

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GERİYE DÖNÜK (RETROSPEKTİF) DOZİMETRİ ÇALIŞMALARI:
TERMOLÜMİNESANS TEKNİĞİ KULLANILARAK MİLAS BEÇİN BEY
HAMAMINDAN ALINAN ÖRNEKLERDEKİ EŞDEĞER DOZUN VE YILLIK
DOZ HIZININ BELİRLENMESİ**

Mehmet Refik TOPTANCI

**MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI
SAĞLIK FİZİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ANKARA
2020**

Her hakkı saklıdır

ETİK

Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kurallar ve davranışların gerektirdiği şekilde, başka kaynaklardan aldığım materyalleri ve sonuçları alıntı yaparak, bunlara kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

Adı Soyadı: Mehmet Refik TOPTANCI

İmza:



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GERİYE DÖNÜK (RETROSPEKTİF) DOZİMETRİ ÇALIŞMALARI: TERMOLÜMINESANS TEKNİĞİ KULLANILARAK MİLAS BEÇİN BEY HAMAMINDAN ALINAN ÖRNEKLERDEKİ EŞDEĞER DOZUN VE YILLIK DOZ HIZININ BELİRLENMESİ

MEHMET REFİK TOPTANCI

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Medikal Fizik Anabilim Dalı

Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı

Danışman: Doç. Dr. Eren ŞAHİNER

Lüminesans tarihlendirme arkeolojik veya jeolojik inorganik malzemelerin en son ısıya veya ışığa maruz kaldığı tarihi tespit etmekte kullanılan en yaygın tekniklerden biridir. Yöntem, arkeolojik numunelerin yaş tayininde veya tescilindeki uygulamalarda yaklaşık yarım asırdır Dünya literatüründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem arkeolojik örneklerde, pişmiş toprak kapları (çanak-çömlek), yanmış taşları ve tortulları kapsayan geniş bir spektruma sahiptir. Lüminesans yöntemi kullanarak yapılan disiplinlerarası çalışmalar sayesinde, modern insanlık tarihi ve öncesi döneme ait araştırmalardaki çeşitli konulara önemli katkılar yapılmıştır. Yöntemin temeli, radyasyon fiziği uygulamalarındaki geriye dönük (retrospektif) radyasyon dozunun (eşdeğer doz, paleodoz) yaygın bulunan doğal mineraller (kuvars, feldspat vb.) üzerinden ölçülmesi ve örneğin etrafından hesaplanan çevresel doz hızına oranlanmasına dayanan basit bir temel görünse de hem deneysel hem de teorik birçok parametrenin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu tez çalışması kapsamında lüminesans tarihlendirme yöntemlerinden Termolüminesans (TL) tarihlendirme tekniği kullanılarak arkeolojik örneklerin yaş tayini yapılmıştır, metodolojik olarak araştırma yapılmıştır ve sonuçlar literatür açısından karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Bu kapsamda, lüminesans tarihlendirmenin temelini oluşturan ön ısıtma sıcaklık ve süresi tayini, plato testi, çok tablet ilave doz yöntemi kullanılarak eşdeğer doz hesapları, doz cevap grafikleri, nem tayini, radyonüklit bolluk oranları ve yıllık doz hızı hesapları yapılmıştır. Doz cevap grafiklerindeki lineerlikten sapmalar ve fiziksel nedenleri tartışılmıştır. Teze konu olan örnekler, Beçin antik kentinde bulunan oldukça kıymetli bir tarihi yapı olan Bey Hamamı'ndan alınmıştır. Arkeolojik numuneler yapının farklı mimari dönemlerine ait olduğu göz önüne alınarak sistematik bir şekilde alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Bey Hamamı'nın Menteşe Beyliği döneminde (M.S 13-15.yüzyıl) yapılmış olduğu daha sonra Osmanlı Döneminde (M.S 13 – 20.yüzyıl) kullanıldığı, yapımında Roma İmparatorluğu Dönemine (M.Ö 1.yüzyıl – M.S 5.yüzyıl) ait yapı malzemelerinin kullanıldığı ve hamamın bu farklı dönemlerde restorasyona uğradığı ve en son ne zaman kullanıldığı bilgilerine ulaşılmıştır. Yapılan tez çalışmasıyla birlikte bölgeye ait ilk kez analitik yöntemler kullanılarak mutlak bir tarihlendirme yapılmıştır. Elde edilen sonuçların ilgili tarihi literatürle uyumluluk gösterdiği gözlenerek, bölgede yapılacak farklı çalışmalara rehberlik yapma potansiyeline sahiptir. Bulguların, lüminesans tarihlendirme literatürüne katkıda bulunmasının yanı sıra sanat tarih, arkeoloji, mimarlık ve kültür varlıklarını koruma literatürüne katkıda bulunması beklenmektedir.

2020, 77 sayfa

Anahtar Kelimeler: Lüminesans, Termolüminesans (TL) tarihlendirme, Beçin

ABSTRACT
Master Thesis

RETROSPECTIVE DOSIMETRY STUDIES: DETERMINING THE EQUIVALENT DOSE
AND ANNUAL DOSE RATE IN THE SAMPLES FROM MİLAS BEÇİN BEY HAMMAM
USING THERMOLUMINESCENCE TECHNIQUE

MEHMET REFİK TOPTANCI

Ankara University Institute of Nuclear Sciences
Department of Medical Physics
Health Physics Master Degree Program

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Eren ŞAHİNER

Luminescence dating is one of the most common technics to determine the last date that the archaeological or geological inorganic materials were exposed to the heat or light. The technics has been widely in used in the World literature for age determination or recording practices of archaeological samples for nearly half a century. This practice has a wide archaeological sample spectrum that involves fired pots (pottery), fired stones and sediments. By means of interdisciplinary studies using the practice, significant contributions have been made to various research subjects regarding the modern history of humanity and before that era. Although the baseline of the practice seems simple that is based upon the measurement of the retroactive (retrospective) radiation dose (equivalent dose, paleodose) over common natural minerals (quartz, feldspat etc.) and the proportion to calculated speed of peripheral dose by the sample's circle in the radiation physics practices; it requires several parameters both experimental and theorical to be evaluated together. In the scope of this thesis study, archaeological age determination is made by using the Thermoluminescence (TL) dating technic among luminescence dating methods; methodological research is made and the results are mutually interpreted in terms of literature. In this regard, determining the temperature and the duration of the preheating, plato-test, equivalent dose calculations by using the renewal technics, dose-response curves, determination of moisture content, radionuclide plenitude rates and dose rate calculations are made all of which forms the baseline of the luminescence dating. Deviations from linearity in the dose response curves and physical reasons are also discussed. The study samples of this thesis are obtained collected from Bey Hammam which is a substantially valuable historical structure in Beçin antique city in Muğla province. Diferent types of building materials are systematically collected considering they belong to different architectural periods of the historical structure. According to the results, it was concluded the information that Bey Hammam was probably founded built during Menteşe Beyliks period (13-15 centuries AC) most likely with re-use of using building materials belonging to Roman Empire Era (1 century BC – 5 century AC), followed by using over the Ottoman Empire Era (13-20 centuries AC). Additionally, the restoration and latest usage time of the Hammam were defined by age comparison of the materials. Within the studies of the thesis, an exact dating is tried to carry out by using analytical methods for the first time regarding the region considering related literature. Results show a good harmony with the related historical data and have remarkable potential to guide future studies throughout the region. Additionally, It is expected that the results might be contribute to the related knowlage of history, archaeology, architecture and conservation of cultural heritage as well as promoting luminescence dating.

2020, 77 pages

Key Words: Luminescence, Thermoluminescence (TL) dating, Beçin

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince her türlü konuda bana yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, bilgisinden ve değerli tavsiyelerinden istifade ettiğim, sayın hocam Doç. Dr. Eren ŞAHİNER'e, yüksek lisansım boyunca tecrübesi ve bilgisiyle gelişmeme çok değerli katkılarda bulunan, değerli hocam Prof. Dr. Niyazi MERİÇ'e, Beçin Arkeolojik ve Doğal Sit alanında çalışma olanağı sağlayan kazı başkanı Prof. Dr. Kadir Pektaş'a, bölge ile ilgili rehberlik eden, numunelerin alımında yardımlarda bulunan Uğur Ürer'e, tez çalışmama katkılarından dolayı mimar Gökçe Altay'a, yüksek lisansım süresince desteklerini ve sabırlarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme, dostum ve manevi kardeşim Ertuğ Ursavaş'a teşekkürlerimi sunmaktan onur duyarım.

Mehmet Refik TOPTANCI

Ankara, Ağustos 2020

İÇİNDEKİLER

ETİK.....	
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1 Lüminesans Mekanizması	5
2.2 Kusur Merkezleri	7
2.3 Lüminesans Oluşum Mekanizmasının Matematiksel Modeli.....	8
2.4 Eşdeğer Doz (Paleodoz) Belirlenmesi	11
2.5 Yıllık Doz	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1 Doğal Lüminesans Minerallerin Özellikleri	14
3.1.1 Kuvars minerali.....	14
3.1.2 Feldspat minerali.....	14
3.2 Örneklerin Toplanması ve Hazırlanması	15
3.2.1 Saha çalışması ve beçin antik kentinden alınan örnekler	16
3.2.2 Mineral ayırma teknikleri ve örnek hazırlama süreci.....	24
3.2.3 Termolüminesans ölçümleri için ince taneli (4-11 µm aralığında) örnek hazırlanması	26
3.3 Eşdeğer Doz Belirleme Yöntemleri.....	27
3.3.1 Tek tablet yeniden dozlama yöntemi (SAR)	27
3.3.2 Çok tablet ilave doz yöntemi (MAAD)	28
3.4 Eşdeğer Dozun Hesaplanmasını Etkileyen Faktörler	30
3.4.1 Plato testi yöntemiyle ön ısıtma sıcaklık ve süresinin tespiti.....	30
3.4.2 Normalizasyon	31
3.5 Yıllık dozu etkileyen faktörler	32
3.5.1 Nem etkisi ve tespiti	33

3.5.2 Radon gazı etkisi	35
3.5.3 Kozmik ışın katkısı.....	35
3.6 Kullanılan Cihazlar	36
3.6.1 Elsec 9010 Osl Sistemi ve Işınlayıcı	36
3.6.2 Riso TL/OSL okuyucu cihazı	38
3.6.3 Harshaw 3500 Model Tld Okuyucu	39
3.6.4 Fotoçoğaltıcı tüp (PMT)	40
3.6.5 Radwag mac 50 nh nem tayin cihazı	41
3.6.6 Gama spektrometresi sistemi	41
4. BULGULAR	43
4.1 Ön Isıtma Sıcaklığının Tespiti	44
4.2 Eşdeğer Dozu Belirlemek İçin Plato Bölgesinin Tespiti	44
4.3 Doz-Cevap Grafikleri.....	46
4.3.1 Artan ilave doza karşılık doz-cevap grafikleri	46
4.3.2 Örnekler doğal dozdayken doz-cevap grafiği.....	51
4.4 Eşdeğer Doz Tespiti	53
4.5 Yıllık Doz Tespiti.....	60
4.6 Nem Oranı Tespiti.....	62
4.7 Yıllık Doz Hızı Bileşenleri	62
4.8 Yaş Tespiti	67
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	68
KAYNAKLAR	73
EK 1 T.C Milas Kaymakamlığı Milas Müze Müdürlüğü İzin Belgesi.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	77

SİMGELER DİZİNİ

a	Alfa zayıflatma katsayısı
°C	Celcius
D	Doz
D_α	Alfa doz hızı
D_β	Beta doz hızı
D_γ	Gama doz hızı
D_c	Kozmik doz hızı
D_{α,U}	Uranyumdan kaynaklanan alfa katkısı
D_{β,U}	Uranyumdan kaynaklanan beta katkısı
D_{γ,U}	Uranyumdan kaynaklanan gama katkısı
D_{α,Th}	Toryumdan kaynaklanan alfa katkısı
D_{β,Th}	Toryumdan kaynaklanan beta katkısı
D_{γ,Th}	Toryumdan kaynaklanan gama katkısı
D_{β,K}	Potasyumdan kaynaklanan beta katkısı
D_{γ,K}	Potasyumdan kaynaklanan gama katkısı
E	Aktivasyon enerjisi (eV)
T	Sıcaklık (°C)
k	Boltzmann sabiti (0.00008617 eV·K⁻¹)
s	Frekans faktörü
λ	Dalgaboyu
ν	Frekans (s⁻¹)
h	Planck sabiti (6.626× 10⁻³⁴ J.s)

n	Tuzaklanmış elektronların konsantraasyonu
n_c	İletkenlik bandındaki serbest elektron konsantrasyonu
N	Kristaldeki elektron tuzaklarının toplam konsantrasyonu
m	Tuzaklanmış deşiklerin konsantrasyonu
P	Elektronun tuzaktan kurtulma olasılığı
I	Işık şiddeti (Coulomb)
W	Numunenin Kütlece Maksimum Su Tutma Oranı
F	Gömmü sırasında maksimum su tutma oranının kesri
PMT	Fotoçoğaltıcı Tüp
TL	Termolüminesans
OSL	Optik Uyarmalı Lüminesans
SAR	Tek tablet yeniden dozlama yöntemi
MAAD	Çok tablet ilave doz yöntemi
p	Eşdeğer doz (Paleodoz)
HpGe	Yüksek saflıkta Germanyum

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Muğla Milasta bulunan Beçin Bölgesinin haritada görünümü	2
Şekil 2.1 Basitleştirilmiş iki seviyeli model için enerji-band modelinin diyagramı (Bos 2007).....	7
Şekil 2.2 İki boyutlu iyonik yapıda nokta kusurlarının temsili gösterimi (Smallman ve Ngan 2014).....	8
Şekil 3.1 Beçin antik kentine yapılan saha gezisi sırasında çekilmiş bir fotoğraf	16
Şekil 3.2 Örneklerin toplandığı ve tarihlendirme çalışmasının yapıldığı Bey Hamamı yapısının ön açıdan görüntüsü.....	17
Şekil 3.3 Bey Hamamı yapısından toplanan örnekler ve beçin kalesinin fotoğrafı	17
Şekil 3.4 Bey Hamamı yapısından örneklerin alındığı yerler ve örnek lejantı	18
Şekil 3.5.a BBH.H1.TD.1 kodlu örneğe ait görsel.....	20
Şekil 3.5.b BBH.H2.TD.2 kodlu örneğe ait görsel	20
Şekil 3.5.d BBH.Y1.TB.1 kodlu örneğe ait görsel.....	21
Şekil 3.5.e BBH.Y2.TA.1 kodlu örneğe ait görsel.....	21
Şekil 3.5.f BBH.I.TA.2 kodlu örneğe ait görsel.....	21
Şekil 3.5.g BBH.S.TA.3 kodlu örneğe ait görsel	22
Şekil 3.5.h BBH.O.TD.4 kodlu örneğe ait görsel	22
Şekil 3.5.i BBH.O.TD.4 kodlu örneğin alındığı yer	22
Şekil 3.5.j BBH.H2.B.1 kodlu örneğe ait görsel.....	23
Şekil 3.5.k BBH.K.B.2 kodlu örneğe ait görsel.....	23
Şekil 3.5.l Yıllık doz ölçümü için BBH.K.B.2 kodlu örneğin çevresinden alınan toprak örneği ve örneğin alındığı yer	23
Şekil 3.5.m BBH.Y2.TD.5 kodlu örneğe ait görsel	24
Şekil 3.18 SAR yöntemi kullanılarak eşdeğer doz hesabı için oluşturulan doz-cevap grafiği temsili olarak çizilmiştir. İçi dolu noktalar verilen deneysel doz değeridir. Bu noktalara en uygun lineer fit doğrusu çizilmiştir	28
Şekil 3.19 MAAD yöntemi kullanılarak eşdeğer doz hesabı için oluşturulan doz-cevap grafiği.....	29
Şekil 3.20.a Elsec 9010 OSL sayım sistemi.....	37
Şekil 3.20.b ELSEC, 9010 OSL sisteminin betakaynağını içeren ışınlama ünitesi	37
Şekil 3.22 Riso TL / OSL okuyucunun şematik gösterimi (Anonymous 2017)	39
Şekil 3.23 Harshaw 3500 model TLD okuyucu sistemi	40
Şekil 3.24 TLD okuyucu sisteminin çalışma mekanizması (Atlıhan 2008).....	40

Şekil 3.25 Çalışmada radyonüklit analizinde kullanılan yüksek saflıkta Germanyum (HpGe) dedektörün görünümü	42
Şekil 4.1 Riso TL/OSL okuyucuda ölçüm için hazırlanan örnek diskleri ve kullanılan örnek karuseli	43
Şekil 4.2 Ön ısıtma sıcaklığının tespiti için TL sayım-sıcaklık grafiği	44
Şekil 4.4 (a) BBH.H1.TD.1 kodlu örnek için doğal ve doğal+10 Gy TL sinyallerinin birbirine oranları (b) BBH.S.TA.3 kodlu örnek için doğal ve doğal+13 Gy TL sinyallerinin birbirine oranları (c) BBH.O.TD.4 kodlu örnek için doğal ve doğal+10 Gy TL sinyallerinin birbirine oranları (d) BBH.Y1.TB.1 kodlu örnek için doğal ve doğal+7 Gy TL sinyallerinin birbirine oranları	45
Şekil 4.6 BBH.H1.TD.1 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	46
Şekil 4.7 BBH.H2.TD.2 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	47
Şekil 4.8 BBH.H2.TD.3 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	47
Şekil 4.9 BBH.Y1.TB.1 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	48
Şekil 4.10 BBH.Y2.TA.1 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	48
Şekil 4.11 BBH.I.TA.2 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	49
Şekil 4.12 BBH.S.TA.3 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	49
Şekil 4.13 BBH.O.TD.4 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	50
Şekil 4.14 BBH.H2.B.1 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	50
Şekil 4.15 BBH.K.B.2 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	51
Şekil 4.16 BBH.Y2.TD.5 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği	51
Şekil 4.17 Örnekler doğal dozundayken sıcaklığa bağlı TL şiddeti değişim grafiği	52
Şekil 4.18 BBH.H2.TD.3 kodlu örnek doğal dozundayken sıcaklığa bağlı TL şiddeti değişim grafiği	52
Şekil 4.19 BBH.Y2.TA.1 kodlu örnek doğal dozundayken sıcaklığa bağlı TL şiddeti değişim grafiği	53
Şekil 4.20 BBH.H1.TD.1 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	54

