programda ihtiyaç duyulan bilgi ve değerler

İhtiyaç duyulan bilgiler	Değerler
Açık alfa sayım hızı	8,54 / 1000s
Th'dan gelen açık alfa sayım hızı	3,81 / 1000s
U'dan gelen açık alfa sayım hızı	4,73 / 1000s
Kapalı alfa sayım hızı	5,68 / 1000s
% K ₂ O	1,75
Doymuş nem içeriği	0,50 ± 0,050
Örneğin gömülü olduğu sürece aldığı su	1,00 ± 0,100
Sabit bir değer	0,0490 ± 0,0165

Çizelge 3.4. (Devam) Yaş hesabı için programda ihtiyaç duyulan bilgi ve değerler

İhtiyaç duyulan bilgiler	Değerler
Örneğin gömülü olduğunda, üzerindeki toprak kalınlığı	0,50 m
Örneğin gömülü olduğunda, üzerindeki kaya kalınlığı	0,50 m
Örneğin şimdiki üzerindeki toprak kalınlığı	0,50 m
Örneğin şimdiki üzerindeki kaya kalınlığı	0,50 m
Kozmik doz hızı	$0,1792 \pm 0,179$ Gy/ka
Eşdeğer doz	$6,38 \pm 0,04$ Gy $6,93 \pm 0,05$ Gy $6,48 \pm 0,05$ Gy

Çizelge 3.4’de eşdeğer doz bilgi kısmına sırasıyla, tek tablet yeniden oluşturma yönteminde ortalama ve maksimum sayıma göre elde edilen ED değerleri ($6,38 \pm 0,04$ Gy ve $6,93 \pm 0,05$ Gy) ile çok tablet ilave doz yönteminde elde edilen ED değeri ($6,48 \pm 0,05$ Gy) girilmiştir. Örnekteki, çeşitli doz hızları ve yıllık doz değeri Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Doz hızları

	Sayım Hızı	Toplam Yüzdesi
α	0,284	12,70
U’dan gelen β	0,189	8,43
Th’dan gelen β	0,157	7,00
K’dan gelen β	0,751	33,54
Toplam β	1,096	48,97
U’dan gelen γ	0,161	7,18
Th’dan gelen γ	0,293	13,11
K’dan gelen γ	0,224	10,03
Toplam γ	0,679	30,32
Kozmik ışın	0,179	8,01
Yıllık doz	2,238	100

3.3.5. Farklı eşdeğer doz uygulamaları

Bu bölümde ilk olarak; hızlı ve yavaş bileşenlerin toplamından oluştuğu kabul edilen (ki bunlar iki eksponansiyel bozunumun toplamını tanımlar) CW-OSL bozunum eğrilerinde, yavaş bileşenlerin ED'ye katkısı incelenmiştir. Daha sonra CW-OSL'den LM-OSL'ye bir geçiş uygulaması yapılmış ve uygulama sonucu yavaş bileşenlerin ED'ye katkısı incelenmiştir.

CW-OSL'de Yavaş Bileşenler ile Eşdeğer Dozun Tespiti

İlk olarak, CW-OSL bozunum eğrilerindeki toplam lüminesans şiddeti ifadesi teorik olarak anlatılmış ve daha sonra CW-OSL bozunum eğrileri için deneysel uygulama çalışması yapılmıştır.

CW-OSL bozunum eğrilerindeki toplam lüminesans şiddeti, Eş.3.1 ile tanımlanır.

$$I(t) = I_1(t) + I_2(t) \quad (3.1)$$

$I_1(t)$: Hızlı bileşenlerin lüminesans şiddeti

$I_2(t)$: Yavaş bileşenlerin lüminesans şiddeti

Toplam lüminesans şiddeti $I(t)$, Eş.3.2 ile daha açık olarak ifade edilebilir.

$$I(t) = I_{10} \exp(-\lambda_1 t) + I_{20} \exp(-\lambda_2 t) \quad (3.2)$$

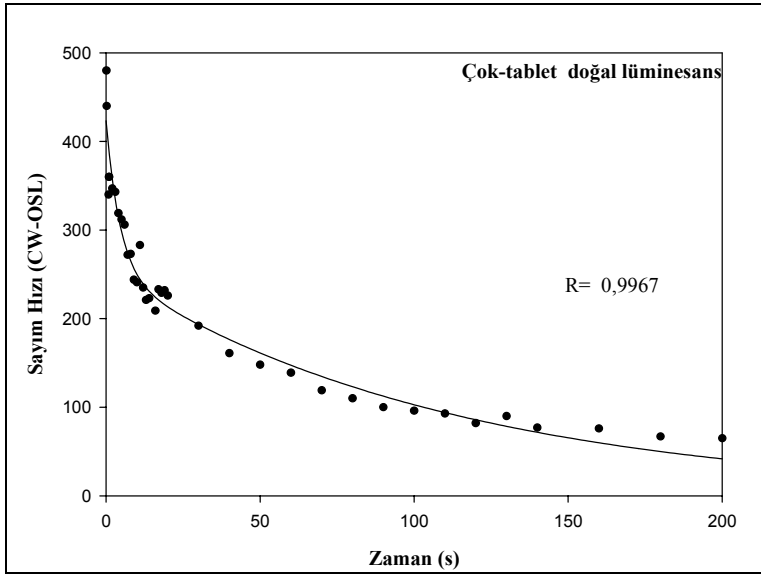
$I_{10}(t)$: $t=0$ anında hızlı bileşenlerin lüminesans şiddeti

$I_{20}(t)$: $t=0$ anında yavaş bileşenlerin lüminesans şiddeti

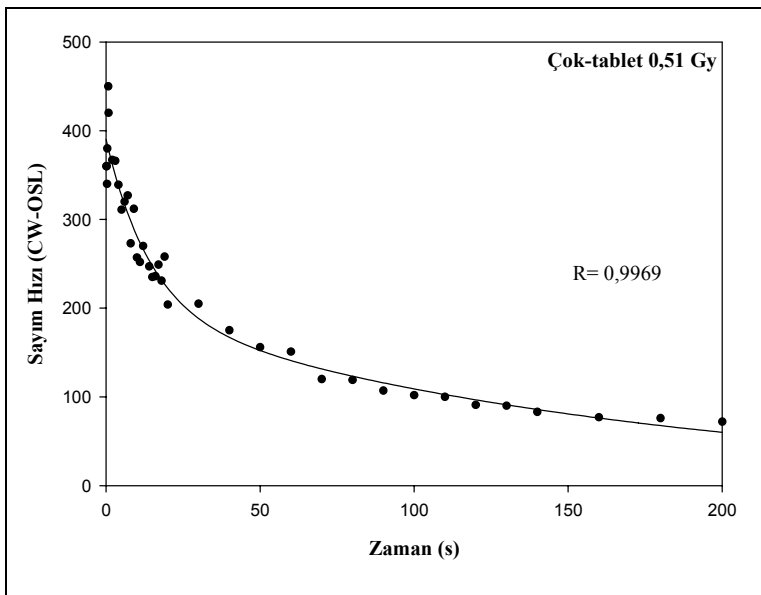
λ_1 : Hızlı bileşenlerin bozunma sabiti

λ_2 : Yavaş bileşenlerin bozunma sabiti

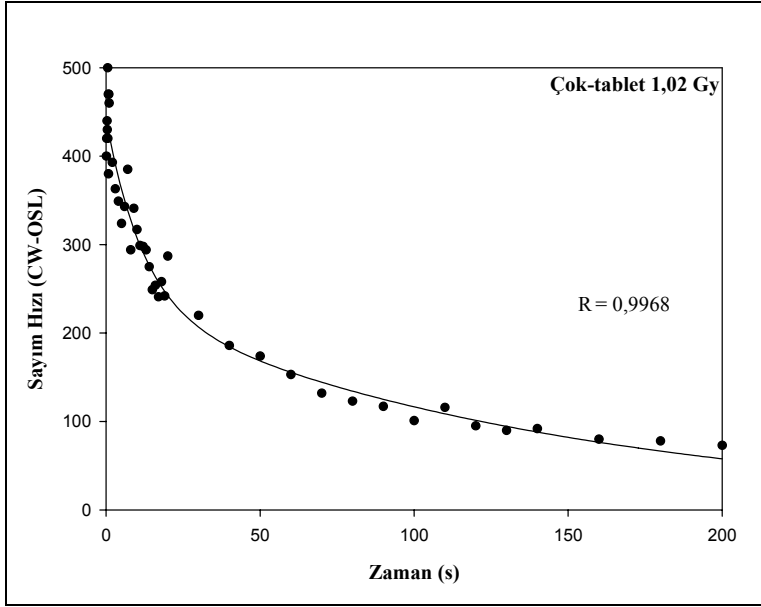
Bu uygulama çalışmasında, CW-OSL bozunum eğrileri olarak çok-tablet ilave doz yönteminde her bir dozuna karşılık elde edilen IRSL bozunum eğrileri kullanılmıştır. Bu eğrilerde hızlı ve yavaş bileşenlerin incelemesi için her bir eğri Eş.3.2 deki ifadeye fit edilmiş ve fit eğrileri çizilmiştir. Her bir doz için elde edilen fit eğrileri Şekil 3.16- Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