Şekil 4.21 BBH.H2.TD.2 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	55
Şekil 4.22 BBH.H2.TD.3 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	55
Şekil 4.23 BBH.Y1.TB.1 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	56
Şekil 4.24 BBH.Y2.TA.1 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	56
Şekil 4.25 BBH.I.TA.2 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	57
Şekil 4.26 BBH.S.TA.3 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	57
Şekil 4.27 BBH.O.TD.4 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	58
Şekil 4.28 BBH.H2.B.1 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	58
Şekil 4.29 BBH.K.B.2 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	59
Şekil 4.30 BBH.Y2.TD.5 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.a Bey Hamamı yapısından alınan örneklerin kodlarının anlamları ve yer ..	19
açıklamaları	19
Çizelge 3.1.b Bey Hamamı yapısından alınan örneklerin isimlendirme açıklamaları	19
Çizelge 3.1.c Bey Hamamı yapısından alınan örneklerin nitelik açıklamaları	19
Şekil 3.5.c BBH.H2.TD.3 kodlu örneğe ait görsel.....	20
Çizelge 4.1 Örneklerin tespit edilen eşdeğer (paleodoz) değerleri	60
Çizelge 4.2 Radyonüklit konsantrasyonları	61
Çizelge 4.4 Nemli örnek kütlesi (M), kuru örnek kütlesi (D) ve bağıl nem oranının (R) yüzde olarak gösterimi	62
Çizelge 4.5 BBH.H1.TD.1 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri	63
Çizelge 4.6 BBH.H2.TD.2 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri	63
Çizelge 4.7 BBH.H2.TD.3 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri	64
Çizelge 4.8 BBH.Y1.TB.1 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri.....	64
Çizelge 4.9 BBH.Y2.TA.1 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri	64
Çizelge 4.10 BBH.I.TA.2 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri	65
Çizelge 4.11 BBH.S.TA.3 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri	65
Çizelge 4.12 BBH.O.TD.4 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri	65
Çizelge 4.13 BBH.H2.B.1 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri	66
Çizelge 4.14 BBH.K.B.2 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri	66
Çizelge 4.15 BBH.Y2.TD.5 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri	66
Çizelge 4.16 Beçin antik kenti Bey hamamı yapısından elde edilen yaşlar.....	67

1. GİRİŞ

Sağlık fiziği uygulamalarında kullanılan doz ölçümü anlık ve geriye dönük olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir. Geriye dönük doz ölçümü tarihlendirme ve kaza dozimetresi olmak üzere iki uygulama alanına sahiptir. Bu tez çalışması kapsamında geriye dönük (retrospektif) doz ölçümü yapıldı. Geriye dönük doz ölçümü, geçmiş zamanda soğurulan dozun tayin edilmesini sağlar. Aitken (1998) tarafından bildirildiğine göre jeolojik ve arkeolojik yaş tayini, gömülü kalan tarihi eserde bulunan kuvars ve feldspat gibi doğal minerallerin soğurduğu radyasyon dozunun belirlenmesine dayanır. Soğurulan doz eserin gün ışığına çıktığı süreye kadar doğal radyasyon dozundan kaynaklanır ve tarihi eserin yaşıyla orantılıdır (Bøtter-Jensen vd. 2003).

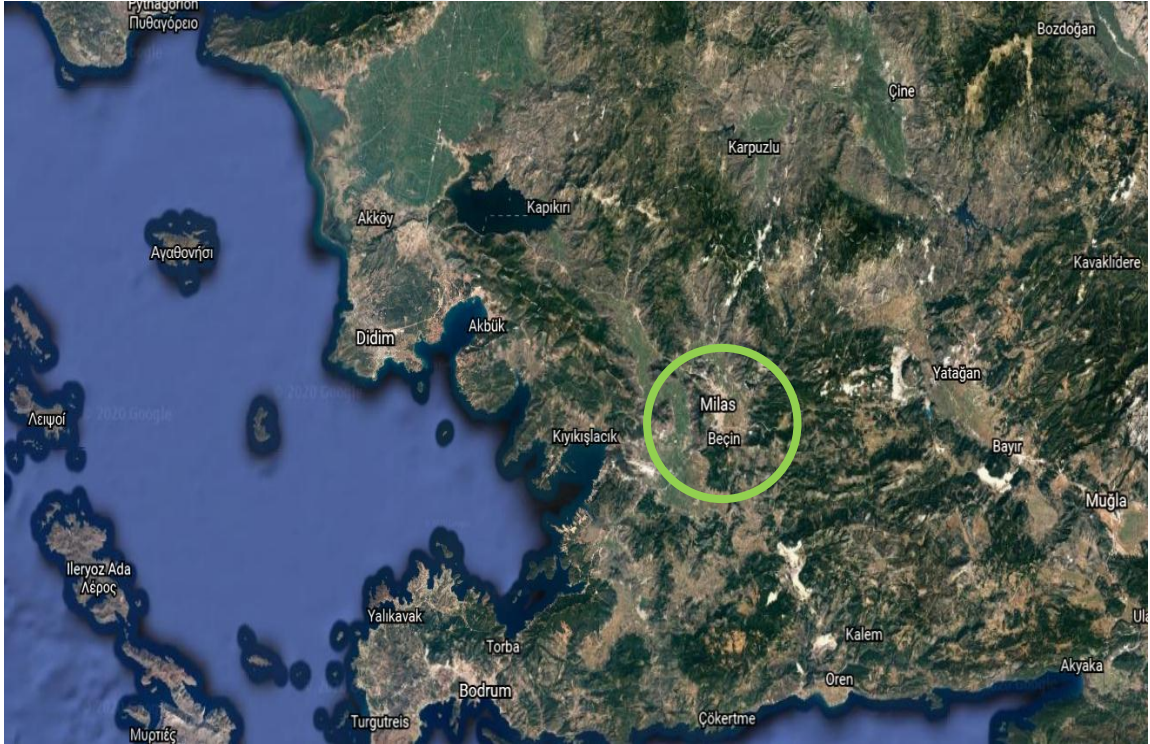
Lüminesans olayı, çoğunlukla kuvars ve feldspat minerallerinden ışık yayınlanmasına dayanır. Yöntem, kuvars veya benzeri mineraller içeren geniş bir malzeme aralığına uygulanabilir. Çanak, çömlek, yanmış taşlar, toprak kaplar tarihlendirilirken malzemelerin son ısıtıldığı zaman tayin edilir. Sedimentler tarihlendirilirken mineral tanelerinin gün ışığına son maruz kaldığı zaman tayin edilir. Lüminesans tarihlendirme yönteminin uygulanabileceği yaş aralığı yüz yıldan az bir zaman ile yüzbinyıldan daha uzun bir zaman aralığına sahiptir. Termolüminesans tarihlendirme genellikle inorganik malzemeler üzerinde kullanılır (Duller 2008).

İlk tarihlendirme çalışmaları toprağa gömülü halde seramik yapıların, taneciklerinin (kuvars ve feldspat) ısıtılmasıyla elde edilen TL sinyali kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Wintle ve Huntley (1979) tarafından bildirildiğine göre ısıtılmamış kuvars ve feldspat tanelerinden gelen TL sinyalinin güneş ışığına maruz bırakılarak azaldığı tespit edilince tortuların TL tarihlendirme potansiyelleri araştırılmıştır (Wintle 1997).

Termolüminesans, termo ve lüminesans olmak üzere iki kelimenin birleşimiyle oluşur. Malzemenin kristal yapısındaki elektronlar enerji aldıkları zaman malzeme içindeki safsızlık ya da kusur denilen tuzaklarda birikir. Enerji bu olayda iyonize radyasyon tarafından sağlanır. Malzeme ısıtılarak tuzaklarda biriken elektronların serbest kalması sağlanır. Bu olay sonucunda ortaya çıkan lüminesans şiddeti malzemenin soğurduğu iyonize radyasyon miktarıyla orantılı olduğu için soğurulan dozun bilgisini verir.

Kuvars ve feldspat iyi lüminesans sinyallerine sahip olan ve lüminesans yöntemi kullanılarak yapılan tarihlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan minerallerdir. Malzemelerin içinde bulunan kuvars, feldspat vb. minerallerin maruz kaldığı radyasyon dozu, laboratuvar ortamında ölçülen lüminesans sinyalinin bir ölçüsüdür.

Örnek, en son ısıtıldığı veya ışık gördüğü tarihten sonra, toprakta gömülü kaldığı süre boyunca doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Doğal radyasyon sonucu soğurulan toplam enerji miktarı eşdeğer doz veya paleodoz olarak adlandırılır. Bu süreçte çevresinde bulunan toprak içeriğinin ve iklim şartlarının da etkisiyle belirli bir miktar dozu soğurmaktadır. Alınan yıllık doz, örneğin ve çevresinin radyoaktif içeriğinin ölçümlerinden hesaplanır (Aitken 1968). Eşdeğer dozun yıllık doza bölünmesiyle yaş tayin edilir. İnsan yapımı eserlerin ötesinde TL tarihlendirmesi jeolojik yapılarda ve volkanik oluşumlarda da kullanılır. Şekil 1.1’ de bölgenin haritadaki yeri verilmiştir.



Şekil 1.1 Muğla Milasta bulunan Beçin Bölgesinin haritada görünümü

Beçin antik kenti Milasın 5 km güneyinde yer almaktadır. Kent, prehistorik, Roma, Bizans, Menteşeoğulları ve Osmanlı dönemlerinde kullanım görmüş geniş bir tarihi yelpazeye sahip bir yerleşim alanıdır. Kentte içkale ve dış surlar, hamamlar, zaviyeler,

tekke, medrese, konak, şapel (Bizans dönemi) vb. tarihi yapılar mevcuttur. Beçin antik kenti 2012 yılında UNESCO dünya mirası geçici listesinde yer almıştır (<https://whc.unesco.org/en/tentativelists/5730/>, 2020).

Beçin kenti, Menteşe beyliği döneminde kurulmuş olan bir orta çağ şehridir ancak yerleşim yerinin tarihinin Roma dönemine kadar gittiği buluntular ve taşınmaz kültür varlıkları (yapılardaki devşirme taş kullanımı) ile tespit edilmiştir. Muğlada 1980’li yıllarda başlayan, batı anadolu beylikler döneminin en önemli merkezlerinden olan Beçin ören yerinde kazı çalışmaları devam etmektedir. Bölgede çok sayıda tarihi yapının rölöve, restitüsyon ve konservasyon çalışması tamamlanırken, bazılarına ise devam edilmektedir. Beçin antik kenti antik dönemde Karia’nın, Türk döneminde Menteşeoğullarının merkezi olmuştur. Bölgede hamamlar, zaviyeler, tekke, medrese, konak vb. tarihi yapılar mevcuttur (Ünal 2018).

Bu çalışmanın amacı analitik yöntemler dışında tarihlendirilmesi mümkün olmayan Bey Hamamı yapısını farklı çeşitlerde örnekler alarak lüminesans yöntemlerle tarihlendirmek, varsa ara dönemlerde yapılan müdahaleleri belirlemek ve hamamın külhan (fırın) kısmından alınacak bir örnek ile yapının en son ne zaman kullanıldığını belirlemektir.

Beçin Arkeolojik ve Doğal Sit Alanında bulunan Bey Hamamı yapısı kitabesi kayıp olduğu ve yapı ile ilgili yazılı kaynaklar günümüze kadar ulaşmadığı için mutlak bir tarihlendirme değerlendirmesi yapılamamıştır. Bu çalışmanın amacı sanat tarihi araştırmaları ile tarihlendirilemeyen Bey hamamı yapısını, yapı malzemelerini (tuğla ve künk) termolüminesans yöntemiyle tarihlendirerek, bölgenin sosyolojik ve mimari değişimini belirlemektir.

Bu çalışmanın, hem tarihi hem doğasıyla zengin içeriklere sahip olan Beçin antik kentinin sosyolojik, mimari ve doğal değişimlerinin anlaşılmasına katkıda bulunması beklenmektedir. Bu çalışma tarihlendirilemeyen ve içinde nadir bulunan sıva üzeri baskı süslemeleri barındıran bir yapıyı tarihlendireceği için sanat tarihi, arkeoloji, mimarlık ve koruma literatürüne katkıda bulunacaktır. Ayrıca tarihlendirilecek materyalin ve kullanılacak deneysel yöntemlerin çeşitliliği sebebi ile lüminesans tarihlendirme metodolojisine de katkıda bulunmuştur.

Tezin ikinci bölümünde kuramsal temellerden bahsedilmiştir. Bu kuramsal temeller lüminesans çeşitleri, lüminesans mekanizması, kusur merkezleri, matematiksel model konularını içermektedir.

Tezin üçüncü bölümünde doğal lüminesans minerallerin özelliklerinden, kuvars ve feldspat minerallerinden, örneklerin toplanması ve hazırlanması süreçlerinden, mineral ayırma teknikleri ve örnek hazırlama sürecinden, TL ölçümler için stokes yasası ile örnek hazırlanma aşamalarından, eşdeğer doz (paleodoz) belirlenmesi için kullanılan MAAD ve SAR yöntemlerinden, lüminesans sinyallerini etkileyen faktörlerden, yıllık doz ve yıllık dozu etkileyen faktörlerden, eşdeğer doz ve yıllık dozu tespit etmek için kullanılan cihazlardan bahsedilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde ön ısıtma sıcaklığı, plato bölgesi, eşdeğer doz, yıllık doz, nem oranı tespiti için yapılan deneyler ve ölçüm sonuçlarından bahsedilmiştir. Bu deneyler ve ölçüm sonuçlarından yola çıkarak her bir örnek için yaş tespiti yapılmıştır.

Tezin beşinci bölümünde ise tez kapsamında elde edilen bulgular tartışılmış ve yorumlanmıştır.

Bu tez çalışması ile birlikte Bey Hamamı yapısı TL tekniğiyle tarihlendirilmiştir ve elde edilen sonuçlar beklenildiği gibi Bey Hamamı yapısının Menteşe Beyliği dönemine tarihlendiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar yapıda Roma döneminden kalma tuğlaların devşirme malzeme olarak kullanıldığını ve yapının Osmanlı döneminde de kullanıma devam ettiğini göstermiştir. Yapının mimari geçmişinin değerlendirilmesi açısından literatüre önemli katkılarda bulunulmuştur.

Sağlık fiziği alanında soğurulan doz, eşdeğer doz ve geriye dönük (retrospektif) doz ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Çevresel doz hızı belirlenmiştir. Personel dozunun ölçülmesinde kullanılan TLD malzemesinden doz okumayı sağlayan Harshaw 3500 Model TLD okuyucu cihazı ve Risø TL/OSL okuyucu cihazı kullanılmıştır. Benzer tekniklerin ve matematiksel yaklaşımların radyoterapi fiziği, görüntüleme teknikleri ve nükleer tıp alanlarında uygulanabilir olduğu görülmüştür. Bu tez çalışması disiplinler arası çalışma örneğidir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde lüminesans olayının ortaya çıkmasını sağlayan mekanizma ve kusur merkezleri anlatılmıştır. Fiziksel sürecin matematiksel modellemesi yapılmıştır. Yaş tayini hesabında gereken iki önemli parametre olan eşdeğer doz ve yıllık doz kavramlarından bahsedilmiştir.

2.1 Lüminesans Mekanizması

Elektromanyetik spektrumda görünür ışığın dalga boyu yaklaşık 380 nanometre ile 750 nanometre aralığına denk gelir (<https://www.thoughtco.com/definition-of-visible-light-605941>, 2020). Dalgaboyu λ frekansı ν olan bir elektromanyetik dalganın enerjisi, h plank sabiti c ışık hızı olmak üzere denklem (2.1) ile tanımlanır:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

Atomun yapısında çekirdek (nötron, proton) ve elektronlar bulunur. Elektronlar belirli enerji seviyelerinde bulunma olasılıklarına sahiptirler. Genel durumda atom ya kararlı yapıdadır ya da kararlı yapıya dönmek ister. Uyarma enerjisi taban durumda olan bir elektronun daha yüksek enerji seviyelerinden birine atlaması sonucuna yola açar. Elektronların geçiş yapabileceği enerji seviyeleri kuantum mekanik yasalarla belirlenmiştir (https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation, 2020).

Lüminesans, bir maddenin radyasyon enerjisi soğurması durumunda elektronlarının değerlik bandından iletkenlik bandına geçiş yapmasıyla ortaya çıkar. Soğurulan enerji, elektronların değerlik bandına geri dönerken lüminesans merkezleriyle birleşmesiyle elektromanyetik dalga olarak açığa çıkar (Noto vd. 2016).

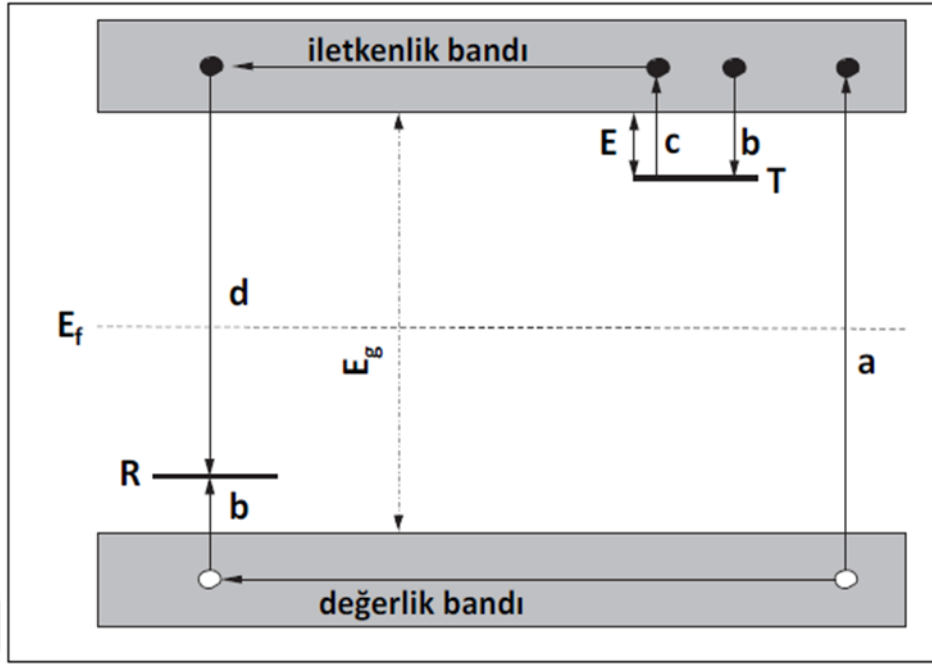
Termolüminesans (TL) olayı ilk kez Sir Robert Boyle tarafından 1663'te Londra Kraliyet Cemiyetine rapor edildi. TL olayı, belirli bir ısıtma etkinliğine sahip kristalli mineraller içeren materyaller için kullanılabilir. TL fotonu gözlenmesi için malzeme yalıtkan veya yarıiletken olmalıdır. TL mekanizması iki aşamalı bir işlem olarak tarif edilir. Birinci işlem iyonize radyasyona maruz bırakılarak uyarılma sağlanması ve ikinci işlem ısıyla TL fotonu yayınlanmasının sağlanmasıdır. Bir malzemede TL'nin indüksiyonu için gerekli koşul, söz konusu malzemenin düzenli yapısının belirli tiplerde

kusurlar içermesidir. Malzeme iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalması sırasında bu kusurlar elektronları ve deşikleri yakalayan tuzaklar gibi davranır.

Bu kusur yapılarına TL merkezleri denilir. Merkez terimi bu kusurları belirtmek için kullanılır çünkü bunlar kristal kafesinin düzenli yapısının bir parçası değildir. Malzeme değerlik bandı ve iletkenlik bandı olmak üzere iki enerji durumu ve aralarında yasak bant denilen normal durumda yüklerin bulunmadığı bir bölgeden oluşur. İyonlaştırıcı radyasyon malzemenin atomlarıyla etkileşir ve bol miktarda elektron-deşik çifti üretilir.

Elektron ve deşiklerin çoğu ışınlama sırasında yeniden birleşir ve bu süreçte radyolüminesans görülebilir. Serbest elektronların ve deşiklerin bir kısmı kristal kafesi içinde difüzyona uğrar ve kusur merkezlerinde tuzaklanırlar. Elektronlar yüksek enerjili iletkenlik bandına geçebilirken pozitif yüklü deşikler değerlik bandı yakınında tuzaklanırlar. Isı yoluyla tuzaklardaki elektronların tuzaklardan kurtulup tekrar iletkenlik bandına çıkması sağlanır. Geri dönüşte bu elektronların çoğunluğu deşiklerle yeniden birleşirler (Sunta 2015).

Yeniden birleşme sonucunda ışık salınımı (foton) gerçekleştiğinden yeniden birleşme merkezleri lüminesans merkezleri olarak adlandırılır. Bu fotona, ısıyla elektron tuzaktan kurtulmuşsa TL fotonu denir. Tuzaklanmış elektronların birikmesi ve deşikler (elektron ayrılınca geride kalan pozitif yükler) numunenin yakın çevresinden alınan radyasyonla orantılı olarak ölçülebilir bir değerde gerçekleşir. Üretilen ışığın miktarı spesifik ve ölçülebilirdir. TL olayının arkeolojik bilimler, yer bilimleri, uzay bilimleri, sağlık fiziği, jeoloji gibi uygulama alanları vardır.



Şekil 2.1 Basitleştirilmiş iki seviyeli model için enerji-band modelinin diyagramı (Bos 2007)

2.2 Kusur Merkezleri

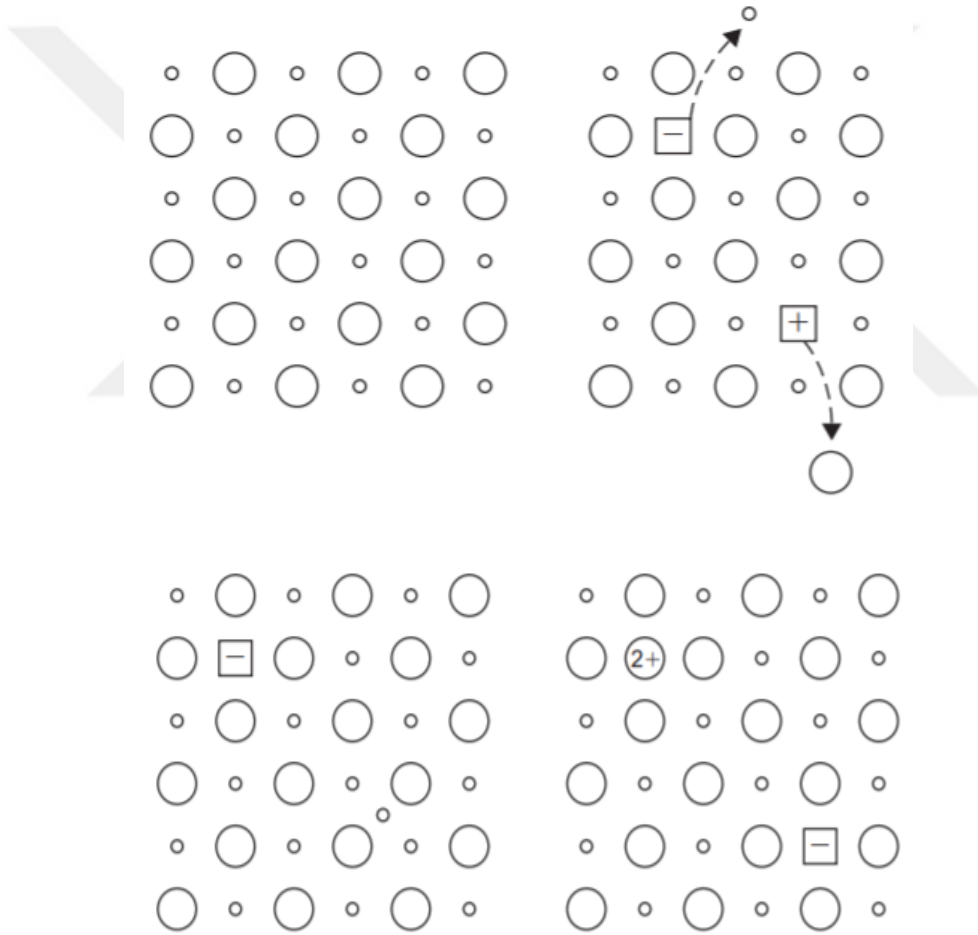
Kusur merkezleri katı haldeki malzemelerin, mekanik, elektrik, enerji soğurma ve yayınlama gibi özelliklerini belirleyen önemli yapılardır. Kristalin düzenli kafes yapısını işgal eden bir safsızlık atomu nokta kusura örnek olarak verilebilir. Birim hücrelerinde farklı atom tiplerine sahip bir kristalde safsızlık, birim hücrenin içinde yada hücreler arası geçiş bölgesinde bulunur.

Katı haldeki bir malzemenin kusurlarını karakterize edebilmek için birçok yöntem vardır. Kusur terimi yarıiletken araştırmalarında ve teknolojiye sıkça kullanılan bir terimdir. Buna rağmen yöntemler atomik ölçekte kusur yapılarını belirleseler bile çok az yöntem bu yapılar hakkında bilgi verir (Spaeth ve Overhof 2003).

Kusur merkezleri malzemede doğal olarak bulunanlar ve malzemeye dışarıdan katılan safsızlıklarla üretilenler olmak üzere iki grupta incelenir. Doğal olarak bulunan kusur merkezleri sadece termodinamik nedenlerden dolayı ortaya çıkar. Termodinamik nedenlerden dolayı herhangi bir sıcaklıktaki kusurların denge konsantrasyonu istatistiksel mekanikten hesaplanabilir. Bu kusurların ortam sıcaklığında

konsantrasyonu, malzemeyi daha yüksek bir sıcaklığa alıp sonra aniden soğutarak (söndürme) artırılır.

Elektron tuzakları genellikle negatif iyon boşluğundan oluşur. Bir negatif iyon boşluğunun (anyonik boşluk) net yükü pozitifdir ve bir elektron bu tuzağa yakalanır. Aynı şekilde pozitif iyon boşluğu (katyonik boşluk) negatif yüklüdür vedeşiklerin tuzaklanabileceği potansiyel bölgelerdir. Işınlamanın (radyasyonun) oluşturduğu kusurlar, kafes hücresinin iyonlaştırılması sırasında ortaya çıkan yüklerin birim hücreler arasında yerdeğiştirmesiyle ve alfa, yüksek enerjili iyonlar, hızlı nötronlar gibi ağır parçacıkların esnek çarpışmalarıyla oluşur (Sunta 2015).



Şekil 2.2 İki boyutlu iyonik yapıda nokta kusurlarının temsili gösterimi (Smallman ve Ngan 2013)

2.3 Lüminesans Oluşum Mekanizmasının Matematiksel Modeli

Düşük sıcaklıktaki ışınlamanın ardından yarı kararlı durumda tuzaklanan elektronlar tuzaktan kurtulmak için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Termal enerji şeklinde sağlanan bu

enerjiye aktivasyon enerjisi (E) denir. Aktivasyon enerjisi, elektronun belirli bir tuzaktan kurtulması için gerekli olan minimum enerjidir. Tuzağın iletkenlik bandına olan mesafesi elektronun kurtulmasını sağlayacak enerjiyi belirleyen etkidir. Tuzağın iletkenlik bandına olan mesafesi arttıkça elektronu kurtarmak için verilmesi gereken termal enerji artar.

Elektronun tuzaktan kurtulma olasılığı termal enerjiden dolayı maxwell dağılımına sahiptir. Kurtulma olasılığı P, E aktivasyon enerjisi ve T mutlak sıcaklık olmak üzere denklem (2.2) ile tanımlanır:

$$P = s \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \quad (2.2)$$

burada $k = (8.6173 \times 10^{-5} \text{ eV/K})$ boltzmann sabiti, frekans faktörü (s) ise elektronun tuzaktan kurtulma olasılığını belirleyen sıcaklıktan bağımsız bir değerdir. Bu değer, kristalin titreşim frekansı (10^{12} s^{-1}) mertebesinde dir.

Yasak bant aralığını daha detaylı incelemek için bazı parametreleri tanımlamak gerekmektedir. Bunlar, karakteristik enerji (E), frekans faktörü (s), kinetik faktörü (b)'dir. Tuzaklanmış elektronların konsantrasyonu $n \text{ (m}^{-3}\text{)}$ ve tuzaklanmış deşiklerin konsantrasyonu $m \text{ (m}^{-3}\text{)}$ olmak üzere yayınlanan ışığın şiddeti zamana ve artan sıcaklığa bağlı olarak denklem (2.3) ile tanımlanır:

$$I(t) = -\frac{dm}{dt} = -\frac{dn}{dt} = nP = n s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.3)$$

Lüminesans ışığının şiddeti yeniden birleşme merkezindeki elektronların ve deşiklerin birleşme hızıyla orantılıdır. Bu denklem tuzaklanmış elektron ve deşik konsantrasyonlarındaki azalmayı gösterir.

Basit bir yeniden birleşme modelinde n_c iletkenlik bandındaki serbest elektron konsantrasyonu olmak üzere yayınlanan lüminesans ışığın şiddeti denklem (2.4) ile tanımlanır:

$$I(t) = -\frac{dm}{dt} = n_c m A_m \quad (2.4)$$

Burada A_m değeri, v_n serbest elektronların termal hızları ve σ_m serbest haldeki elektronların yeniden birleşmesi için yakalama kesiti olmak üzere (2.5) eşitliği ile gösterilir:

$$A_m = v_n \sigma_m \quad (2.5)$$

A_m sıcaklıktan bağımsız birim hacim ve zamandaki yeniden birleşme merkezinin yakalama katsayısıdır. N kristaldeki elektron tuzaklarının toplam konsantrasyonu olmak üzere n deki azalma denklem (2.6) ile tanımlanır:

$$-\frac{dn}{dt} = nP - n_c (N-n) A_n \quad (2.6)$$

Burada A_n değeri, σ_n serbest haldeki elektronların yeniden tuzaklanması için yakalama kesiti olmak üzere (2.7) eşitliği ile gösterilir:

$$A_n = v_n \sigma_n \quad (2.7)$$

A_n elektronların tuzaklara yeniden yakalanma olasılığıdır. Bu denklem elektron tuzaklarına yakalanan ve bu tuzaklardan kurtulan elektronların sayısını ifade etmektedir. Elektronların tuzaklardan kurtulması için gereken termal enerji np ile ifade edilir. İletkenlik bandındaki serbest elektronların konsantrasyonu (2.8) denklemindeki gibi zamanla değişim gösterir:

$$-\frac{dn_c}{dt} = nP - n_c (N-n) A_n - n_c mA_m \quad (2.8)$$

bu denklemde $(n_c (N-n) A_n)$ terimi, iletim bandındaki serbest elektronların tekrar tuzaklara yakalanması durumunda değişen dolu tuzak konsantrasyonunu belirtir. İletim bandındaki elektronların yeniden birleşme merkezlerine ulaşmaları durumu, $(n_c mA_m)$ denklemiyle belirtilir (Chen ve McKeever 1997).

Bu denklem sisteminin tam bir matematiksel çözümü olmadığı için (2.9) eşitsizliğiyle gösterilen sanki eşitlik (QE) varsayımı kullanılabilir:

$$\left| \frac{dn_c}{dt} \right| \ll \left| \frac{dn}{dt} \right|, \left| \frac{dm}{dt} \right| \quad (2.9)$$

Yük dengesi olduğu için eşitlik (2.10) yazılabilir.

$$n_c + n = m \quad (2.10)$$

olur. İletim bandındaki serbest elektronların konsantrasyonu sıfır kabul edilirse ($n_c \approx 0$), termal uyarım boyunca iletim bandında elektron birikmediği anlamına gelir. Bu durumda (2.11) yaklaşımı kullanılabilir.

$$-\frac{dn}{dt} \approx -\frac{dm}{dt} = I_{TL} \quad (2.11)$$

olur ve termolüminesans şiddetinin matematiksel gösterimi eşitlik (2.12) ile gösterildiği gibi verilir.

$$I_{TL} = \frac{n \exp\left\{-\frac{E_t}{kT}\right\} m \sigma_m}{[(N-n)\sigma_n + m\sigma_m]} \quad (2.12)$$

2.4 Eşdeğer Doz (Paleodoz) Belirlenmesi

Örnek gömülü kaldığı süre boyunca çevresindeki radyonüklit konsantrasyonlarına ve kozmik radyasyona maruz kalması sonucu örnek dokusunun kristal yapısında bazı değişiklikler meydana gelir. Bu değişiklikler örneğin soğurduğu dozla ilişkili olduğu için örneğin soğurduğu dozu tespit etmek önemlidir. Örneğin soğurduğu doza eşdeğer doz (Paleodoz) denir. Örnek doğal radyasyon dozuna ne kadar fazla süre maruz kalmışsa doza karşılık gelen lüminesans şiddeti de o kadar fazla olur.

Eşdeğer dozu belirlemek için kullanılan başlıca iki yöntem vardır. Bunlar tek tablet yeniden dozlama yöntemi (SAR) ve çok tablet ilave doz yöntemidir (MAAD). Her iki yöntemde de çizilen doz-cevap eğrileri mineral tanelerine artan dozlar verilerek artış gösteren lüminesans şiddetlerini gösterir. Her iki yaklaşımda da eşdeğer doz ölçümleri üç adımdan oluşur. Bunlar ışınlama, ön ısıtma ve lüminesans ölçümleridir. Bu adımlardan ışınlama, laboratuvar ortamında örneğe verilen yapay radyasyon dozudur ve lüminesans şiddeti oluşturmak için yapılır.

İşinlama kaynakları, beta ve gama kaynakları olup lüminesans okuyucuya entegre ya da harici olabilir. Laboratuvar da yapay radyasyon dozu verilen örnekteki tüm tuzaklar elektron yakalar.

2.5 Yıllık Doz

Lüminesans tarihlendirmenin arkeolojik ve jeolojik malzemelere uygulanabilmesi için eşdeğer doz ve yıllık doz ölçümlerinin yapılması gerekir. Örneğin yaşının yıl cinsinden belirlenebilmesi için örneğin 1 yılda aldığı radyasyon dozunun bilinmesi gerekir. Örneğin çevresinden soğurduğu doğal radyasyon dozu, α (alfa) parçacıkları, β (beta) parçacıkları, γ (gama) ışınları ve kozmik ışın kaynaklıdır. Bu radyasyon kaynaklarından ilk üçü örneğin kendi içeriğinde ya da çevresinde doğal olarak bulunan elementlerden kaynaklanır. Bu elementlerden en önemli olanlar U^{235} , Th^{232} , U^{238} ve K^{40} radyoaktif izotoplarıdır. Bu radyoaktif izotoplar kararsız yapıdadırlar ve kararlı hale geçebilmek için α , β parçacıkları ve γ ışınları yayarlar.