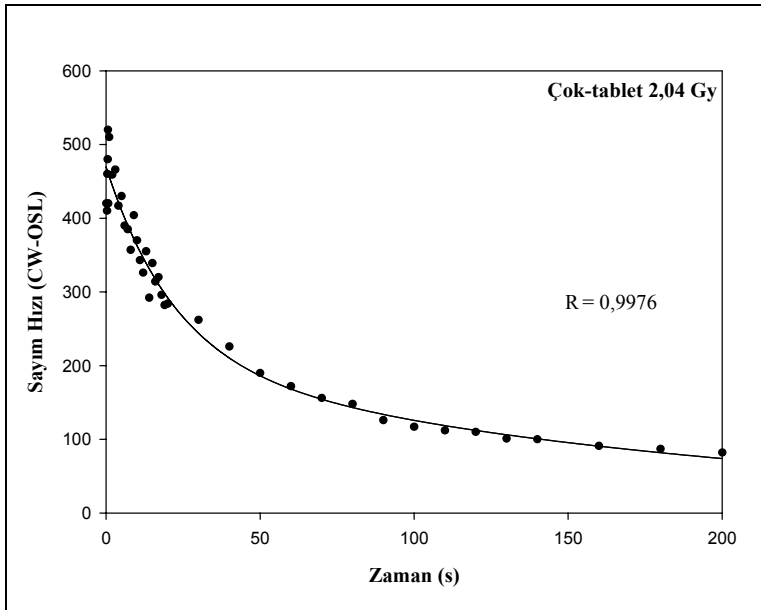
Şekil 3.16. Çok-tablet ilave doz yönteminde doğal lüminesans için CW-OSL fit eğrisi



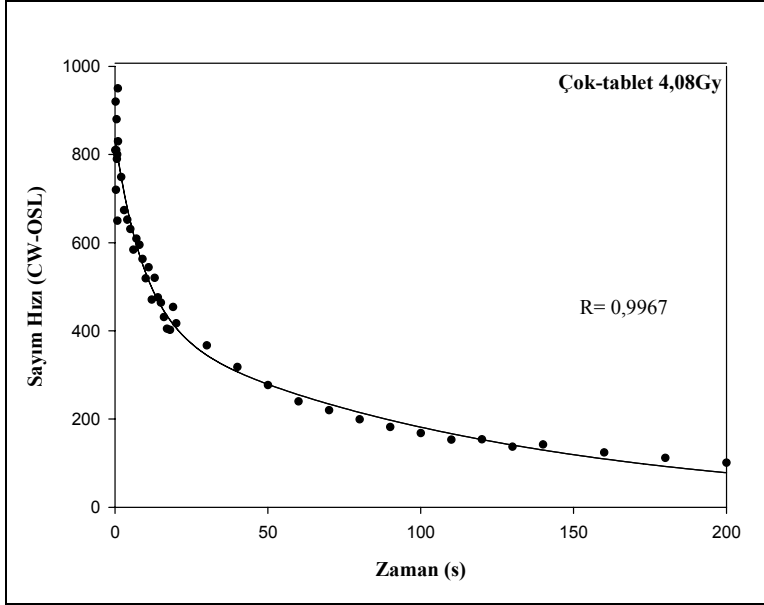
Şekil 3.17. Çok-tablet ilave doz yönteminde 0,51Gy için CW-OSL fit eğrisi



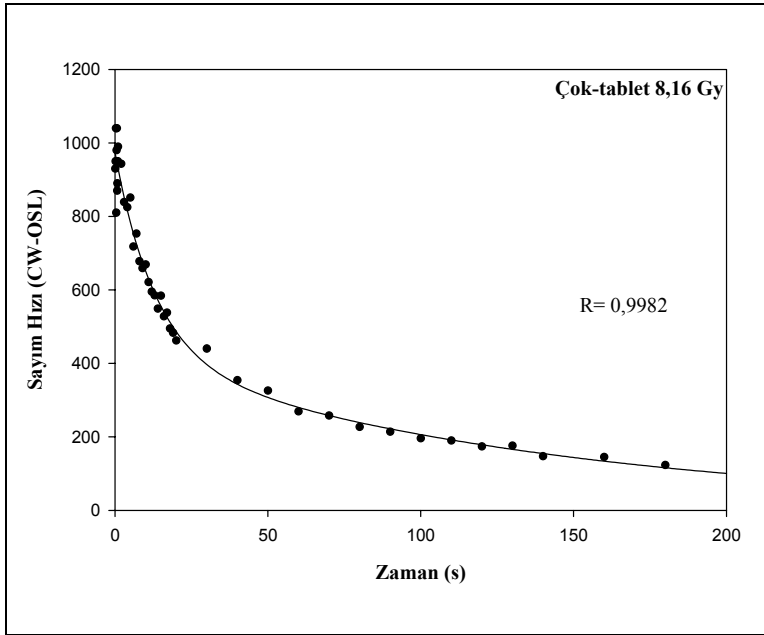
Şekil 3.18. Çok-tablet ilave doz yönteminde 1,02Gy için CW-OSL fit eğrisi



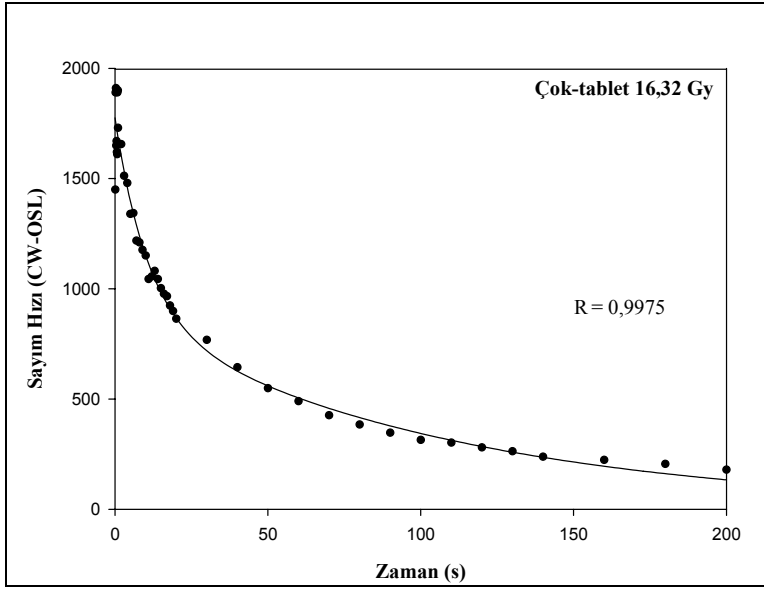
Şekil 3.19. Çok-tablet ilave doz yönteminde 2,04Gy için CW-OSL fit eğrisi