K^{40} radyoaktif izotopu, β parçacıkları ve γ ışınları yayınlayarak Ca^{40} ya da Ar^{40} izotoplarına bozunur. Bu izotoplar kararlı yapıdadır. K^{40} radyoizotopu doğal potasyum bolluğunun %0.0117'si kadardır. Uranyum ve toryum radyoizotoplarının bozunum zincirleri daha karmaşıktır. U^{238} radyoizotopu Th^{234} radyoizotopuna bozunur ve bozunum zinciri sırasıyla Pa^{234} (protaktinyum), Pb^{206} (kurşun) şeklinde gerçekleşir. Kurşun izotopu kararlıdır ve bozunum zincirleri bu izotopla son bulur.

Doğal şartlarda alfa, beta ve gama radyasyonlarının hepsi örnek tarafından soğurulmaz. Örneğin çevresindeki maddeler tarafından da soğurulur ve etkileri zayıflatılır. Minerallerin boyutlarına göre bu zayıflatma etkilerinin doğru bir şekilde heaplanması gerekir. Bu radyasyon tiplerinin hepside malzemede farklı mesafeler kat ederler yani menzilleri farklıdır (Duller 2008). Tipik bir toprak numunede doğal radyasyonun alfa, beta ve gama bileşenleri yıllık doza sırasıyla %45, %30 ve %25 miktarında katkıda bulunur (Aitken 1985).

Örneğin kendi içeriğindeki radyoizotoplardan ve çevresinden aldığı doğal radyasyonun yıllık doz bileşenleri katkısı (2.13), (2.14), (2.15), (2.16) eşitlikleri ile hesaplanır.

$$\text{Yıllık Doz} = (aD_{\alpha} + D_{\beta} + D_{\gamma} + D_c) \quad (2.13)$$

a: alfa zayıflatma katsayısıdır.

$$D_{\alpha} = D_{\alpha(Th)} + D_{\alpha(U)} \quad (2.14)$$

$$D_{\beta} = D_{\beta(Th)} + D_{\beta(U)} + D_{\beta(K)} \quad (2.15)$$

$$D_{\gamma} = D_{\gamma(\text{Th})} + D_{\gamma(\text{U})} + D_{\gamma(\text{K})} \quad (2.16)$$

Bu denklemlerde D_{α} , D_{β} , D_{γ} , D_C sırasıyla doğal radyasyonun alfa, beta, gama ve kozmik ışın doz hızlarını gösterirken, $D_{\alpha(\text{U})}$, $D_{\beta(\text{U})}$, $D_{\gamma(\text{U})}$, $D_{\alpha(\text{Th})}$, $D_{\beta(\text{Th})}$, $D_{\gamma(\text{Th})}$, $D_{\beta(\text{K})}$, $D_{\gamma(\text{K})}$ sırasıyla uranyum, toryum ve potasyum radyoizotoplarından kaynaklanan alfa, beta ve gama doz hızlarını gösterir. Alfa parçacıkları uranyum ve toryum radyoizotoplarından yayılırken potasyum radyoizotoplarından yayılmaz.

Eşdeğer doz ölçümlerinde önemli etkenlerde biri de sönüm olayıdır. Lüminesans sinyallerinde sönüm, ısı etkisi ile meydana gelen termal sönüm ve ısıya bağlı olmayan etkenlerden meydana gelen anormal sönüm olmak üzere iki çeşittir (Aitken 1985). Anormal sönüm etkisi yapılacak tarihlendirme çalışmalarının sonucunu etkileyen bir olaydır. Anormal sönüm etkisi hesaba katılmadığı zaman yaşlar hatalı çıkabilir.

Aitken (1985) tarafından, anormal sönüm sonrasında meydana gelen sinyal kaybı zamanın bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Anormal sönümün sayısal olarak ifade edilebilmesi için sinyaldeki her on yılda bir meydana gelen azalma miktarını yüzde olarak belirten bir g değeri tanımlanmıştır. Anormal sönüm (Huntley ve Lamothe 2001) tarafından matematiksel olarak denklem (2.17)' de gösterilmiştir.

$$I = I_c \left[1 - \frac{g}{100} \log_{10} \left(\frac{t}{t_c} \right) \right] \quad (2.17)$$

Bu denklemde I , ışınlanmadan t süre sonra ölçülen lüminesans sinyal şiddeti; I_c , $t = t_c$ zamanında ölçülen sinyal şiddeti; t_c ışınlanma işleminden sonra yapılacak ölçüm için alınan keyfi bir zamandır. κ , örneğin yapısıyla ilgili bir sabit olmak üzere g değeri aşağıdaki eşitlik (2.18)' de gösterildiği gibi tanımlanır.

$$g = 100\kappa \ln(10) \quad (2.18)$$

Bu denklemlerden de görüleceği üzere anormal sönüm olayının lüminesans tarihlendirme sonuçlarına olan katkısı, yaşı birkaç bin yıldan daha eski olan örnekler için baskın olmaya başlar. Bu tez çalışmasında incelenen örneklerden en eskisi 1000 ile 2000 yıl öncesine dayandığı için incelenen örneklere anormal sönüm etkisi ihmal edilecek kadar azdır. Aynı zamanda anormal sönüm etkisinin meydana getirdiği hata payı ise ölçüm sonuçları içinde bulunan hata hesapları dahilindedir (Şahiner 2015).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Lüminesans tarihlendirme tekniğinde, araştırılacak örnekler toplandıktan sonra uygulanması gereken birtakım laboratuvar prosedürü vardır. Bu laboratuvar prosedürleri ve kullanılan deneysel cihazlar aşağıda belirtilmiştir.

3.1 Doğal Lüminesans Minerallerin Özellikleri

Doğada bulunan birçok mineral iyonize radyasyona maruz kaldıktan sonra enerji kaynağı kullanılarak uyarıldığında lüminesans ışığı yayınlar. Doğal doz, mineralin doğal radyasyon kaynaklarıyla ışınladığında kazandığı enerjiyi ifade eder. Bu mineraller maruz kaldıkları radyasyon dozunu soğurduğu için dozimetrik özellik gösterirler. Ancak bu minerallerin hepsi lüminesans tarihlendirme için uygun değildir. Günümüzde lüminesans tarihlendirme için kullanılan başlıca mineraller kuvars ve feldspattır.

3.1.1 Kuvars minerali

Kuvars, içeriğinde silisyum ve oksijen atomları bulunduran kimyasal formülü SiO_2 dünya üzerinde feldspattan sonra en bol bulunan mineraldir. Kuvars çoğunlukla tortul kayalar gibi jeolojik ortamlarda bulunur. Kuvars, insan yapımı tuğla veya çanak, çömlek gibi arkeolojik malzemelerde bulunur (Preusser vd. 2009). Kuvars sert, kararlı ve düşük yoğunluklu bir mineraldir. Tektonik değişim, erezyon, magma hareketleri sırasında kuvars yer üstüne doğru hareket eder. Mineral, içeriğindeki yabancı maddelerin cins ve miktarına göre, saydam, renkli, yarı saydam olarak bulunur. Kuvars minerali, iklim şartlarının meydana getirdiği kimyasal değişimlere ve mekanik aşınmalara karşı dirençli olduğu için lüminesans tarihlendirmede en çok kullanılan mineraldir. Kuvars mineralinin lüminesans özellikleri oldukça kararlıdır (Munyikwa 2016).

3.1.2 Feldspat minerali

Yeryüzeyinde çok yaygın bulunan bir mineraldir ve yer kabuğunun yaklaşık %60' ını oluşturur. Dünyanın her yerinde magmatik, metamorfik ve tortul kayalarda bulunur. Feldspat grubundaki tüm mineraller $\text{X(Al,Si)}_4\text{O}_8$ şeklindeki kimyasal formüle uyar.

Kimyasal açıdan feldspatlar, yaygın olarak potasyum, sodyum ve kalsiyum iyonlarını içeren alüminosilikatlardır. Feldspat mineralinin maruz kaldığı doğal radyasyon kaynaklarından oluşan iyonize radyasyona ilave olarak potasyum iyonize radyasyona katkıda bulunduğu için iç doz faktöründe hesaba katılmalıdır. Sonuç olarak lüminesans tarihlendirmede feldspat minerali kullanılırken, potasyum iyonunu içeren feldspat mineralinin diğer iyonları içeren minerallerden ayrı incelenmesi gerekir. Feldspat mineralinden yayınlanan lüminesans ışığı genellikle kuvars mineralinden kaynaklanan lüminesans ışığından daha parlaktır. Bu durum analiz sırasında daha küçük dozların ölçülebileceği anlamına gelir (Munyikwa 2016). Kuvars mineraline göre daha yüksek radyoaktivite hassasiyetine ve daha yüksek yaş sınırına sahiptir. Ancak anormal sönüm ve zamanla meydana gelen lüminesans kayıpları dolayısıyla düzeltme yapmak gerekir (Nelson ve Rittenour 2015).

3.2 Örneklerin Toplanması ve Hazırlanması

Herhangi bir tarihlendirme işleminde ilk ve önemli nokta doğru örneklerin toplanmasıdır. Jeolojik ve arkeolojik kaynaklarla ilgili fotoğraf, alan notları gibi ayrıntılı bilgiler toplanır. Yıllık doz ölçümü için örneğin çevresinden 50 cm çaplı alan içinden homojen bir tabakadan örnek alınmalıdır. Böyle bir katman mevcut değilse, taşınabilir bir gama spektrometresi veya gama sayacı kullanılarak gama radyasyonunun yerinde ölçümü sağlanır veya uygun yaklaşımlarla değerlendirilir (Preusser vd. 2009).

TL tarihlendirme tekniği genellikle toprak kaplar ve seramik gibi örnekler üzerinde uygulanır ve teknik uygulanırken örneklerin bazı hazırlık aşamalarından geçmesi gerekir. Örnekler doğal dozu doğru olarak ve kayıpsız bir şekilde elde etmek için hazırlanmalıdır. Toplanan örneklerin yaşının doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için eşdeğer doz ve yıllık doz ölçümlerinin yapılması gerekir. Örnekler ezme, eleme ve asit uygulaması işlemlerinden geçirilerek veri almaya hazır hale getirilir.

Kuvars ve Feldspat mineralleri ultraviyole ve görünür bölgedeki elektromanyetik dalgaya duyarlı olduğundan örneklerin ışık görmeyen kısımları elde edilecektir. Örneklerin güneş ışığına maruz kalması muhtemel kısımları kırılarak ya da zımparalanarak kesilip atılır. Ancak bu parçalar yıllık doz hızı belirlenirken kullanılabilir. Örnekler hazırlanırken TL sinyallerinin kaybolmaması için düşük frekanslı (enerjili), yüksek dalgaboylu kırmızı ışık düşük şiddette kullanılacaktır. Yıllık

doz ve nem tayini ölçümleri için kullanılacak materyal, yaş tayini yapılacak örneğin çevresinden alınmalıdır. Tarihlendirilecek örneğin çevresinden alınan örneklerin ölçümlerinin yapılmasında özel ışık koşullarına gerek yoktur.

3.2.1 Saha çalışması ve Beçin antik kentinden alınan örnekler



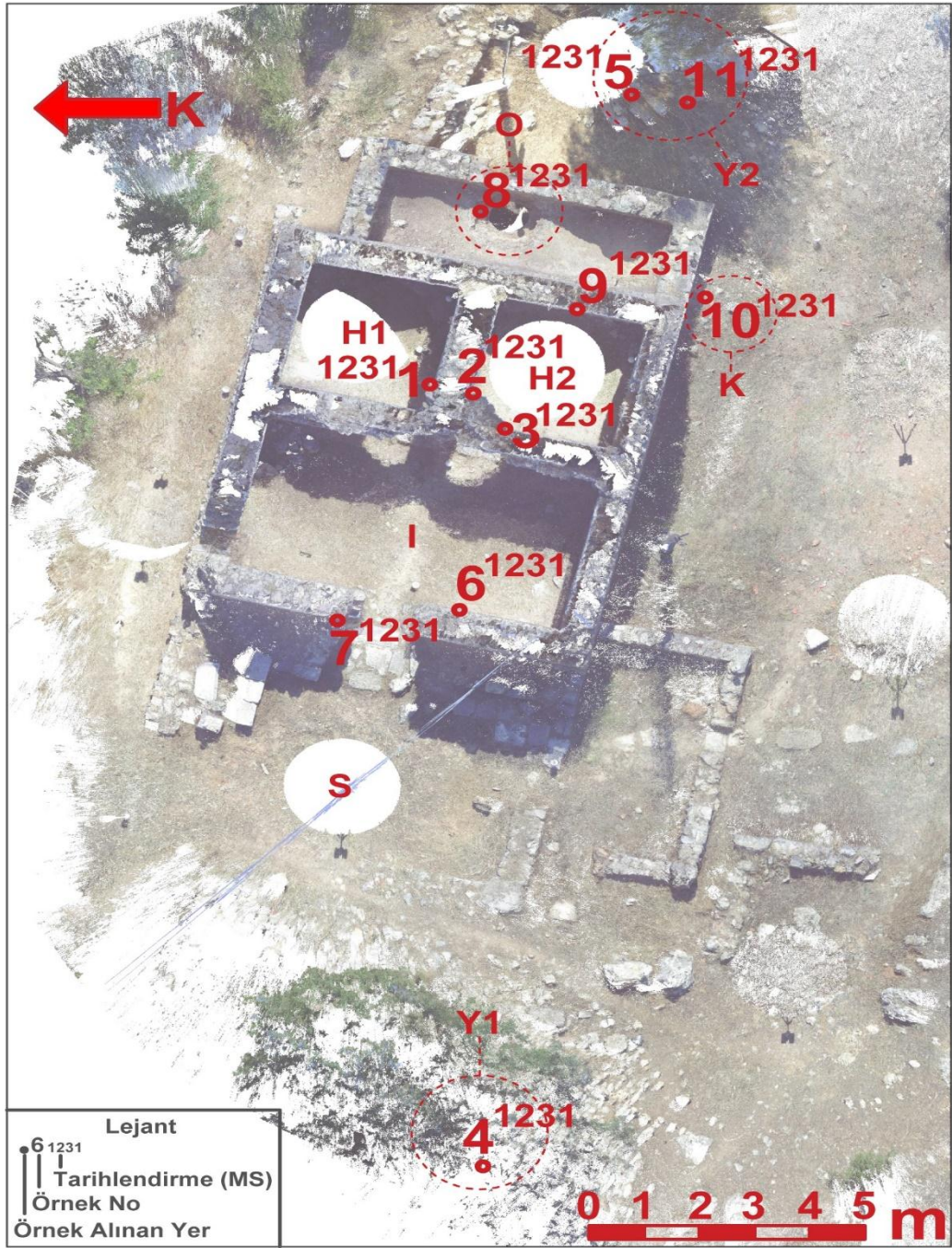
Şekil 3.1 Beçin antik kentine yapılan saha gezisi sırasında çekilmiş bir fotoğraf



Şekil 3.2 Örneklerin toplandığı ve tarihlendirme çalışmasının yapıldığı Bey Hamamı yapısının ön açıdan görüntüsü



Şekil 3.3 Bey Hamamı yapısından toplanan örnekler ve Beçin kalesinin fotoğrafı



Şekil 3.4 Bey Hamamı yapısından örneklerin alındığı yerler ve örnek lejantı

Örneklerin kodları aşağıdaki tablolarda yer,nitelik ve isim açıklamaları şeklinde verilmiştir.

Çizelge 3.1.a Bey Hamamı yapısından alınan örneklerin kodlarının anlamları ve yer açıklamaları

H1	Halvet 1	Halvet banyo yapılan, sıcak su tesisatının geldiği özel ve küçük mekanları ifade eder. En son girilen mekanlardır.
H2	Halvet 2	
Y1	Yer 1	Beçin 1995 kazısı raporlarına göre bu iki yığıntı alanına sadece hamam içi ve yakın çevresinden alınan malzemeler konulmuştur.
Y2	Yer 2	
S	Soyunmalık	Soyunmalık ilk girilen mekanlardan olup, üst değiştirilen ve dinlenilen ılık bir mekandır.
I	Ilıklık	Ilıklığa soyunmalıktan sonra geçilir. Halvetler ve soyunmalık arasındaki mekandır, soyunmalıktan daha sıcak olabilir.
O	Ocak	Ocakta su ısıtmak amacı ile ateş yakılır. Külhanın (ocak+su deposu+odunluk) bir parçasıdır.
K	Külhan Yanı, Dış	Külhan, girişi hamam girişinden ayrı olan, ocak+su deposu+odunluktan oluşan servis mekanıdır. Su borusu kaynaktan külhana gelip depoya ulaşır.

Çizelge 3.1.b Bey Hamamı yapısından alınan örneklerin isimlendirme açıklamaları

1.kısım	BBH: Beçin Bey Hamamı
2.kısım	İkinci kısım hamam içindeki yerleri belirtmektedir, yerler yukarıdaki açıklamada gösterilmiştir.
3.kısım	Seramik malzemenin niteliğini belirtmektedir, nitelik açıklamaları aşağıdadır.
4.kısım	Niteliği belirlenmiş malzemenin numarasını belirtmektedir.

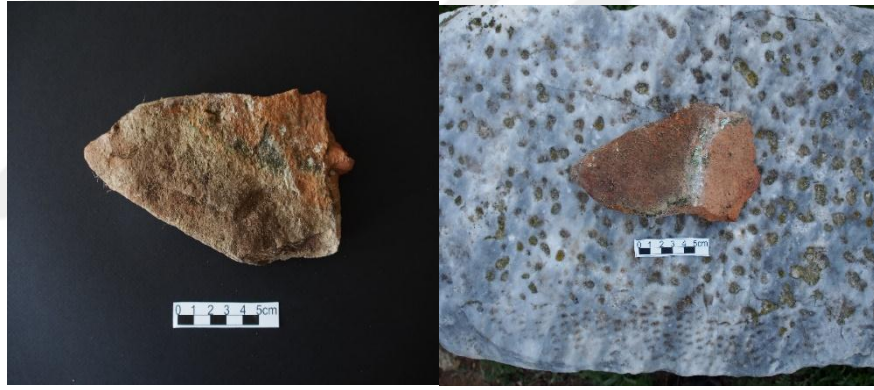
Çizelge 3.1.c Bey Hamamı yapısından alınan örneklerin nitelik açıklamaları

TD	Düzgün şekilli tuğla
TB	Düzgün şekilli, açık renk, fonksiyonu bilinmeyen tuğla
TA	Düzgün olmayan (amorfe) şekilli tuğla
B	Boru (Künk)

Beçin antik kentinde bulunan bey hamamının tarihlendirmesi için hamamdan uygun örnekler dikkatli bir şekilde toplandı. Yıllık doz ölçümü için örneğin çevresindeki homojen bir tabakadan örnek alındı. Bölge ve örneklerin fotoğrafları Şekil 3.5.a -Şekil 3.5.l' de verilmiştir.



Şekil 3.5.a BBH.H1.TD.1 kodlu örneğe ait görsel



Şekil 3.5.b BBH.H2.TD.2 kodlu örneğe ait görsel



Şekil 3.5.c BBH.H2.TD.3 kodlu örneğe ait görsel



Şekil 3.5.d BBH.Y1.TB.1 kodlu örneğe ait görsel



Şeki 3.5.e BBH.Y2.TA.1 kodlu örneğe ait görsel



Şekil 3.5.f BBH.I.TA.2 kodlu örneğe ait görsel



Şekil 3.5.g BBH.S.TA.3 kodlu örneğe ait görsel



Şekil 3.5.h BBH.O.TD.4 kodlu örneğe ait görsel



Şekil 3.5.ı BBH.O.TD.4 kodlu örneğin alındığı yer



Şekil 3.5.i BBH.H2.B.1 kodlu örneğe ait görsel



Şekil 3.5.j BBH.K.B.2 kodlu örneğe ait görsel



Şekil 3.5.k Yıllık doz ölçümü için BBH.K.B.2 kodlu örneğin çevresinden alınan toprak örneği ve örneğin alındığı yer



Şekil 3.5.1 BBH.Y2.TD.5 kodlu örneğe ait görsel

3.2.2 Mineral ayırma teknikleri ve örnek hazırlama süreci

Doğru yaşı elde edebilmek için, incelenecek materyalin homojen olmayan dokusunu dikkate almak önemlidir. Doku tipik olarak kuvars mineralini içeren kil matrisinden oluşur ve mineralin büyüklük aralığı genellikle $1\ \mu\text{m}$ 'den daha az boyutlardan başlar ve 1mm 'ye varan boyutlarda olabilir. Örnekten, yoğunluk ayırma tekniği ve manyetik ayırma tekniği gibi standart minerolojik teknikler kullanılarak ayrılan kuvars minerali yapay olarak ışınlandığında TL ışığı yayınladığı gösterilmiştir. Bu durumda örneğin dokusunun yüksek bir TL hassasiyete sahip olduğu düşünülebilir. Yaş tayini açısından doğal radyasyon dozu homojen olmadığı için bu hassasiyet farklılıkları önemlidir (Aitken 1968).

Aitken (1985) tarafından, kuvars ve feldspat mineralleri için tane boyutları $\text{çapı } 5\text{ mm}$ 'ye kadar olan iri tanelerden $\text{çapı } 4\ \mu\text{m}$ 'den daha az olan ince tanelere kadar değişen taneler mikrodozimetri olarak tanımlanmıştır. Bu geniş aralık iki laboratuvar tekniğinin geliştirilmesine yol açmıştır. İnce tane tekniğinde tanecik boyutu $4\text{-}11\ \mu\text{m}$ olarak seçilir. İri tane tekniğinde ise tanecik boyutu $90\text{-}125\ \mu\text{m}$ olarak seçilir. Bu iki teknik kullanılarak örnek saflaştırılır. Örnek, mekanik ve kimyasal işlemlerden geçirilerek istenilen tanecik boyutu elde edilir.

Kuvars minerali feldspat mineralinden daha ağırdır ve yoğunluğu $2.62\ \text{g/cm}^3$ ' den fazladır. Potasyum bakımından zengin feldspatların yoğunluğu ise $2.58\text{-}2.54\ \text{g/cm}^3$

aralığındadır. Yoğunluk ayırma tekniği ilk kez Mejdahl (1985) tarafından tetrabromoethane ve dipropylene glykol karıştırılarak oluşan ağır sıvıyla yapılmıştır (Wintle 1997).

Örneğin ışık görmemiş tarafı seçilip alındıktan sonra, alınan parça kırılır ve ezilir. Kırılan parça örneğin sert dokusu olup, kuvars minerallerinin elde edilebilmesi için ezme işlemi uygulanır. Kristallerin ezilmesi ve kırılmasından kaynaklanan triboluminesans etkisinin olmaması için kırma ve ezme işlemleri yavaşça ve dikkatli bir şekilde yapılır. Parça pudra haline gelinceye kadar ezme işlemi yapılır. Ezme işlemiyle elde edilen parçaların büyüklükleri 2 mm ile 1µ'dan daha az bir aralığa sahip olur. Ezme işleminden sonra tanelerin istenilen büyüklük aralığını elde etmek için eleme işlemini uygulanır. Eleğe yerleştirilen ezilmiş taneler çeşitli şekillerde sallanarak, mekanik hareketlerle elenir. Elek 20 µm altındaki tanelerin elde edilmesini sağlar.

Ezilen ve elenen seramik, tuğla ve toprak parçalarını içerdikleri kalsit ve organik bileşenlerden arındırmak için hidroklorik asit (HCl), hidrojen peroksit (H_2O_2), kimyasalları kullanılır. İncelemek istediğimiz kuvars ve feldspat minerallerinin TL sinyalleri olduğu için yabancı bileşenlerin olmaması gerekir. Kalsit ve organik bileşikler lüminesans ölçümü sırasında sahte sinyallere neden olduğu için örnek asit işlemlerinden geçirilir. Örnek, önce belli bir miktar beherlere doldurulur ardından %10'luk (HCl) asit çözeltisi örneğin üzerine dökülür. Örneği kristalleşmiş kalsiyum karbonat yapısı olan kalsit bileşeninden arındırmak için %10'luk (HCl) asit çözeltisi kullanılır. Kimyasal tepkime bitene kadar beklenir ve HCl asit örnek kaybına yol açmayacak şekilde dikkatlice dökülür. Daha sonra örnek saf suyla yıkanır. Örneği organik içeriğinden arındırmak için %30'luk hidrojen peroksit (H_2O_2) kimyasalı kullanılır. Kimyasal tepkime bittikten sonra örnek yeniden saf suyla yıkanır. Hazırlanan örnekler kurumaları için 45°C'de etüvde bekletilir.

Kimyasal tepkimeler ısı değişimleri ve gaz çıkışından gözlemlenir. Kimyasal reaksiyon sırasında gaz çıkışı kimyasal madelerle temas eden örneğin bu reaksiyondan kabarcık oluşturmasıyla görülebilir ve artık kabarcık oluşmaması kimyasal reaksiyonun bittiğine dair bilgi veren bir gözlemdir. Bu hazırlık aşamalarından sonra 20 µm altında kalsit ve organik içeriklerinden arınmış örnek vardır.

3.2.3 Termoluminesans ölçümleri için ince taneli (4-11 μm aralığında) örnek hazırlanması

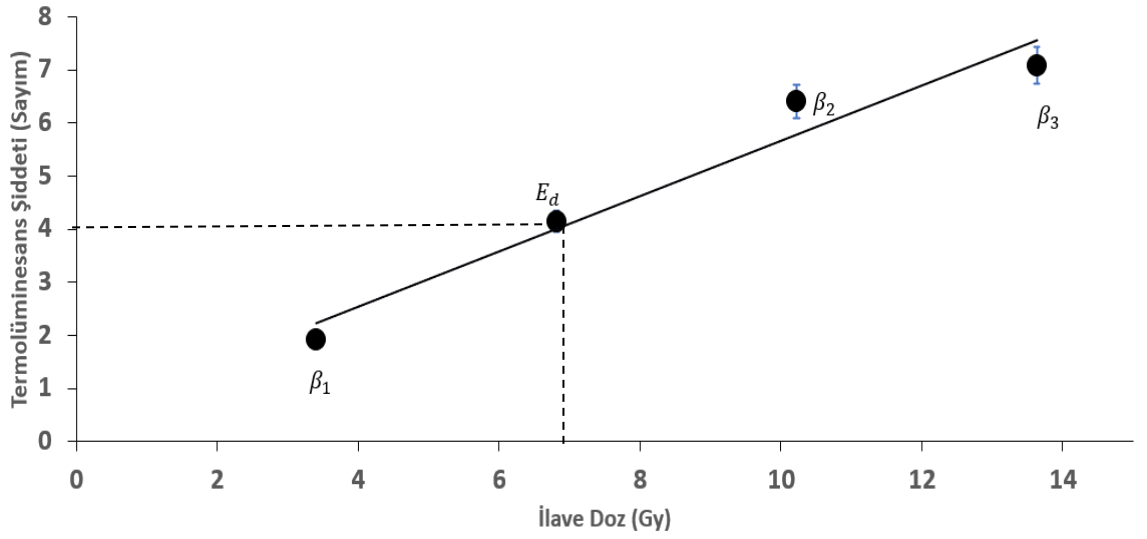
İnce tanecik (fine grain) tekniği kullanılarak tarihlendirme yapılacağı için tanecik boyutu 4-11 μm olarak belirlenmesi gerekir. Bu tanecik aralığını elde etmek için stokes yasası uygulandı. Bu yöntemde 25 cam tüp alındı. Bu tüplerden 5 tanesine hazırlanan örnekten az miktarda konuldu ve üzerine tüpün $\sim\%25$ 'lik kısmına kadar aseton eklendi. Tüplerin kapakları kapatılıp, çalkalandı ve sabit konularak kapakları açıldı ve karışım 2 dakika bekletildi. Burada amaç elde edilmek istenen örnek aralığının dışındaki taneciklerin ayrılmasıdır. Sabit konulduğunda tüplerin sarsılmaması herhangi bir harekete maruz kalmaması önemli olduğundan kapaklar hemen dikkatle çıkarıldı. 2 dk sonunda tüplerdeki aseton-örnek karışımı diğer cam tüplere alındı ve dipte kalan örnek üzerine tekrar aseton ($\sim\%25$ 'lik kısma kadar) eklenerek aynı işlemler tekrar edildi. Gerek görüldüğü durumda tüplere hazır haldeki örnekten takviye yapıldı. Tüpteki karışımda 2 dakikalık zaman içinde büyüklüğü 11 μm 'den fazla olan taneler tüpün dip kısmına çökerken büyüklüğü 11 μm 'den az olan taneler yüzeyde süzülür. İlk birkaç karıştırma işleminde yüzey bulanık görülür çünkü burada 11 μm 'den küçük tanecikler bulunur. Berrak bir renk tonuna ulaşıncaya kadar bu işlemler yaklaşık 7-8 kez tekrar edildi. Bu renk durumu 11 μm 'den küçük tanelerin tüplerde kalmadığını gösterir. Bu şekilde diğer 20 tüp aseton-örnek karışımlarıyla dolduruldu. Burada amaç 11 μm 'nin yukarısındaki parçacıkların elenmesi, örnekten ayrılmasıdır. Dolayısıyla diğer cam tüplere konulan aseton-örnek karışımlarındaki örneklerin parçacık boyutları 11 μm 'nin altındadır. Daha sonra hazırlanan 20 tüp, kapakları kapatılıp karıştırıldı ve hareketsiz bir şekilde 20 dk bekletildi. Bu işlemler için zaman önemli olduğundan bir kronometreden yararlanıldı. 20 dk sonunda tüpün dibine çöken tanelerin büyüklüğü 4-11 μm aralığında iken, aseton karışımında 4 μm 'den küçük taneler kalır. Karışım dikkatli bir şekilde boşaltılarak 4 μm 'nin altındaki taneler ayrılır. Tüplerde kalan örnek aseton ile yıkanarak behere konuldu ve kuruması için etüvde bekletildi. Örneğin konulacağı kabın hassas terazide ağırlığı ölçüldü. Beherde kuruyan örnek kabın içine yavaş yavaş ilave edildi. Burada amaç incelenecek örneğin ağırlığının 100 mg olmasıdır. 100 mg örneğe 50 ml aseton eklenerek bir solüsyon hazırlandı. 25 adet küçük boy cam tüp alınarak (yaklaşık 5 ml hacminde) her birinin tabanına birer adet disk yerleştirildi. Bu cam tüplerin içine 2 ml aseton enjekte edildi. Sonra aseton-örnek karışımından da 1 ml (2 mg

örnek) eklendi. Bu işlemler sırasında parçacıkların tabana çökmesini engellemek için solüsyon her defasında karıştırıldı. 25 tüpten oluşan tabla, tüplerdeki asetonun buharlaşması için 45 °C ye ayarlanmış etüve yerleştirildi ve bir gün beklendi. Asetonun buharlaşmasıyla solüsyon içindeki 4-11 µm büyüklüğe sahip örnek ince ve homojen bir tabaka şeklinde disklerin üzerine çöker. Bu aşamalardan sonra örnekler TL ölçüm almaya hazır hale gelir.

3.3 Eşdeğer Doz Belirleme Yöntemleri

3.3.1 Tek tablet yeniden dozlama yöntemi (SAR)

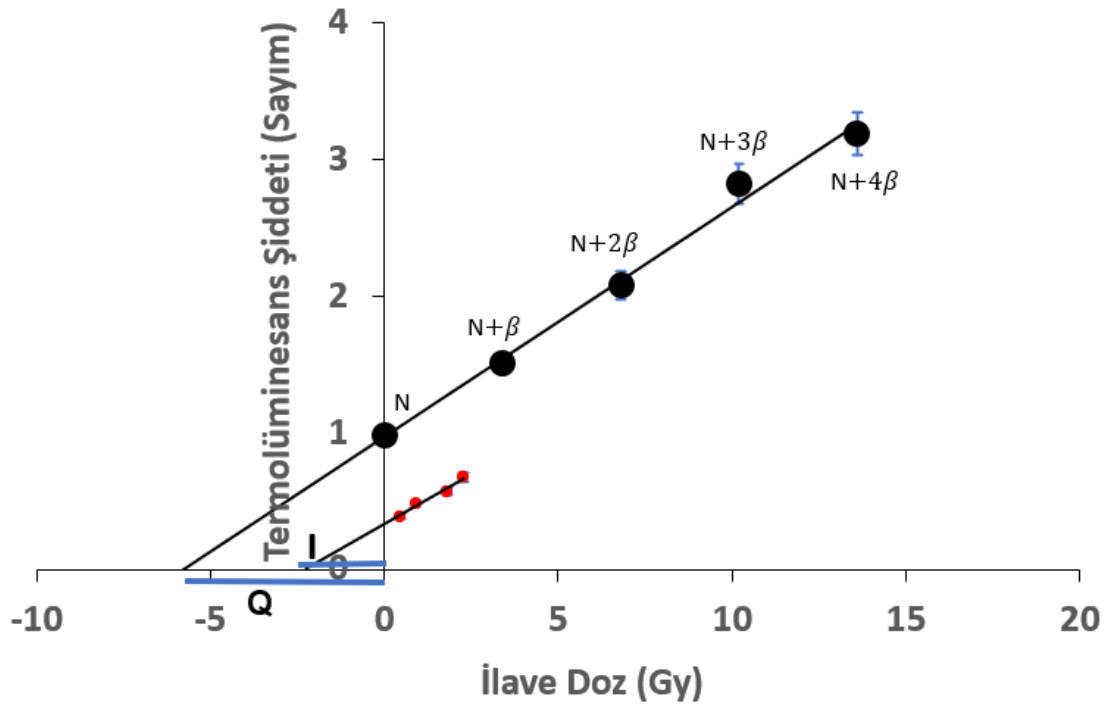
Murray ve Wintle (2000) tarafından geliştirilen SAR yöntemi, tek bir diske konulan örneğin yenilenen bir doz sürecine tabi tutularak oluşturduğu lüminesans sinyallerinin ölçülmesine dayanır. Yöntemin ilk adımı tek diske konulan örneğin yapay laboratuvar dozuna maruz kalmadan direkt olarak lüminesans ölçümünün alınmasıdır. Bu durumda örnek sadece doğal radyasyon dozunu soğurmuş olduğundan lüminesans ölçümü doğal radyasyon dozu hakkında bilgi verir ve bu doz eşdeğer doza karşılık gelir. Bu eşdeğer dozu ölçmek için aynı örneğin farklı verilerine de ihtiyaç vardır. Bu verileri elde edebilmek için örneğe farklı yapay laboratuvar dozları verilir ve bu dozlara karşılık gelen lüminesans ölçümleri kaydedilir. Örneğe yapay radyasyon dozu verilmeden önce ön ısıtma işlemi uygulanır. Böylece bilinen dozlara karşılık gelen lüminesans sinyalleri elde edilir. Sonuç olarak bir doz-cevap eğrisi elde edilir. Bu grafik kullanılarak eşdeğer doz (E_d) interpolasyon (ara değer kestirimi) yöntemiyle belirlenir. Eşdeğer doza ve verilen yapay radyasyon dozlarına karşılık gelen lüminesans değerleri kaydedilir. SAR yöntemi kullanılarak çizilen doz-cevap grafiği şekil 3.18’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.18 SAR yöntemi kullanılarak eşdeğer doz hesabı için oluşturulan doz-cevap grafiği temsili olarak çizilmiştir. İçi dolu noktalar verilen deneysel doz değeridir. Bu noktalara en uygun lineer fit doğrusu çizilmiştir.