Şekil 3.20. Çok-tablet ilave doz yönteminde 4,08Gy için CW-OSL fit eğrisi



Şekil 3.21. Çok-tablet ilave doz yönteminde 8,16Gy için CW-OSL fit eğrisi



Şekil 3.22. Çok-tablet ilave doz yönteminde 16,32Gy için CW-OSL fit eğrisi

Çok-tablet ilave doz yönteminde her bir doza karşılık fit sonucu elde edilen Eş.3.2'deki I_{10} , I_{20} , λ_1 , λ_2 ve R Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Böylelikle, her bir bozunum eğrisi için hızlı ve yavaş bileşenlerden elde edilen toplam bozunum denklemleri elde edilmiştir. Her bir doza karşılık gelen toplam bozunum denklemleri Çizelge 3.7'de, hızlı ve yavaş bileşen bozunum denklemleri ise Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık elde edilen CW-OSL fit sonuçları

Doz (Gy)	I_{10}	I_{20}	λ_1	λ_2	R
0	170,09	253,11	0,2197	0,0090	0,9967
0,51	192,72	197,36	0,0703	0,0060	0,9969
1,02	207,87	234,96	0,0847	0,0070	0,9968
2,04	265,41	204,18	0,0451	0,0051	0,9976
4,08	413,84	421,69	0,1055	0,0084	0,9967
8,16	551,52	422,30	0,0759	0,0072	0,9982
16,32	889,67	885,21	0,0943	0,0095	0,9975

Çizelge 3.7. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık fit edilmiş CW-OSL toplam bozunum denklemleri

Doz (Gy)	Toplam (hızlı bileşen ve yavaş bileşen) bozunum denklemleri
0	$170,09\exp(-0,2197t) + 253,11\exp(-0,0090t)$
0,51	$192,72\exp(-0,0703t) + 197,36\exp(-0,0060t)$
1,02	$207,87\exp(-0,0847t) + 234,96\exp(-0,0070t)$
2,04	$265,41\exp(-0,0451t) + 204,18\exp(-0,0051t)$
4,08	$413,84\exp(-0,1055t) + 421,69\exp(-0,0084t)$
8,16	$551,52\exp(-0,0759t) + 422,30\exp(-0,0072t)$
16,32	$889,67\exp(-0,0943t) + 885,21\exp(-0,0095t)$

Çizelge 3.8. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık fit edilmiş CW-OSL hızlı ve yavaş bileşen bozunum denklemleri

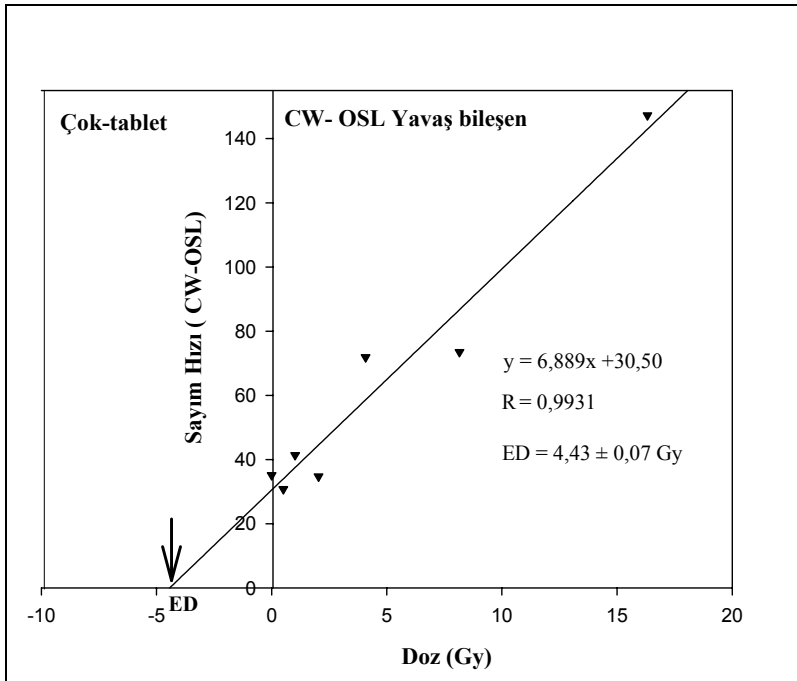
Doz (Gy)	Hızlı bileşen bozunum denklemi	Yavaş bileşen bozunum denklemi
0	$170,09\exp(-0,2197t)$	$253,11\exp(-0,0090t)$
0,51	$192,72\exp(-0,0703t)$	$197,36\exp(-0,0060t)$
1,02	$207,87\exp(-0,0847t)$	$234,96\exp(-0,0070t)$
2,04	$265,41\exp(-0,0451t)$	$204,18\exp(-0,0051t)$
4,08	$413,84\exp(-0,1055t)$	$421,69\exp(-0,0084t)$
8,16	$551,52\exp(-0,0759t)$	$422,30\exp(-0,0072t)$
16,32	$889,67\exp(-0,0943t)$	$885,21\exp(-0,0095t)$

Yavaş bileşenlerin eşdeğer doza katkısının incelenmesi için Çizelge 3.8'deki yavaş bozunum denklemleri kullanılarak her bir doza karşılık ortalama sayım hızı elde edilmiştir. Yavaş bileşen için doza karşı bulunan ortalama sayım hızı verileri Çizelge 3.9'da gösterilmiştir. Çizelge 3.9'daki sayım hızlarının verilen laboratuvar dozlarına karşı grafiği çizilmiştir. Böylelikle, yavaş bileşenler için ED tespiti yapılmıştır.

Yavaş bileşen değerleri kullanılarak hesaplanan ED tespiti için ilave doz yöntemi kullanılmış olup elde edilen ED grafiği Şekil 3.23’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık fit edilmiş CW-OSL yavaş bileşen sayım verileri

Doz (Gy)	0	0,51	1,02	2,04	4,08	8,16	16,32
Sayım Hızı	35,17	30,83	41,40	34,77	71,88	73,54	147,29



Şekil 3.23. Çok-tablet ilave doz yöntemi fit edilmiş CW-OSL yavaş bileşen için elde edilen ED grafiği

LM-OSL’de Yavaş Bileşenler ile Eşdeğer Dozun Tespiti

Bu çalışma için öncelikle; basit bir modelde, LM işlemi için bir takım ön bilgiler sunulmuştur.

Potasyum feldspatlarda infrared uyarmalı lüminesansı tanımlamak için 1988 yılında Hütt ve ark. tarafından bir model ileri sürülmüştür [2]. Model, elektronların iki

adımında tuzaklardan boşalmasına dayalıdır. Birinci adım; tuzaklanmış elektronların bir orta enerjili duruma uyarılması, ikinci adım; termal uyarılmayla bu uyarılmış durumdan iletim bandına geçiştir. Model iki adımda uyarmayı içermesine rağmen basitlik olması amacıyla uyarmanın tek bir işlem olduğu varsayılır. OSL işlemi analizi için TL çalışmalarında kullanılan basit tuzak modeli örnek alınabilir.

Elektron tuzaklarının önceden radyasyon yoluyla doldurulduğu ve uyarma için uygun enerjili fotonların uygulandığı varsayılır. Eğer uyarma ışık kaynağı şiddeti sabit ise o zaman tuzaklanmış elektronların foto uyarımı ve sonra elektronun bir yerden birleşme merkezinde ışımalı yeniden birleşmesi esnasında lüminesans bozunumu gözlenebilir. Bir elektronun tuzağı terk etmesi için saniye başına olasılık, αI_0 (s^{-1}) uyarma şiddetiyle orantılıdır. Burada I_0 , uyarma ışığının şiddetidir. İşlem sabit sıcaklıkta TL gözlemiyle çok benzerdir. Yük taşıyıcılarının transferi çok iyi bilinen diferansiyel eşitliklerle tanımlanmıştır. Yarı denge durumu (serbest elektron sayısının tuzaklanmış elektron sayısından ve serbest elektron konsantrasyonunun değişim hızının tuzaklanmış elektronların hızından çok daha düşük olması) varsayıldığında, bu diferansiyel eşitlikler 1. derece diferansiyel olan tek bir eşitliğe indirgenir. Uyarılmış elektronun yeniden tuzaklanması olasılığı, bu eşitliğin üç şekilde yazılabilmesine dayanır. Böylelikle basit model, kinetiğin 3 farklı derecesi için analiz edilebilir. Bunlar; 1. derece kinetikler, 2. derece kinetikler ve genel derece kinetiklerdir. Son ikisi, lüminesans kaydı sırasında uyarılmış elektronların tekrar tuzaklanmasının olasılığını hesaba katar.