3.3.2 Çok tablet ilave doz yöntemi (MAAD)

Lüminesans tarihlendirme işlemlerinde sıklıkla kullanılan diğer yöntem çok tablet ilave doz yöntemidir. Bu yöntem ilk olarak 1960'larda TL tarihlendirmesi için kullanılmıştır. Bu yöntemde lüminesans ölçümü için birçok disk hazırlanır. Bu hazırlanan diskler birkaç gruba ayrılır. Bu diskler ön ısıtma ve normalizasyon işlemleri uygulandıktan sonra örnek gruplarından biri hariç diğer gruplara farklı yapay laboratuvar dozları verilir. Gruplar, verilen yapay radyasyon dozlarına karşılık gelen lüminesans sinyali yayınlar. Yapay radyasyon dozu verilmeyen grupta örnek sadece doğal radyasyon dozuna sahiptir. Bu eşdeğer doza karşılık gelen lüminesans şiddeti ölçülür. İlave doz verilen gruplara ait lüminesans şiddetleri de kaydedilir. Bu veriler ile doz-cevap grafiği çizilir. Grafikte, ilave dozlara karşılık gelen lüminesans değerlerinin kesişim noktaları elde edilir. Bu noktalardan geçen en uygun doğru çizilir. Bu doğrunun ilave doz ekseninin kestiği nokta eşdeğer doz değerini verir. Yani bu grafik kullanılarak eşdeğer doz (E_d) ekstrapolasyon (dış değer kestirimi) yöntemiyle belirlenir.



Şekil 3.19 MAAD yöntemi kullanılarak eşdeğer doz hesabı için oluşturulan doz-cevap grafiği

Şekil 3.19'da, $N+\beta$, $N+2\beta$, $N+3\beta$, $N+4\beta$ örneğe verilen ilave doz değerini gösterir. Bu dozlara karşılık gelen lüminesans değerleri kaydedilir. Eşdeğer doz (paleodoz) Q ve I değerlerinin toplanmasıyla ($P = Q + I$) hesaplanır. Burada I , doz cevap eğrisinin doğrusallık düzeltmesidir. Düşük dozlar için termolüminesans şiddetinin artan doz ile artmasının supralineer olmasından dolayı paleodoz hesabında düzeltme faktörü eklenir.

Örneğin yaşını belirlemek için eşdeğer doz bilgisine ihtiyaç vardır. Eşdeğer doz, ısı ile uyarılma sonucu mineralin kristal yapısındaki tuzaklardan serbest kalan yüklerin yaydığı lüminesans şiddetine bağlıdır. MAAD yönteminde aynı örnekten alınsa bile, disklerle konulan örneğin kütle farklılığı, radyasyon dozundaki farklılıklar, örneğin lüminesans hassasiyeti gibi etkenlerden dolayı normalizasyon işlemine gerek vardır. SAR yönteminin, MAAD yöntemine göre avantajı normalizasyon işlemine gerek olmaması ve hassasiyet probleminin olmamasıdır. Bu nedenlerden dolayı SAR yönteminde örnek hazırlama süreci MAAD yöntemine göre daha kolaydır. MAAD yönteminin SAR yöntemine göre avantajı ise; daha kısa sürede sonuç alınmasının mümkün olmasıdır (Gattuso vd. 2012).

3.4 Eşdeğer Dozun Hesaplanmasını Etkileyen Faktörler

3.4.1 Plato testi yöntemiyle ön ısıtma sıcaklık ve süresinin tespiti

Lüminesans tarihlendirme yöntemleri örneğin kristal yapısındaki derin tuzakların uyarılması sonucu oluşan lüminesans ışımasına dayanır. Örneğin yaşı hakkındaki bilgiye bu lüminesans ışımasından ulaşılır. Kristal yapısında herhangi bir uyarıcı etki bulunmadan ve düşük sıcaklıklarda boşalan tuzaklarda vardır. Bu tuzaklara kararsız (sığ) tuzaklar denir ve bu tuzaklarda bulunan elektronların yaşam süresi kısadır. Lüminesans tarihlendirmenin doğru yapılabilmesi için bu kararsız (sığ) tuzaklardan kaynaklanan lüminesans sinyallerinin silinmesi gerekir. TL ışımasının güvenilir bilgi vermesi için örnekler ölçüm işleminden önce ön ısıtma işlemi uygulanır. Bu işlem sırası uygulandığında TL sinyalinin doğruluk hassasiyetinin arttığı gözlemlenmiştir. Örnek 20°C sıcaklıkta bekletilirse 110°C’de pik oluşturacak tuzaklar yaklaşık 3.5 saat içinde boşalacaktır. Bunun anlamı 110°C de tuzakların ömürleri yaklaşık 3.5 saattir. Bu nedenle bu pik örneğin laboratuvar koşullarında ışınlaması durumunda kısa bir süre içinde ölçülmesiyle gözlemlenir ve yaşam ömrünün kısa olması sebebiyle doğal radyasyon dozunun ölçülmesinde kullanılmaz (Seeley 1975). Kararsız tuzakların TL sinyaline katkısı örneğe ön ısıtma işlemi uygulanmadığı zaman da silinebilir. Bunun için TL ışıma eğrisindeki piklerden kararsız tuzaklara ait olan pikler hesaplamalarda kullanılmaz.

TL ölçümleri için tarihlendirmede dikkate alınacak sıcaklık aralığı plato testi yöntemiyle belirlenir. Plato testi sonucunda elde edilen sıcaklık aralığı kararsız (sığ) tuzaklardaki sinyal katkılarından kurtulmayı sağlar. Plato testi için örnek disklerden biri yapay radyasyon dozuna maruz bırakılmadan kendi doğal dozundayken TL ölçümü yapılır. İçinde aynı örneğin olduğu başka bir disk doğal radyasyon dozu korunarak, belirlenen bir beta dozuna maruz bırakılır. İlave doz verilmiş örneğin TL ölçümü kaydedilir. TL verilerinin değişen sıcaklığa bağlı olarak, doğal doz/doğal doz + β dozu oranına göre sıcaklık-TL grafiği çizilir. Bu grafikte sıcaklık artmasına rağmen değişmeyen kararlı bir bölge vardır ve bu bölgeye plato bölgesi denir. Plato bölgesi derin tuzakların bozunmadan kaldığı bir bölgeyi gösterir. Plato bölgesinin gösterdiği sıcaklık aralığında tuzakların yaşam ömrü güvenilir yaşı tespit edilmesinde

kullanılacak kadar uzundur. Bu nedenle tarihlendirmede plato bölgesinin gösterdiği sıcaklık aralığı kullanılır.

OSL tekniğiyle yapılacak tarihlendirmede ön ısıtma değerlerinin belirlenmesi plato testi yerine bir dizi deneyle belirlenir. Ön ısıtma testi için örnek seçilen bir süre boyunca farklı sıcaklıklarda fırınlanır ve lüminesans ölçümleri kaydedilir. Lüminesans sinyali sıcaklığa göre değişim gösterir. Bu değişimin grafiği çizilir. Örneğe verilen sıcaklık arttıkça kaydedilen lüminesans şiddeti genellikle düşer. Ancak verilen sıcaklığın artmasına rağmen, kaydedilen lüminesans şiddetinin değişmediği neredeyse sabit kaldığı kararlı (plato bölgesi) bir bölge bulunur. Bu plato bölgesinin başladığı yere kadar olan lüminesans şiddetindeki azalma kararsız (sığ) tuzakların boşalmasına denk gelir. Plato bölgesinin bittiği yerde başlayan lüminesans şiddetindeki azalma ise asıl yaş bilgisini verecek olan tuzakların boşalmasını temsil eder. Bu nedenle genellikle plato bölgesinin orta noktası ön ısıtma sıcaklığı olarak alınır. Lüminesans sinyali grafiğinde sığ tuzaklardan kaynaklanan kararsız piklerin yarı ömürleri dakika ya da saat mertebesindeyken, derin tuzaklardan kaynaklanan kararlı piklerin yarı ömürleri ise yüzlerce ya da binlerce yıl mertebesinde dir.

3.4.2 Normalizasyon

Diskler hazırlanırken, diskler e konulan örneğin eşit ağırlıkta olmasına dikkat edilir. Ancak her diskin aynı lüminesans hassasiyetine sahip olduğu söylenemez. Bunun nedeni diskler e konulan örnekteki mineral tanelerinin hepsinin eşit ağırlıkta olmamasıdır. Bu nedenle aynı gruptaki diskler e eşit ilave doz verilse bile bu dozlara karşılık gelen lüminesans sinyal değerleri aynı olmayacaktır. Bu eşitsizliği ortadan kaldırmak için kullanılan en uygun yöntem diskler e normalizasyon işleminin uygulanmasıdır. Bu işlem için diskler uyarıcı kaynağa kısa bir süre maruz bırakılarak, lüminesans sinyalleri ölçülür. Bu uyarıcı kaynağa maruziyet, lüminesans sinyal şiddetinde oluşacak azalma miktarının %1 ya da %2'den daha fazla olmamasını sağlayacak kadar kısa olmalıdır (Aitken 1998).

Normalizasyon işlemi sonucunda her disk için ayrı elde edilen normalizasyon katsayısı denklem (3.1), (3.2), (3.3) kullanılarak hesaplanır:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} \quad (3.1)$$

$$F_i = \frac{\bar{N}}{N_i} \quad (3.2)$$

$$L_i = F_i S_i \quad (3.3)$$

Bu denklemlerde değişkenler şu şekilde tanımlanır:

i: disk numarası (i= 1,2,...,n)

n:toplam disk sayısı

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

N_i : i'nci disk için normalizasyon sayımı

F_i : i'nci disk için normalizasyon katsayısı

S_i : i'nci disk için normalize edilmemiş lüminesans sayımı

L_i : i'nci disk için normalize edilmiş lüminesans sayımı

Bir disk için doğru sayım değeri olan normalize edilmiş lüminesans sayım değeri o disk için normalizasyon katsayısı ile aynı disk için normalize edilmemiş lüminesans sayımının çarpılmasıyla elde edilir.

3.5 Yıllık dozu etkileyen faktörler

Menzil bir parçacığın tüm enerjisini kaybedinceye kadar madde içinde aldığı yoldur. Kütlesi ağır olan alfa parçacığı malzeme içinde yavaş ilerler ve diğer radyasyon türlerine göre çok daha fazla iyonlaştırma yaparak tüm enerjisini hızla kaybeder. Alfa, beta parçacıklarının ve gama ışınlarının menziline toprak içinde sırasıyla 20 µm, 3 mm ve 30 cm civarında olduğu belirlenmiştir (Aitken 1985).

Doğal radyasyon dozunun önemli bir kısmını ortamda bulunan uranyum ve toryum bozunma zincirlerinden yayınlanan alfa parçacığı oluşturur ve bu parçacık örneğin dokusu tarafından daha fazla soğurulur. Bu durumun sebebi alfa parçacığının diğer radyasyon parçacıklarına göre menziline (20-50 µm) daha kısa olmasıdır. Kuvars ve feldspat tanelerinin çapı 100 µm civarında olduğu için tanelerin dış parçaları alfa radyasyonunu alacaktır. Bu radyasyon katkısı hesaplanabilir ve etkisi ölçülebilir ya da örneğin dış tarafı kazınarak alfa parçacıklarının katkısı silinebilir. Böylece en hassas TL

malzemeler radyasyonun bu önemli bileşeninden korunur. 100 µm'den daha büyük taneler için alfa parçacıklarının bu katkısı önemli değildir ve bu tanelere mineral ayırma teknikleri daha kolay uygulanabilir. Bu durumlarda örneğin dokusu beta, gama radyasyonundan ve kozmik ışıklardan etkilenir. Alfa kaynağının etkisinin ihmal edildiği durumda alfa zayıflatma katsayısı literatürden uygun bir şekilde seçilir. Aitken (1985) tarafından belirtildiğine göre alfa zayıflatma katsayısı 0,15 olarak alınmıştır. Bu tez çalışmasında alfa zayıflatma katsayısı Dose Rate Calculator (DRC) programı ile hesaplanmıştır.

Gama radyasyonu çoğunlukla örneğin çevresindeki radyonüklit konsantrasyonundan kaynaklanır küçük bir kısmı ise kozmik radyasyon kaynaklıdır. Uranyum ve toryum içeriği alfa sayım cihazıyla, potasyum içeriği kimyasal analizle belirlenir. İnce taneli tarihlendirmede TL ölçümleri örneğin ezilerek 20 µm altında tanecikleriyle elde edilir (Aitken 1968).

3.5.1 Nem etkisi ve tespiti

Lüminesans tarihlendirmeyi doğru yapabilmek için çok sayıda parametreye dikkat etmek gerekir. Özellikle örneğin su içeriği doğru yaştan tespit edilmesinde sorunlara yol açmaktadır. Aslında yaş hesaplanmasında örnek için ortalama bir nem değeri varsayılabilir ancak örneğin yıllar içindeki nem değişimi hakkındaki bilgi eksikliği yaş hesabında sorun olmaktadır. Su içeriğinin ve zaman içindeki değişiminin belirlenebileceği çeşitli yöntemler vardır. Bu yaklaşımlardan biri örnek hazırlandıktan sonra doğrudan fiziksel ölçümünün sağlanmasıdır. Diğer yöntem ise deneysel olarak su alma kapasiteleri belirlenerek örneğin su içeriği hakkında bilgi edinmektir. Uzun süreler boyunca iklim değişikliğinin potansiyel etkilerini belirlemek zordur. Örnekler için su içeriğindeki değişiklikler ve diğer kompleks faktörlerle ilgili belirsizlikler çevresel doz hızına bağlı olarak ortadan kaldırılabilir (Gueli vd. 2017).

Örnek içeriğinde su bulunması örneğin bir yılda soğurduğu radyasyon dozunu yani yıllık dozu etkileyecektir. Örnek dokusu içindeki su örneğin kendisinden daha fazla radyasyon soğurabilir. Bu durum örneğin birim kütlesinde radyoelement konsantrasyonunda ve radyasyon soğurmasında azalmaya neden olur (Aitken 1985). Bu nedenle potasyum, toryum, uranyum radyoizotoplarından ve kozmik ışıktan

kaynaklanan yıllık doz hızı hesaplanırken, su içeriğinde dikkate alınmalıdır (Nelson ve Rittenour 2015).

Örneğin içindeki su içeriği, radyoelementler tarafından yayınlanan radyasyon enerjisine göre kristal dokusu tarafından daha az enerjinin soğurulmasına neden olur. Bu durum yıllık doz hızının olduğundan daha az ölçülmesine neden olur. Örneğin içindeki su miktarı arttıkça mineral taneleri daha az radyasyon soğururlar. Su, örneğe kıyasla alfa, beta, gama radyasyonları için farklı soğurma katsayılarına sahiptir. Bu katsayılar örneğin toprak içinde bulunması durumunda sırasıyla %50, %25, %14 olarak belirlenmiştir.

Zimmerman, alfa, beta, gama radyasyonlarıyla ilgili düzeltme faktörlerini formülize edip, su ve örnek dokusu için soğurma katsayılarını hesaplamıştır. Bir örneğin su içeriğini hesaplamak için deneysel olarak iki parametre kullanılır. Bu parametreler aşağıdaki (3.4) ve (3.5) eşitlikleri ile tanımlanır:

$$W = \frac{\text{örneğin sulu haldeki ağırlığı} - \text{kuru ağırlığı}}{\text{kuru ağırlığı}} \quad (3.4)$$

$$F = \frac{\text{örneğin alındığı yerdeki ortalama su içeriği}}{\text{örneğin su içeriği}} \quad (3.5)$$

Bu denklemlerde W örneğin kütlece maksimum su tutma oranı, F ise; çevre şartlarına göre maksimum su tutma oranıdır. F değeri örneğin doğal radyasyon dozunu soğurduğu süre boyunca, örneğin alındığı yerdeki ortalama su içeriğiyle ilgilidir. F değeri, iklim koşullarına, toprak özelliklerine ve su kirliliğine bağlıdır (Gueli vd. 2017). Bu iki değer çarpımıyla örneğin kütlece su tutma miktarı belirlenir. Nem etkisinin hesaba katılması (W.F) durumunda doz hızları (3.6), (3.7) ve (3.8) eşitlikleri ile tanımlanır:

$$D_{\alpha, \text{nemli}} = \frac{D_{\alpha, \text{kuru}}}{1 + 1.5 * W * F} \quad (3.6)$$

$$D_{\beta, \text{nemli}} = \frac{D_{\beta, \text{kuru}}}{1 + 1.25 * W * F} \quad (3.7)$$

$$D_{\gamma, \text{nemli}} = \frac{D_{\gamma, \text{kuru}}}{1 + 1.14 * W * F} \quad (3.8)$$

W değerini deneysel olarak hesaplayabilmek için örnek ağırlığı ölçülmüş krozelere konulur. Sonra saf suyla ıslatılarak suya (neme) doyurulur ve bu durumdayken tartılır.

Sonra krozelerin darası çıkarılarak nemli örnek kütlesi hesaplanır. Daha sonra örnek fırında tamamen kurutularak tekrar tartılır ve aynı işlemlerle kuru örnek kütlesi belirlenir. Bu kütleler arasındaki fark hesaplanarak W değeri tespit edilir. F değeri birçok parametreye bağlı olarak 0 ile 1 arasında uygun bir değer alınarak seçilir. Örneğin bulunduğu çevre sulu değilse, kurak ve çorak bir araziden örnek alınmışsa F değeri 0 seçilir. Örnek bir su ortamından (göl, deniz vb.) alınmışsa yada bol yağış alan nemli bir bölgeden alınmışsa F değeri 1 seçilir (Şahiner 2015).

3.5.2 Radon gazı etkisi

TL tarihlendirmede yıllık doz değerlendirilirken, nemli toprağa gömülü örnekler için radon gazı kaçıışı olmadığı varsayılır. Bu durumun nedeni örneğin içindeki gözeneklerde hava yerine su olduğu için, örnekten dışarıya gaz kaçıışı büyük ölçüde engellenir. Ancak yapılan deneysel çalışmalarla, toprağın suya doymun halde olduğu ortamlarda bile önemli miktarda radon gazı kaçıışı tespit edilmiştir (Desal ve Aitken 1974).