Eğer ışık şiddeti sabit değil fakat 0'dan I_0 'a doğrusal olarak artırılarak lüminesans kaydedilirse, bozunum eğrisinin görünümü sabit ısıtma hızlı TL deneyiyle çok benzer olur. Başlangıçta uyarma ışığı şiddeti düşük olduğu için elektronların boşalma olasılığı düşüktür. Uyarma kaynağı şiddeti arttırıldığında, artan lüminesans sinyalindeki bir artış sonucu elektronların tuzaklardan serbest kalma hızı giderek artar. Bir maksimuma ulaşıldıktan sonra tuzaklanmış elektronların konsantrasyonları giderek azaldığında, bir elektronun boşalma olasılığı düşmeye başlar. Sonuç görüntü, zamana göre çizilen lüminesansın piki şeklindedir [23].

Bu uygulama çalışmasında, 1. derece kinetikler göz önüne alınarak gerekli işlemler yapılmıştır.

1.derece kinetikler

1.derece kinetikler için tuzaklanmış elektronların sayısının değişim hızı, Eş.3.3 ile tanımlanır.

$$\frac{dn(t)}{dt} = -\alpha I_0 n(t) \quad (3.3)$$

$n(t)$: Tuzaklanmış elektronların sayısı

αI_0 : Saniyedeki uyarma ışığının bir I_0 ışık şiddeti değerinde tuzaklardan kaçan elektronların olasılığı

Lüminesans bozunumunun zaman sabiti $(\alpha I_0)^{-1}$ olup tuzaklanmış elektronların sayısı N_0 ($N_0 = n(t = 0)$) olarak alındığında lüminesans şiddeti şu şekilde verilir:

$$L(t) = -\frac{dn(t)}{dt} = N_0 \alpha I_0 \exp(-\alpha I_0 t) \quad (3.4)$$

$$L(t) = L_0 \exp(-\alpha I_0 t) \quad (3.5)$$

Deneyler, tuzaklardan elektronların serbest kalma hızının lineer olarak uyarma şiddetine (αI_0) bağlı olduğu varsayıldığı için farklı uyarma şiddetlerinde, farklı parametrelili lüminesans eğrilerinin sonuçlandığını göstermiştir.

Eğer lüminesans şiddeti; 0'dan I_0 'a kadar lüminesans kaydı süresince artarsa, Eş.3.3 şöyle ifade edilir:

$$\frac{dn(t)}{dt} = -\alpha \left[\frac{I_0}{T} \right] tn(t) \quad (3.6)$$

T : Sayma süresi

Tuzaklardaki elektronların dinamik davranışı Gaussian fonksiyonuyla Eş.3.7 ile tanımlanabilir:

$$n(t) = N_0 \exp\left(-\frac{\alpha I_0}{2T} t^2\right) \quad (3.7)$$

Lüminesans şiddeti ise şöyle ifade edilir:

$$L(t) = -\frac{dn(t)}{dt} = N_0 \alpha \left[\frac{I_0}{T} \right] t \exp\left(-\frac{\alpha I_0}{2T} t^2\right) \quad (3.8)$$

$$L(t) = L_0 \frac{t}{T} \exp\left(-\frac{\alpha I_0}{2T} t^2\right) \quad (3.9)$$

Yeni pik OSL'nin iki ana parametresi vardır. Bunlardan maksimum pik L_{mak} ve pik pozisyonu t_{mak} basit bir aritmetik kullanılarak Eş.3.9 ifadesinden kolaylıkla bulunabilir [23].

$$t_{\text{mak}} = \sqrt{\frac{T}{\alpha I_0}} \quad (3.10)$$

$$L_{\text{mak}} = N_0 \sqrt{\frac{\alpha I_0}{T}} \exp\left(-\frac{1}{2}\right) \quad (3.11)$$

$$L_{\text{mak}} = \frac{N_0}{t_{\text{mak}}} \exp\left(-\frac{1}{2}\right) \quad (3.12)$$

LM-OSL’de yavaş bileşenlerle eşdeğer doz tespiti yapılabilmesi için öncelikle, CW-OSL’den LM-OSL’ye bir geçiş uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama çalışmasında; çok-tablet ilave doz yöntemi CW-OSL fit eğrileri kullanılmıştır (Bkz. Şekil 3.16-Şekil 3.22).

LM-OSL bozunum eğrileri toplam lüminesans şiddeti, Eş.3.13 ile tanımlanır.

$$L(t) = L_1(t) + L_2(t) \quad (3.13)$$

$L_1(t)$: Hızlı bileşenlerin lüminesans şiddeti

$L_2(t)$: Yavaş bileşenlerin lüminesans şiddeti

Toplam lüminesans şiddeti $L(t)$, Eş.3.14 ile daha açık olarak ifade edilebilir.

$$L(t) = L_{10} \frac{t}{T} \exp\left(-\frac{\lambda_1}{2T} t^2\right) + L_{20} \frac{t}{T} \exp\left(-\frac{\lambda_2}{2T} t^2\right) \quad (3.14)$$

CW-OSL bozunum eğrilerinde (Bkz. Şekil 3.16-Şekil 3.22) hızlı ve yavaş bileşenler için Eş.3.14 deki ilgili ifadelerin yerine; Çizelge 3.8’deki her iki bileşen için fit sonucu elde edilen denklemlerdeki değerler alınmıştır. Böylelikle, her bir bozunum eğrisindeki hızlı ve yavaş bileşenlerin katkılarıyla, LM-OSL için toplam bozunum denklemleri elde edilmiştir. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık gelen LM-OSL toplam bozunum denklemleri Çizelge 3.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık elde edilen LM-OSL toplam bozunum denklemleri

Doz (Gy)	Toplam (hızlı bileşen ve yavaş bileşen) bozunum denklemleri
0	$\frac{170,09t}{200} \exp(-\frac{0,2197t^2}{400}) + \frac{253,11t}{200} \exp(-\frac{0,0090t^2}{400})$
0,51	$\frac{192,72t}{200} \exp(-\frac{0,0703t^2}{400}) + \frac{197,36t}{200} \exp(-\frac{0,0060t^2}{400})$
1,02	$\frac{207,87t}{200} \exp(-\frac{0,0847t^2}{400}) + \frac{234,96t}{200} \exp(-\frac{0,0070t^2}{400})$
2,04	$\frac{265,41t}{200} \exp(-\frac{0,0451t^2}{400}) + \frac{204,18t}{200} \exp(-\frac{0,0051t^2}{400})$
4,08	$\frac{413,84t}{200} \exp(-\frac{0,1055t^2}{400}) + \frac{421,69t}{200} \exp(-\frac{0,0084t^2}{400})$
8,16	$\frac{551,52t}{200} \exp(-\frac{0,0759t^2}{400}) + \frac{422,30t}{200} \exp(-\frac{0,0072t^2}{400})$
16,32	$\frac{889,67t}{200} \exp(-\frac{0,0943t^2}{400}) + \frac{885,21t}{200} \exp(-\frac{0,0095t^2}{400})$

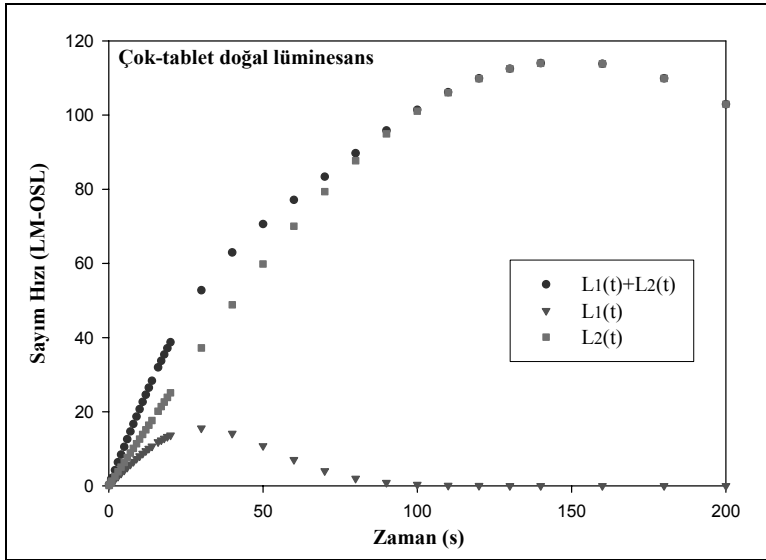
Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık gelen hızlı ve yavaş bileşenlerin LM-OSL bozunum denklemleri Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık elde edilen LM-OSL hızlı ve yavaş bileşen bozunum denklemleri

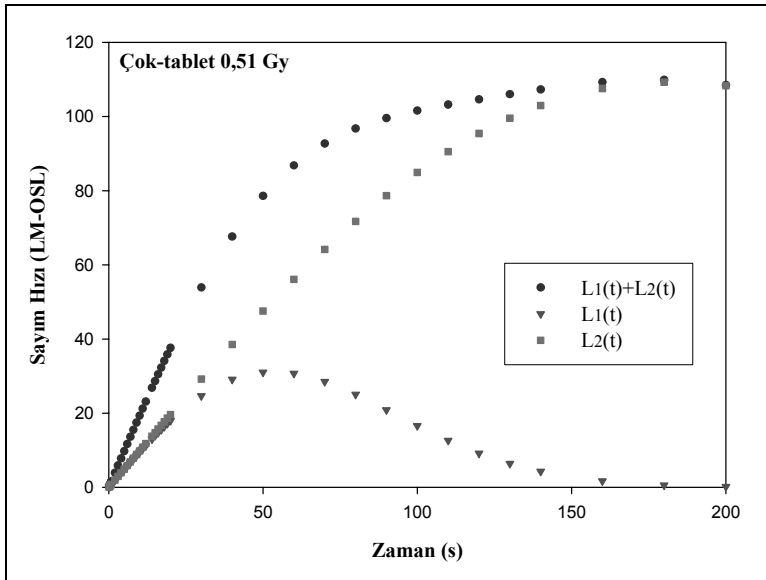
Doz (Gy)	Hızlı bileşen bozunum denklemi	Yavaş bileşen bozunum denklemi
0	$\frac{170,09t}{200} \exp(-\frac{0,2197t^2}{400})$	$\frac{253,11t}{200} \exp(-\frac{0,0090t^2}{400})$
0,51	$\frac{192,72t}{200} \exp(-\frac{0,0703t^2}{400})$	$\frac{197,36t}{200} \exp(-\frac{0,0060t^2}{400})$
1,02	$\frac{207,87t}{200} \exp(-\frac{0,0847t^2}{400})$	$\frac{234,96t}{200} \exp(-\frac{0,0070t^2}{400})$
2,04	$\frac{265,41t}{200} \exp(-\frac{0,0451t^2}{400})$	$\frac{204,18t}{200} \exp(-\frac{0,0051t^2}{400})$
4,08	$\frac{413,84t}{200} \exp(-\frac{0,1055t^2}{400})$	$\frac{421,69t}{200} \exp(-\frac{0,0084t^2}{400})$
8,16	$\frac{551,52t}{200} \exp(-\frac{0,0759t^2}{400})$	$\frac{422,30t}{200} \exp(-\frac{0,0072t^2}{400})$
16,32	$\frac{889,67t}{200} \exp(-\frac{0,0943t^2}{400})$	$\frac{885,21t}{200} \exp(-\frac{0,0095t^2}{400})$

Çizelge 3.10’da elde edilen bozunum denklemleri kullanılarak her bir doza karşılık elde edilen LM-OSL bozunum eğrileri Şekil 3.24-Şekil 3.30’da gösterilmiştir.

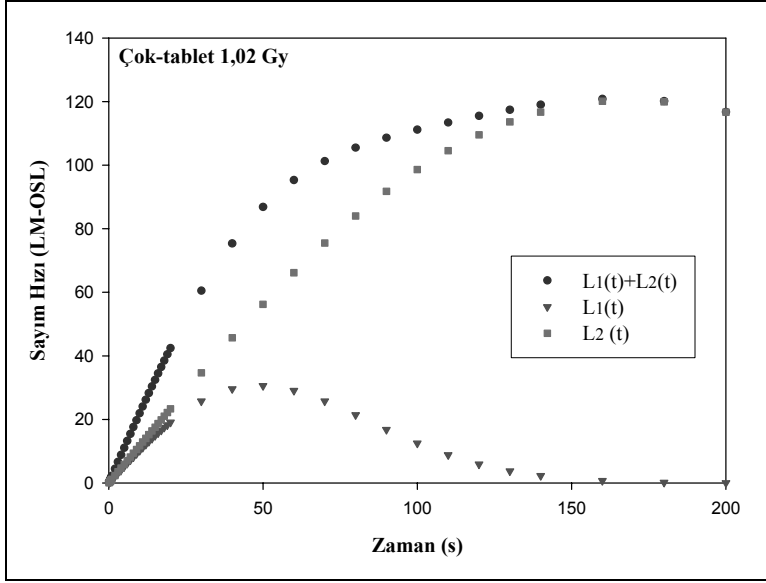
Şekil 3.24-Şekil 3.30’da toplam LM-OSL bozunum eğrisi $L(t) = L_1(t) + L_2(t)$; hızlı bileşen LM-OSL bozunum eğrisi $L_1(t)$ ve yavaş bileşen LM-OSL bozunum eğrisi $L_2(t)$ olarak gösterilmiştir.



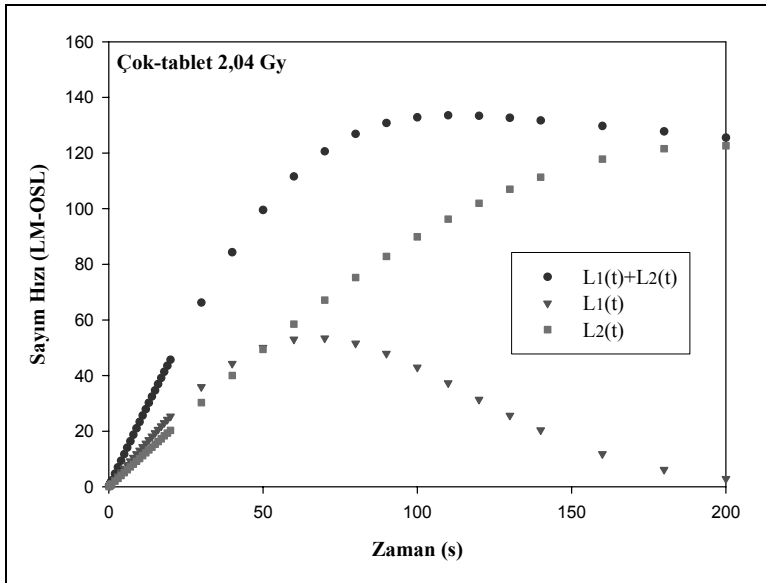
Şekil 3.24. Çok-tablet ilave doz yönteminde doğal lüminesans için LM-OSL eğrileri