Rn izotopları, Th^{232} , U^{235} , U^{238} radyoizotoplarının bozunma zincirlerinde oluşur ve farklı yarılanma ömürlerine sahiptir. Bu yarılanma ömürleri Rn^{219} için 3.96 saniye ve Rn^{222} için 3.83 gün aralığında değişir. Rn^{222} radyoizotopu, uzun yarılanma ömrüne sahip olması sebebiyle örnekteki gözeneklerden atmosfere kaçabilir. Bu durumda bozunma zincirinin radonun ortaya çıktığı yerden sonraki radyoelementleri örnekten uzaklaşacak, bozunma zincirinde dengesizlik olacak ve yıllık doz oranı düşecektir (Duller 2008). Radon gazının tamamen örnekten uzaklaştığı durumda yıllık doz ölçümü ince taneli (1-20 μm) örneklerde yaklaşık %25'lik, iri taneli örneklerde yaklaşık %20'lik bir azalmayla belirlenir ve tarihlendirme hesaplarında %5'lik bir hata meydana gelir (Aitken 1985).

3.5.3 Kozmik ışın katkısı

Kozmik ışınlar güneş sistemi dışından dünyaya gelen parçacıklardır. Uzaydan dünyaya gelen bu radyasyon özellikle toprağın derinliklerine nüfuz edebilen müon akısıyla belirlenir. Atmosferde bulunan gazlar ve dünyanın manyetik alanı nedeniyle kozmik ışınlar az miktarda dünyaya ulaşır. Dünyanın manyetik alanı tarafından sağlanan koruma enleme bağlı olarak değişir. Doz oranı kutuplara yakın bölgelerde artış gösterirken, rakım arttıkça da artış gösterir.

Yıllık doza katkısı, genellikle az olmasına rağmen ihmal edilemez ve dünya üzerindeki bir noktanın yükseklik (rakım), enlem ve derinlik parametrelerine göre değişir. Kozmik ışınlar ekvatora yakın bir bölgede deniz seviyesine göre toprağın 10 metre derinliğinde %35 civarında zayıflatılır (Prescott ve Hutton 1994).

3.6 Kullanılan Cihazlar

3.6.1 Elsec 9010 Osl Sistemi ve Işınlayıcı

ELSEC 9010 lüminesans tarihlendirme sistemi, 1990 yılında M.J. Aitken ve N.A.Spooner tarafından geliştirilmiştir. ELSEC 9010 sistemi, bilgisayar kontrol birimi, arayüz kısmı, örnek tepsisi, örneği uyuracak birim ve fotoçoğaltıcı tüp ünitelerinden oluşmaktadır. Bilgisayar kontrol sistemi kullanılarak, örnek tepsisine konulan örneklerin gruplar halinde ne kadar doz alacağı belirlenir ve ışınlama bu kontrol sistemiyle başlatılır. Arayüz ünitesinde, LED akımı, şiddeti ve örneğin sıcaklığı için göstergeler vardır. Bu ünite kullanılarak akım ve şiddet değerleri ayarlanabilir. Lüminesans ölçümü yapılmaya hazır hale getirilen örnekler, silikon spreyci kullanılarak alüminyum disklerle yapıştırılır. Bu diskler, 64 örnek taşıma kapasitesine sahip örnek tepsisine yerleştirilir. Örnek tepsisi, ELSEC cihazındaki tepsi için uygun bölüme yerleştirilir. Bilgisayar kontrol sistemi kullanılarak, örnek tepsisinin X-Y düzleminde hareket etmesi sağlanır. Bu hareketin sebebi, ölçümü yapılacak olan diskin beta kaynağı altına gelecek şekilde yer değiştirmesini sağlamaktır. Örneklerin uyarılmasını sağlayacak birim ve fotoçoğaltıcı tüpü bulunduran silindirik kısım çıkarılıp yerine beta ışın kaynağı yerleştirilerek dozlama sistemine dönüştürülür. Örnekler, Sr^{90}/Y^{90} beta kaynağıyla ışınlanır.



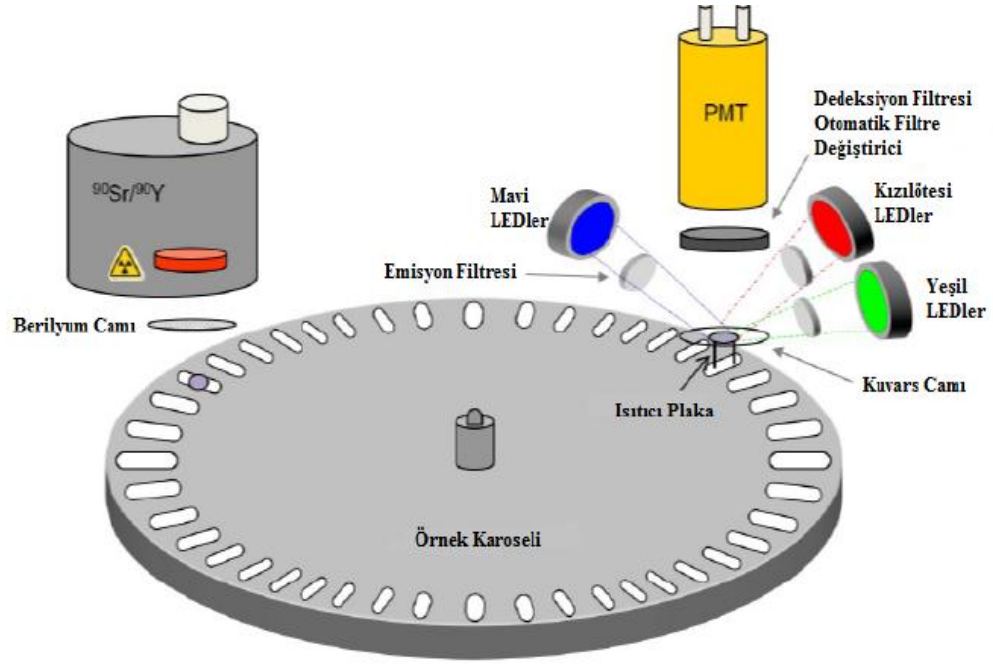
Şekil 3.20.a Elsec 9010 OSL sayım sistemi



Şekil 3.20.b Elsec 9010 OSL sisteminin beta kontrol kaynağını içeren ışınlama ünitesi

3.6.2 Risø TL /OSL okuyucu cihazı

Risø TL/OSL okuyucu, termolüminesans (TL) ve Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) sinyallerinin otomatik olarak ölçümünü sağlar. Ölçüm sistemi son derece hassas olup, referans bir radyasyon kaynağı içermektedir. Radyasyondan korunma, kaza dozimetresi, adli uygulamalarda, jeolojik ve arkeolojik tarihleme alanlarında doğal ve yapay malzemelerdeki radyasyon dozunun belirlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Riso TL/OSL okuyucunun geliştirilmesi ilk olarak 1982 yılında cihazın TL okuyucu platformunun geliştirilmesiyle başlamıştır. Cihaz, 1991 yılında OSL ölçümlerini sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Cihaz, 48 örnek kapasitesine sahip bir karoseli otomatik olarak döndürerek, her örneğin çeşitli ışık kaynaklarıyla uyarılmasını sağlar. Aynı zamanda örnek karoselinin üzerindeki ısıtıcı plaka sayesinde örnekler 700 °C' ye kadar ısıtılabilir. Yani TL ölçümleri için ısıtma sistemi kullanılırken OSL ölçümleri için ise farklı dalgaboyu ve frekanslara sahip LED'ler kullanılır. Cihaz farklı optik algılama filtrelerinin takılmasına izin veren filtre tutucuya ve fotoçoğaltıcı tüp (PMT)'ye sahiptir. Bu tez kapsamında kullanılan cihazdaki referans radyasyon kaynağı, Sr^{90}/Y^{90} beta kaynağıdır. Sistemde kullanılan yazılım Sequence Editor programı ve kontrol programıdır. Sequence Editor programı, istenilen TL/OSL ölçüm prosedürünün ayrıntılı bir şekilde belirlenmesine olanak sağlayan MS Windows yazılımıdır. Ölçüm işlemi sırasında TL/OSL sinyalleri bilgisayar ekranında izlenebilir. Kontrol programı ise okuyucu birimlerinin test edilmesine olanak sağlar.



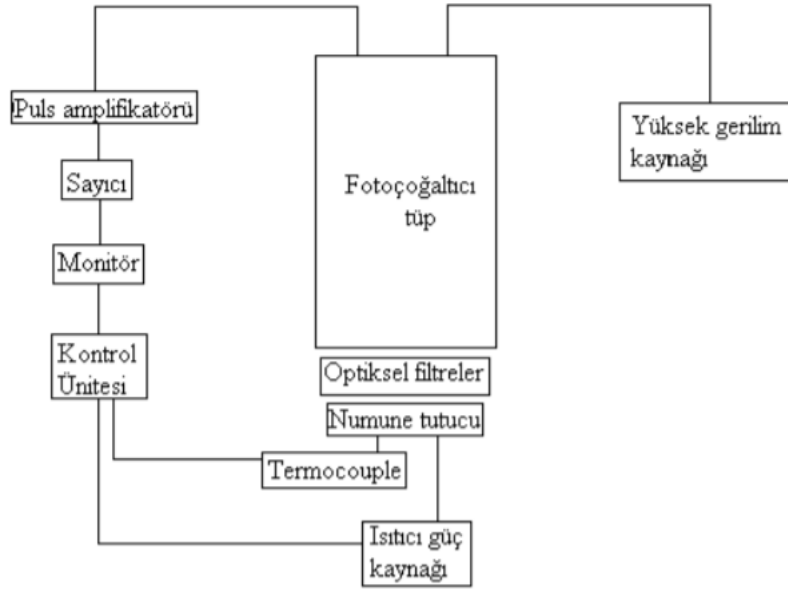
Şekil 3.22 Risø TL / OSL okuyucunun şematik gösterimi (Anonymous 2017)

3.6.3 Harshaw 3500 Model TLD Okuyucu

HARSHAW TLD 3500 model okuyucu, tek bir örnek diski için paslanmaz çelikten oluşan bir çekmece (planchet), doğrusal ve programlanabilir ısıtma sistemi, soğutmalı fotoçoğaltıcı tüp ve ışığı ölçmek için uygun elektronik yapılar içerir. Okuyucu kullanılan TLD kristallerinin soğurduğu dozları okumayı sağlar. Okuyucu WinREMS yazılımı tarafından işletilir. WinREMS, TLD okumalarına ait lüminesans eğrilerini oluşturup analiz eden programdır. Okuyucunun temel çalışma prensibi TL olayı ile ortaya çıkan TL fotonların oluşturduğu gerilimin ölçülmesidir. Program sayesinde ön ısıtma sıcaklığı ve zamanı, maksimum okuma sıcaklığı, ısıtma hızı, tavlama sıcaklığı ve zamanı ayarlanabilmektedir. Cihaz, TL lüminesansı ölçebilmek için programlanabilir sıcaklık sistemine ve soğutma yapan fotoçoğaltıcı tüpe sahiptir. 600 °C'ye kadar ısıtma kapasitesi vardır (Harshaw 3500 Manual, 2011).



Şekil 3.23 Harshaw 3500 model TLD okuyucu sistemi



Şekil 3.24 TLD okuyucu sisteminin çalışma mekanizması (Atlıhan 2008)

3.6.4 Fotoçoğaltıcı tüp (PMT)

Termolüminesans ışığın yüke çevrilmesi işlemi fotoçoğaltıcı tüp ile gerçekleştirilir. Foto çoğaltıcı tüp bir fotonun soğurulmasının bir elektron yayınlanmasıyla sonuçlandığı bir cihazdır. Bu detektörler, bir foton akısına maruz kalan fotokatot tarafından üretilen elektronları çoğaltarak çalışır. Fotoçoğaltıcı tüpler, fotokatot adı verilen cam veya kuvars pencereden oluşan ışığa duyarlı bir yüzeyden ışık alırlar. Gelen foton soğurularak enerjisi katottaki elektrona aktarılır, bu elektronda bir elektrik alanının

etkisiyle ivmelendirilerek metal kanal dynodelarına çarptırılır. Dynot yüzeyi iş fonksiyonu düşük seviyelerde olan maddelerden seçilerek çok sayıda elektronun salınması sağlanılabilir. Dynot zincirinin sonunda bir anot veya toplama elektrodu vardır ve elektronlar anotta ölçülebilen bir yük değeri oluştururlar. Geniş bir aralıkta anottan toprağa akan akım, fotokatod tarafından üretilen fotoelektron akısıyla doğru orantılıdır.

3.6.5 Radwag mac 50 nh nem tayin cihazı

Nem tayin cihazları, çeşitli malzemelerin küçük örneklerinin içeriğindeki bağıl nem oranını ölçen cihazlardır. Cihazın içeriğinde bir alüminyum tartım kefesine ve örneği ısıtıcı birim bulunmaktadır. Nem içeriği, örnek maksimum 1.5 gram ağırlığındaysa %0.01 hassasiyetle ölçülür. Maksimum kurutma sıcaklığı 160°C'dir. Genellikle birkaç gram örnek alüminyum tartım kefesine konulur. Çalışma sıcaklığı ayarlandıktan sonra cihaz çalıştırılır. Cihaz örneğin ıslak ve kuru haldeki ağırlıklarını hesaplayarak nem oranını tespit eder.

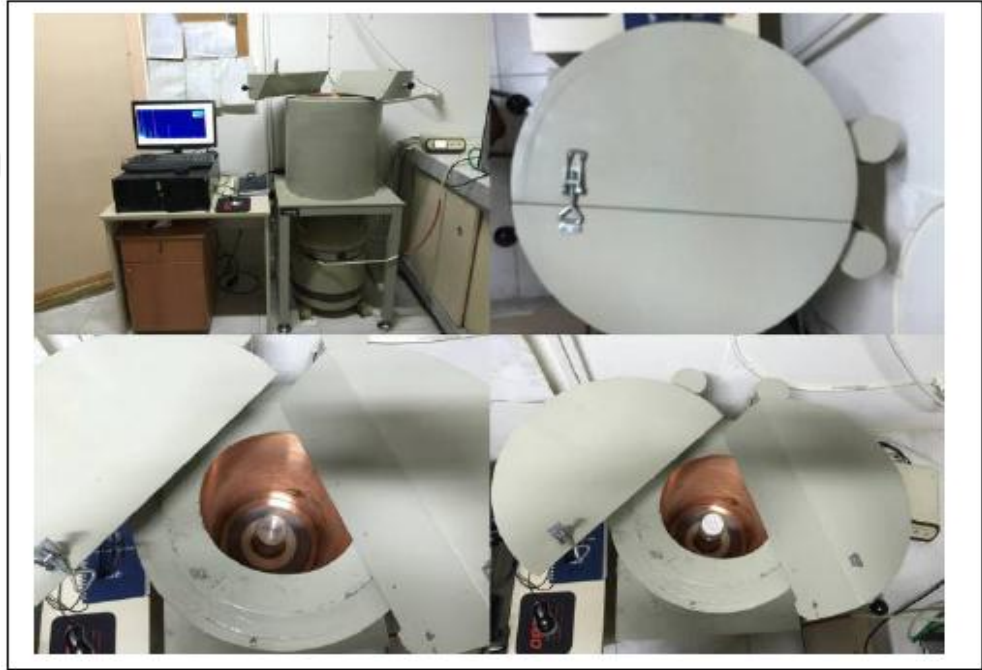
3.6.6 Gama spektrometresi sistemi

Yıllık doz değerinin bilinmesi için örneğin kendi içinde ve çevresindeki toprağın içeriğinde bulunan doğal radyoaktif elementlerin tespit edilmesi gerekir. Gama ışınlarının enerjisi, frekansı, yayınlanma olasılıkları atomik yapıya özgüdür ve farklıdır. Bu farklılıklar sayesinde gama ışınları yayınlandığı atomun tanımlanmasında kullanılır. Bu durumda radyonüklit belirlenmiş olur. Gama spektrometresi ile radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonu belirlenebilir. Bu çekirdekler U,Th ve K izotopları olup, bu radyoizotopların konsantrasyonlarını tespit etmek için %33 göreceli verime sahip ORTEC marka yüksek saflıkta germanyum (HpGe) dedektör kullanılmıştır. Dedektör 58.7 mm çapında, 52 mm uzunluğunda olup eş eksenli bir geometrik yapıya sahiptir. Bu dedektöre, 5.6 cm çapında ve 4.9 cm yüksekliğinde örneğin içinde yer aldığı silindirik kaplar konulur. Dedektörün kendisinin ve elektroniğinin termal etkilerden korunabilmesi için dedektör, -196°C'de sıvı azot kullanılarak çalıştırılır (Şahiner 2010).

Gelen gama ışını enerjisine bağlı olarak fotoelektrik, Compton saçılması ve çift oluşumu olaylarını gerçekleştirir. Bu olaylar sonucunda elektron-hol çiftleri elektrik sinyaline dönüştürülür. Bu sinyaller önyükseltece gelir. Bu sinyallerin genliği gelen gama ışın

enerjisiyle doğru orantılıdır. Önyükselteç sinyalin genliğini volt mertebesinde bir miktar büyütür ve sinyale belirli bir şekil verir. Daha sonra yükseltece gelen sinyal burada tekrar yükseltilecek puls yığılması engellenmiş olur. Daha sonra sinyal, sayısal sinyallere dönüşmesi için analog-sayısal dönüştürücüye (ADC) gelir ve son olarak spektrum analizinin kolaylıkla yapılabilmesi için çok kanallı analizöre (MCA) gelir ve bilgisayar ortamına aktarılır (Şahiner 2015).