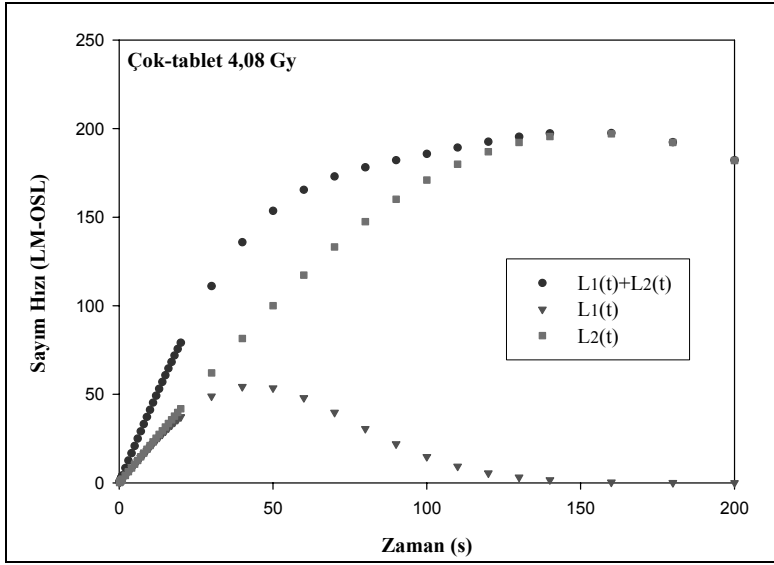
Şekil 3.25. Çok-tablet ilave doz yönteminde 0,51Gy için LM-OSL eğrileri



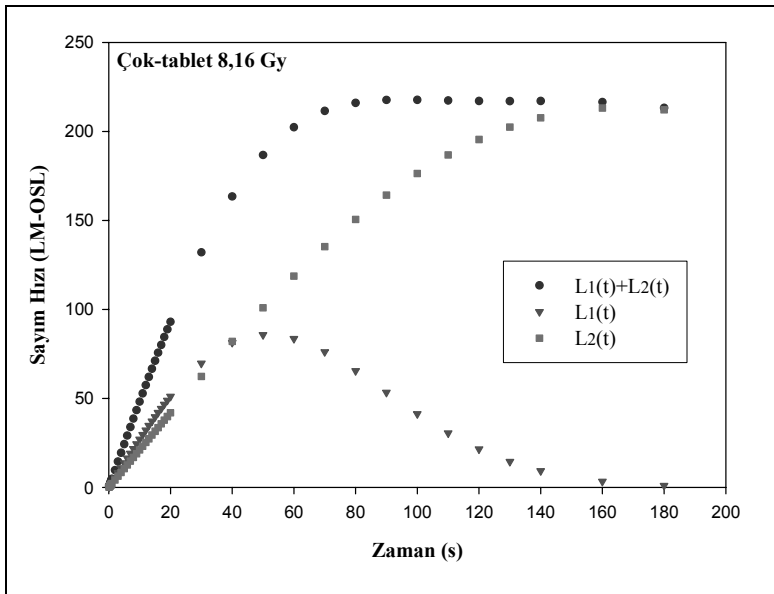
Şekil 3.26. Çok-tablet ilave doz yönteminde 1,02Gy için LM-OSL eğrileri



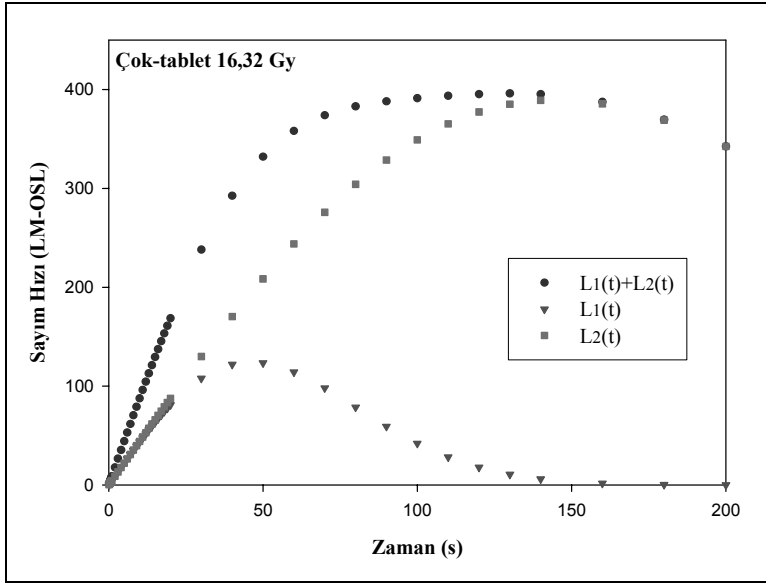
Şekil 3.27. Çok-tablet ilave doz yönteminde 2,04Gy için LM-OSL eğrileri



Şekil 3.28. Çok-tablet ilave doz yönteminde 4,08Gy için LM-OSL eğrileri



Şekil 3.29. Çok-tablet ilave doz yönteminde 8,16Gy için LM-OSL eğrileri

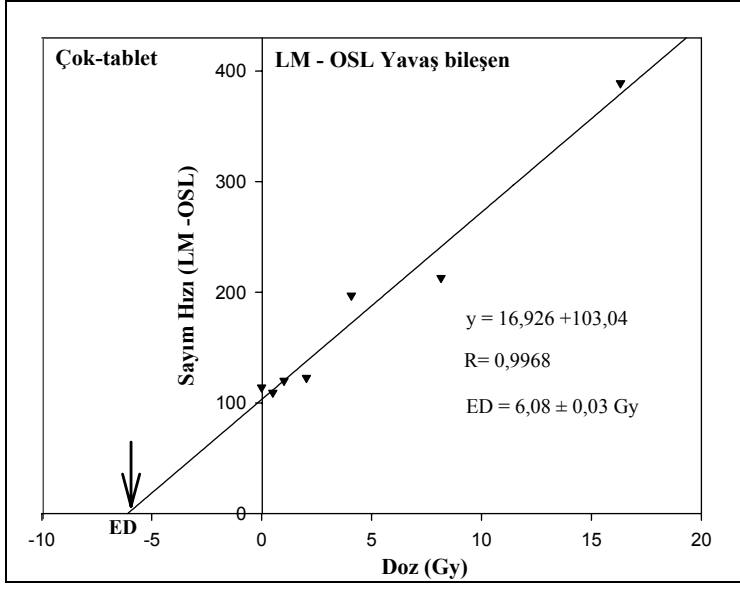


Şekil 3.30. Çok-tablet ilave doz yönteminde 16,32Gy için LM-OSL eğrileri

Yavaş bileşenlerin eşdeğer doza katkısının incelenmesi için Çizelge 3.11'deki yavaş bileşen bozunum denklemleri kullanılarak her bir doz için L_{mak} sayım hızı elde edilmiştir. Yavaş bileşen için her bir doza karşı bulunan L_{mak} sayım hızları verileri Çizelge 3.12'de gösterilmiştir. Çizelge 3.12'deki sayım hızlarının verilen laboratuvar dozlarına karşı grafiği çizilmiştir. Böylelikle, yavaş bileşenler için ED tespit edilmiştir. Yavaş bileşen değerleri kullanılarak hesaplanan ED tespiti için ilave doz yöntemi kullanılmış olup elde edilen ED grafiği Şekil 3.31'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Çok-tablet ilave doz yöntemi her bir doza karşılık LM-OSL yavaş bileşenler için elde edilen L_{mak} sayım verileri

Doz (Gy)	0	0,51	1,02	2,04	4,08	8,16	16,32
Sayım Hızı (L_{mak})	113,99	109,25	120,09	122,61	197,06	213,10	389,03



Şekil 3.31. Çok-tablet ilave doz yönteminde LM-OSL yavaş bileşenler için elde edilen ED grafiği

4. SONUÇ

Uzun ömürlü örnekler için OSL ile tarihlendirme, üzerinde çalışılması gereken ve problemleri olan yöntemlerden birisidir. Üst limit 500 000 yıl olmasına rağmen örnek tipine, çevre şartlarına ve kullanılan tekniğe bağlı olarak değişen sonuçlar vermektedir.

Lüminesans ile tarihlendirme hassas bir çalışmadır. Bu nedenle bulunacak yaştaki hatayı en aza indirmede; ön ısıtma işlemi, örneklerin hazırlanması, ortam ışık koşulları, minerallerin ayrılması, örneklerin disk üzerine yerleştirilmeleri, uyarma türleri, radon gazı kaçağı, nem miktarı ve normalizasyon gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması yarar sağlayacaktır.

Çalışmamızda kullandığımız çömlek parçası BTCH Projesi Büyükardıç arkeolojik kurtarma kazısından çıkarılmıştır. Bu bölgedeki kazı çalışmaları sonucu elde edilen arkeolojik veriler, Doğu Anadolu Erken Demir Çağı hakkında sınırlı bilgilere önemli katkılar sağlayacak nitelikte olmuştur. Büyükardıç kazısından elde edilen örneklerin farklı çalışmaları sonucunda, bu bölgenin Erken Demir Çağı özelliklerini yansıttığı arkeologlar tarafından belirtilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak, IRSL çalışmasının en büyük katkısı bölgeden alınan çömlek parçasının yaşını, Erken Demir Çağı Dönemi aralığında vermiş olmasıdır. Böylece bölgeden alınan örneğin Erken Demir Çağı Dönemi'ne ait olduğu IRSL yöntemiyle de kanıtlanmıştır.

Örneğimizin eşdeğer doz tespitinde, tek-tablet yeniden oluşturma ve çok-tablet ilave doz yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca tek-tablet yeniden oluşturma yönteminde ortalama sayım ve maksimum sayım için iki eşdeğer doz tespiti yapılmıştır. Her bir yöntem için ED değerleri elde edilmiştir (Bkz. Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.25). Sonuçların kendi aralarında uyumlu olduğu gözlenmiştir. Örneğimizin yıllık dozu 2,238 Gy/ka bulunmuştur. Büyükardıç çömlek parçasının, her bir yöntem için elde edilen ED değerleri, yıllık doz değerleri ve yaş değerleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Hesaplanan yaş değeri 2640 ile 3320 yılları arasındadır.

Çizelge 4.1. Büyükardıç çömlek parçasının ED, yıllık doz ve yaş değerleri

Yöntem	ED (Gy)	Yıllık doz (Gy/ka)	Yaş (yıl)
Tek tablet yeniden oluşturma yöntemi (ortalama sayım)	$6,38 \pm 0,04$	2,238	2850 ± 210
Tek tablet yeniden oluşturma yöntemi (maksimum sayım)	$6,98 \pm 0,05$	2,238	3100 ± 220
Çok tablet ilave doz yöntemi	$6,48 \pm 0,05$	2,238	2900 ± 210

Elde edilen deneysel veriler için hata değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Çizelge 4.2’de rastgele ölçüm hatalarının dağılımında ve sistematik hataların dağılımında ilk verilen değerler; çok-tablet ilave doz ve tek-tablet yeniden oluşturma (maksimum sayım) yöntemine ait hata yüzdeleri olup ikinci verilen değerler tek-tablet yeniden oluşturma (ortalama sayım) yöntemine ait hata yüzdeleridir. Tek-tablet yeniden oluşturma (ortalama sayım) yöntemine ait hata yüzdelerinden sadece eşdeğer doz hızı ve lineerlikten alt sapma yüzdelerinde ve toplam hata yüzdelerinde farklılık görülmektedir. Çizelge 4.2’de gösterilen yaş değerlerindeki ± 210 ve ± 220 yıl değerleri sistemin $\pm \%7,20$ ’lik toplam hatasına karşılık gelmektedir.

Çizelge 4.2. Hataların dağılımı

Rastgele ölçüm hatalarının dağılımı	
Eşdeğer doz hızı ve lineerlikten alt sapma	$\% 2,23 - \% 2,20$
α sayımı	$\%3,35$
Toplam rastgele hata	$\%4,02$
Sistematik hataların dağılımı	
α ve β kaynaklarının kalibrasyonu, α sayımı	$\%5,71$
γ doz hızının TLD değerlendirmesi	$\%1,64$
Radon kaybı	$\%0,46$
Nem oranı	$\%0,35$
Toplam sistematik hata	$\%5,97$
Toplam hata	$\%7,20$

Çalışmamızda ek olarak; çok tablet CW-OSL bozunum eğrilerinde, yavaş bileşenlerin ED'ye katkısı incelenmiştir. Daha sonra CW-OSL'den LM-OSL'ye bir geçiş uygulaması yapılmış ve bu uygulama sonucunda da yavaş bileşenlerin ED'ye katkısı incelenmiştir. Çok-tablet ilave doz yöntemi fit edilmiş CW-OSL yavaş bileşenleri için elde edilen ED değeri $4,43 \pm 0,07 \text{Gy}$ ve çok-tablet ilave doz yönteminde LM-OSL yavaş bileşenleri için elde edilen ED değeri $6,08 \pm 0,03 \text{Gy}$ bulunmuştur (Bkz. Şekil 3.23,31). Yavaş bileşenlerin eşdeğer doza katkılarında baskın olduğu görülmüştür. LM-OSL yavaş bileşen için elde edilen ED değeri ($6,08 \pm 0,03 \text{Gy}$), CW-OSL yavaş bileşenler için elde edilen ED değerinden ($4,43 \pm 0,07 \text{Gy}$) daha büyük bulunmuştur. Bu ED değeri, her bir yöntem için bulduğumuz ED değerlerine daha yakındır. LM-OSL tekniği uygulamasının, bileşenlerin ED'ye katkısında başarılı olduğu söylenebilir.

IRSL tekniği ile feldspatların tarihlendirme çalışmaları gün geçtikçe gelişmektedir. Ayrıca, tarihlendirmenin önemli öğelerinden olan ED tespiti için farklı yöntemler geliştirme çalışmalarına girilmiş ve bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.

KAYNAKLAR

1. Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I. and Thewalt, M.L.W., "Optically dating of sediments", *Nature*, 313: 105-107 (1985).
2. Hütt, G., Jeak, I. and Tchonka, J., "Optical Dating: K-feldspar optical respons stimulation spectra", *Quaternary Science Reviews*, 7: 381-385 (1988).
3. Spooner, N.A., Aitken, M.J., Smith, B.W., Franks, M. and Mcelroy, C., "Archaeological dating by infrared stimulated luminescence using a diyote array", *Radiat. Prot. Dozim.*, 34: 83-86 (1990).
4. Poolton, N.R.J., Wallinga, J., Murray, A.S., Bulur, E., Bøtter-Jensen, L., "Electrons in feldspar I: on the wave function of electrons trapped at simple lattice defects", *Physics and Chemistry of Minerals*, 29: 210-216 (2002).
5. Bulur, E. and Göksu, H.Y., "Infrared (IR) stimulated luminescence from feldspars with linearly increasing excitation light intensity", *Radiat. Meas.*, 30: 505-512 (1999).
6. Bailiff, I.K. and Poolton, N.R.J., "Studies of charge transfer mechanism in feldpars", *Nuclear Tracks and Radiation Measurement*, 18: 111-118 (1991).
7. Poolton, N.R.J., Bøtter-Jensen, L., Ypma, P.J.M. and Johnsen, O., "Influence of crystal structure on the optically stimulated luminescence proprieties of feldspars", *Radiation Measurements*, 23: 551-554 (1994).
8. Spooner, N.A., "On the optical dating signal from quartz", *Radiation Measurements*, 23: 593-600 (1994).
9. Duller, G.A.T. and Bøtter-Jensen, L., "Optically stimulated luminescence emission spectra from feldspars as a function of sample temperature", *Radiation Measurements*, 27: 147-151 (1997).
10. Alexander, C.S., Morris, M.F. and McKeever, S.W.S., "The time and wavelenght response of photo-transferred thermoluminescence in natural quartz", *Radiation Measurements*, 27: 153-159 (1997).
11. Aitken, M.J., "Thermoluminescence Dating", *Academic Pres, London*, 1-15, 61-112, 219-238 (1985).
12. Bøtter-Jensen, L., "Development of optically stimulated luminescence techniques using natural minerals and ceramics, and their application to retrospective dosimetry", *Risø National Laboratuary*, Roskilde, Risø-P-1211 (2000).

13. Duller, G.A.T., "Equivalent dose determination using single aliquots", *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 18: 371-378 (1991).
14. Duller, G.A.T., "Luminescence dating using single-aliquots: new procedures", *Quaternary Geochronology (QSR)* 13: 149-156 (1994).
15. Mejdahl, V. and Bøtter-Jensen, L., "Luminescence dating of archaeological materials using a new technique based on single aliquot measurements", *Quaternary Geochronology (QSR)* 13: 551-554 (1994).
16. Mejdahl, V. and Bøtter-Jensen, L., "Experience with the SARA OSL method", *Radiation Measurements*, 27: 291-294 (1997).
17. Galloway, R.B., "Equivalent dose determination using only one sample: alternative analysis of data obtained from infrared stimulation of feldspars", *Radiation Measurements*, 26 (1): 103-106 (1996).
18. Duller, G.A.T., "Luminescence dating using single-aliquots: methods and applications", *Radiation Measurements*, 24: 217-226 (1995).
19. Bailey, R.M., "Paper I: The use of measurement-time dependent single-aliquot equivalent-dose estimates from quartz in the identification of incomplete signal resting.", *Radiation Measurements*, 37: 673-683 (2003).
20. Banerjee, D., Murray, A. S., Bøtter-Jensen, L., Lang, A., "Equivalent dose determination using a single aliquot of polymineral fine grains", *Radiation Measurements*, 33: 73-93 (2001).
21. Murray, A.S., "Development in optically stimulated luminescence and phototransferred TL dating of young sediment: applications to a 2000-year sequence of flood deposits", *Geochimica & Cosmochimica Acta*, 60: 565-576 (1996).
22. McKeever, S.W.S. and Chen, R., "Luminescence models", *Radiation Measurements*, 27 (5,6): 625-661 (1997).
23. Bulur, E., "An alternative Technique for optically stimulated luminescence (OSL) experiment", *Radiation Measurements*, 26 (5): 701-709 (1996).
24. Bulur, E., "A simple transform for converting CW-OSL curves to LM-OSL curves", *Radiation Measurements*, 32: 141-145 (2000).
25. Smith, B.W., Rhodes, E.J., "Charge movements in quartz and their relevance to optical dating", *Radiation Measurements*, 23: 329-333 (1994).

26. Bailey, R.M., Smith, B.W., Rhodes, E.J., “Partial bleaching and the decay form characteristics of quartz OSL”, *Radiation Measurements*, 27: 123-136 (1997).
27. McKeever, S.W.S., Markey, B.G. and Akselrod, M.S., “Pulsed optically stimulated luminescence dosimetry using α -Al₂O₃:C”, *Radiation Protection Dosimetry*, 65: 267-272 (1996).
28. Thomson, K.J., “Optically Stimulated luminescence Techniques in retrospective dosimetry using single grain of quartz extracted from unheated materials” Phd Thesis, *Kristina Jørkov Risø National Laboratory*, Roskilde, Denmark, 17-41 (2004).
29. Lırıtsız I. “Advances in thermo-and opto luminescence dating of environmental materials (sedimentary deposits) partI: Techniques” *Global Nest:the Int.J.*, 2 (1): 3-27 (2000).
30. Çatlı S., “NaCl ve KCl’ün OSL bozunma eğrilerinin karşılaştırılması”, Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-10 (2006).
31. Aitken, M.J., “An introduction to optical dating”, *Oxford University Pres.*, Oxford, U.K, 6-36, 37-59, 87-107 (1998).
32. McKeever, S.W.S., Bøtter-Jensen, L., Agersnap Larsen, N. and Duller, G. A. T., “Temparature depence of OSL decay curves: Experimental and theoretical aspects”, *Radiation Measurements*, 27: 161-170 (1997).
33. Bøtter-Jensen, L., “Development of optically stimulated luminescence techniques using natural minerals and ceramics, and their application to retrospective dosimetry”, Doktora tezi, *Risø National Laboratory*, Roskilde 11-23 (2000).
34. Kırıkkaya Buluş E. “ Kocaeli (Kullar-Yalacık) fayından alınan kuvars örneklerinin optik uyarmalı lüminesans (OSL) ve termolüminesans (TL) yöntemleri ile incelenmesi ve tarihlendirilmesi”, Doktora tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 24-41 (2002).
35. Lırıtsız I., “The significance of gamma self dose and beta ranges in ceramics revisited”, *Revu d’ Archeometrie*, 10, 95-102 (1986).
36. Bölükdemir, M.H., “Optik uyarmalı lüminesans (OSL) yönteminin yaş tayin için Tokat-Balıca mağarasından alınan örneklerle uygulanması”, Yüksek lisans tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat, 13-42 (2004).

37. İnternet: Gazi Üniversitesi, Arkeolojik Çevre Değerleri Araştırma Merkezi, http://www.arced.gazi.edu.tr/proceler_.htm (2003).
38. Şenyurt, S.Y., “Bakü-Tiflis-Ceyhan ham petrol boru hattı projesi arkeolojik kurtarma kazıları yayınları: 2, Büyükardıç Doğu Anadolu’da bir Erken Demir Çağı Tepe Yerleşmesi”, *Mert Basın Yayın San. Tic.Ltd. Şti.*, Ankara, 1-4, 7-17, 33-37 (2006).
39. İnternet: Optik uyarmalı lüminesans, Laboratuvar, Fotoğraflar, <http://w3.gazi.edu.tr/~gunes/OSL%20laboratuvar.htm> (2006).

EKLER

EK-1 Deneyde kullanılan aletlerin resimleri



Resim 1.1. Laboratuvardaki OSL 9010 Sistemi deney düzeneği [30]



Resim 1.2. Ön ısıtma için kullanılan fırın [30]

EK-1 (Devam) Deneyde kullanılan aletlerin resimleri



Resim 1.3. Agat havan [30]



Resim 1.4. 64 örnek kapasiteli tutucu [30]



Resim 1.5. Beta kaynağı [30]



Resim 1.6. Darbeli elek [36]



Resim 1.7. Elektronik hassas terazi [30]



Resim 1.8. 7286 Alfa Sayma Sistemi [39]

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKTI, Nisa Nur
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 29.05.1981 Çorum
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 202 12 73
 e-mail : nisanur@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı	2007
Tezsiz Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Eğitim Bilimleri Enstitüsü Fizik Öğretmenliği Anabilim Dalı	2006
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Fizik Bölümü	2004
Lise	Mehmetçik Lisesi (YDA)	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. G. Tanır, Nisa Nur Aktı, M. H. Bölükdemir, E. Tel, “Arkeolojik Örneklerin İnfrared Uyarmalı Lüminesans Kullanılarak Eşdeğer Doz Tayini” II. Nükleer Yapı Özellikleri Çalıştayı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 33, 2005.

2. G. Tanır, E. Tel, N. Nur Aktı, M. Hicabi Bölükdemir, “Su-Altı sediment örneklerinin infrared uyarmalı lüminesans karakteristiklerinin sıcaklığa bağımlılığının incelenmesi” Çankaya Üniversitesi Journal of Arts and Science, 187-195, 2006.
3. G. Tanır, M. Hicabi Bölükdemir, N. Nur Aktı, E. Tel, “Büyükdıç kazısından ele geçen bir çömlek parçasının infrared uyarmalı lüminesans ile yaş tayini”, Bakü-Tiflis-Ceyhan ham petrol boru hattı projesi arkeolojik kurtarma kazıları yayınları:2, Büyükdıç Doğu Anadolu’da bir erken Demir Çağı Tepe Yerleşmesi, Mert Basın Yayın San. Tic.Ltd. Şti., Ankara, 349-354, 2006.
4. E. Tel, A. Aydın, M. H. Bölükdemir, N. N. Aktı, “Investigation of Empirical Systematic (n,t) for 14-15 MeV Neutron Reaction Cross Sections” 6th International Conference Of The Balkan Physical Union, Istanbul, Turkey, 2006 (Poster).
5. E. Tel, M. H. Bölükdemir, N. N. Aktı, G. Tanır, “Investigation Of 5-17 B Isotopes Halo Nuclei by using Effective Nucleon-Nucleon Interaction Skryme Force” 6th International Conference Of The Balkan Physical Union Istanbul, Turkey, 2006 (Poster).