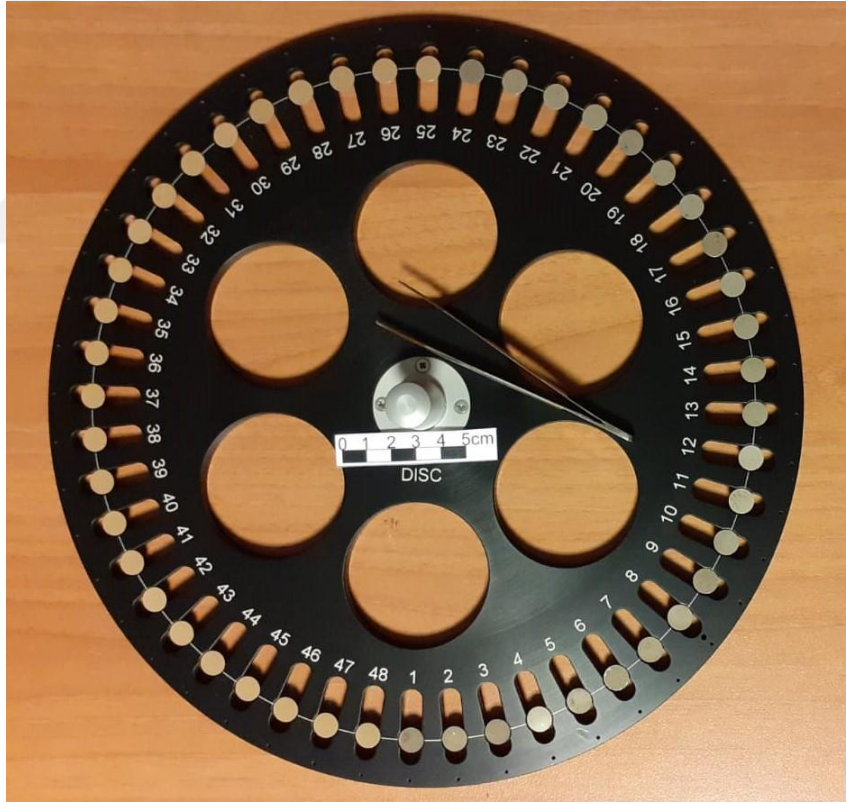
Yıllık doz ölçümünde, radon gazı kaçışını belirlemek için örnek önce yaklaşık 200 ml büyüklüğünde cam bir kaba konulur. Radon gazı kaçışını engellemek için kaptaki örneğin havayla teması kesilir. Kap sıkıca kapatılır ve kapak kısmı silikon maddeyle kaplanır. Bu şekilde örnek radyasyon denge konsantrasyonuna ulaşması için yaklaşık 1 ay beklemeye alınır. Bu durumda örnekten dışarıya çıkan radon gazı kap içinde birikecektir. Birikim zamanı ve kullanılacak dedeksiyonun verimi bilinerek radon gazının örnekten kaçma hızı belirlenir.



Şekil 3.25 Çalışmada radyonüklit analizinde kullanılan yüksek saflıkta Germanyum (HpGe) dedektörün görünümü

4. BULGULAR

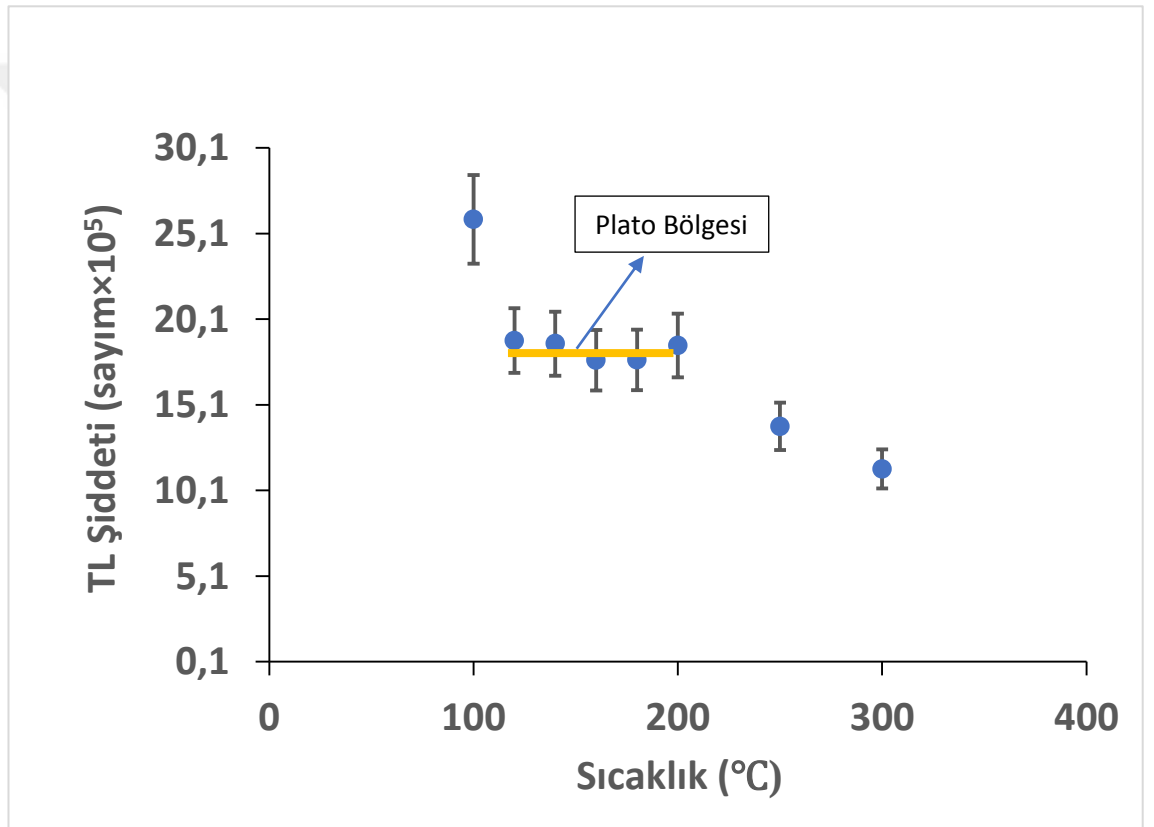
Bu tez kapsamında kullanılan örneklerin önce ışık görmemiş tarafı seçilip alınmıştır. Sonra, alınan parça dikkatlice kırılıp ezildi. Parça pudra haline gelinceye kadar ezme işlemi yapılmıştır. Ezme işleminden sonra tanelerin istenilen büyüklük aralığını elde etmek için eleme işlemini uygulanmıştır. Bunun için eleğe yerleştirilen örneğin mekanik hareketlerle elenmesi sağlanmıştır. Kullanılan elek, 20 µm altındaki tanelerin elde edilmesini sağlamıştır. Örneği, içerdiği kalsit ve organik bileşenlerden arındırmak için %10' luk hidroklorik asit (HCl) ve %30'luk hidrojen peroksit (H₂O₂) kimyasalları kullanılmıştır. Daha sonra saf su ile yıkanan örnek kuruması için 45°C'de etüvde bekletilmiştir. İnce tanecik (fine grain) tekniği kullanılarak tarihlendirme yapılmıştır. Bunun için tanecik boyutu 4-11 µm olarak seçilmiştir. Bu tanecik aralığı stokes yasası uygulanarak elde edilmiştir. Örnekler bu şekilde veri almaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.1 Risø TL/OSL okuyucuda ölçüm için hazırlanan örnek diskleri ve kullanılan örnek karuseli

4.1 Ön Isıtma Sıcaklığının Tespiti

Ön ısıtma sıcaklığının tespiti için bir örnek seçilerek 9.7 mm çapında 0.5 mm kalınlığında alüminyum diskler kullanılarak 24 adet homojen disk hazırlanmıştır. Örnek, bu diskler silikon sprej kullanılarak yapıştırılmıştır. Hazırlanan diskler 20 Gy doz verilmiştir. Daha sonra diskler 3'erli gruplar halinde ayrılarak, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C, 180°C, 200°C, 250°C, 300°C sıcaklıklarında 5 dakika bekletilmiş ve TL ölçümleri yapılmıştır. TL ölçümleri 600°C'ye kadar 5°C/s ısıtma hızıyla yapılmıştır. TL Şiddeti – Sıcaklık grafiği Şekil 4.2' de verilmiştir.



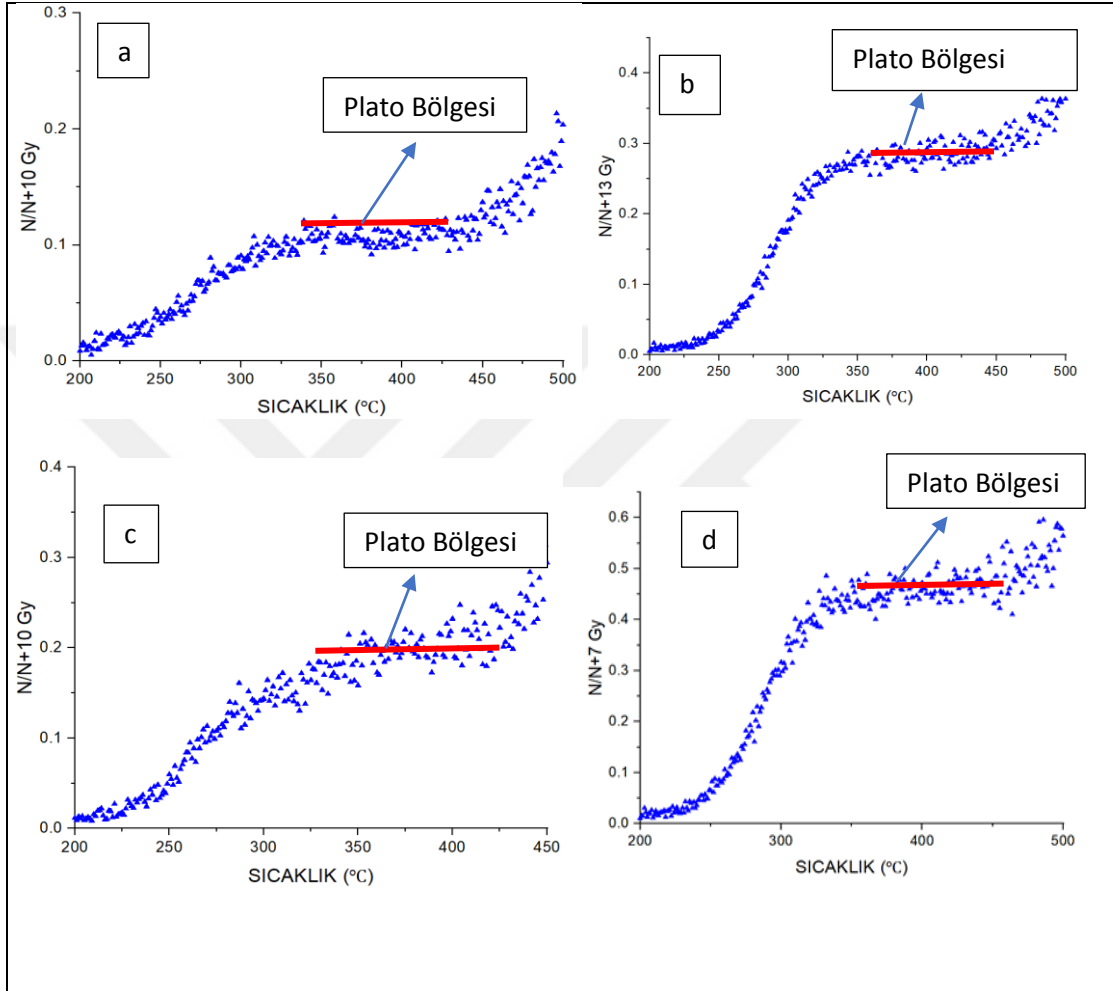
Şekil 4.2 Ön ısıtma sıcaklığının tespiti için TL sayım-sıcaklık grafiği

Ön ısıtma sıcaklığının tespiti için plato bölgesinden en uygun sıcaklık 200°C olarak belirlenmiştir.

4.2 Eşdeğer Dozu Belirlemek İçin Plato Bölgesinin Tespiti

TL tarihlendirmede dikkate alınacak sıcaklık aralığını belirlemek için plato testi uygulanmıştır. Bu plato testi ise hem eşdeğer doz hemde çalışılacak düzgün değişen bölge hesaplamasında kullanılacaktır. Plato testi kararsız (sıg) tuzaklardaki sinyal

katkılarından kurtulmayı sağlar. TL sayımlarının değişen sıcaklığa bağlı olarak, doğal doz/doğal doz+ β dozu oranına göre Sıcaklık-TL grafikleri çizilmiştir ve Şekil 4.4' te verilmiştir. Bu grafikte sıcaklık artmasına rağmen değişmeyen kararlı bölge plato bölgesi olarak alınmıştır.



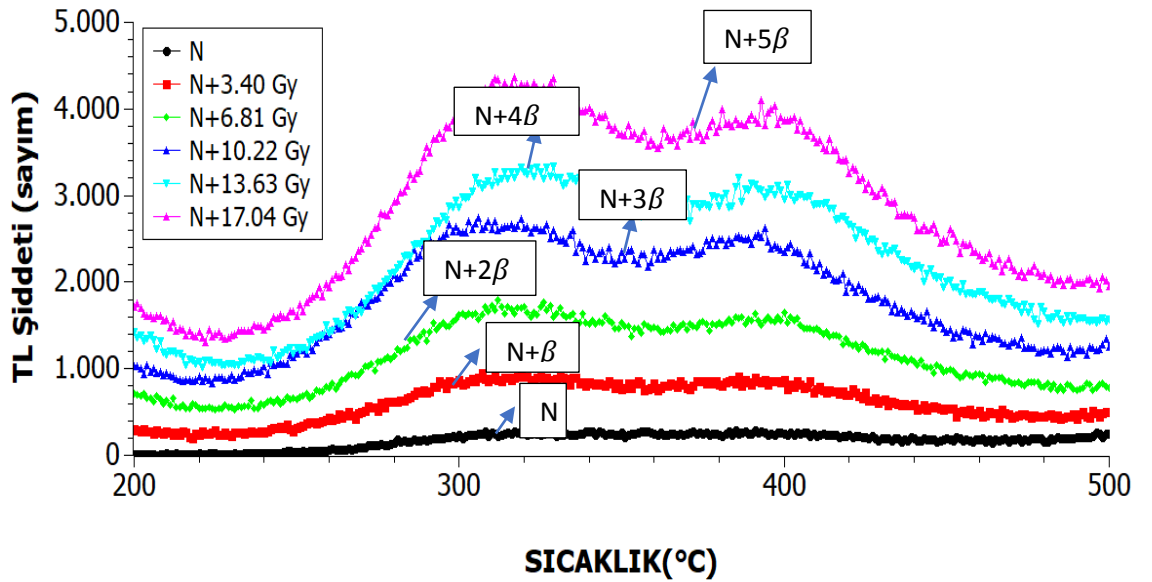
Şekil 4.4 (a) BBH.H1.TD.1 kodlu örnek için doğal ve doğal+10 Gy TL sinyallerinin birbirine oranları (b) BBH.S.TA.3 kodlu örnek için doğal ve doğal+13 Gy TL sinyallerinin birbirine oranları (c) BBH.O.TD.4 kodlu örnek için doğal ve doğal+10 Gy TL sinyallerinin birbirine oranları (d) BBH.Y1.TB.1 kodlu örnek için doğal ve doğal+7 Gy TL sinyallerinin birbirine oranları

Plato testi grafiklerinden kararlı bölge için yaklaşık 300-400°C aralığı alınmıştır. Bu kararlı bölge tüm örneklerin TL ölçümlerinde kullanılmıştır. TL tarihlendirmede 300-400°C arasındaki alan değeri dikkate alınmıştır.

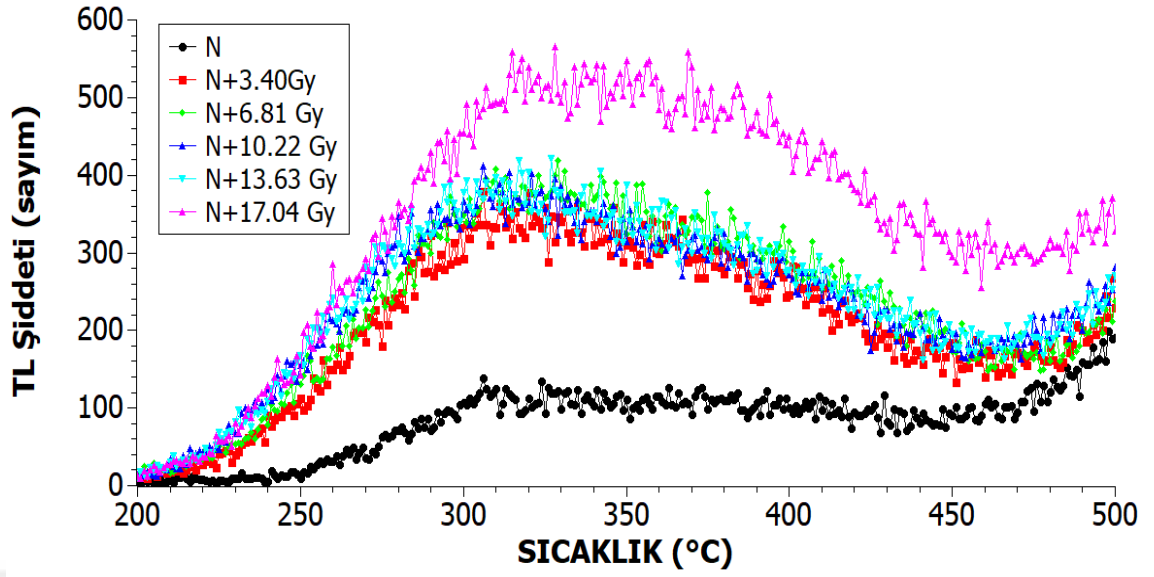
4.3 Doz-Cevap Grafikleri

4.3.1 Artan ilave doza karşılık doz-cevap grafikleri

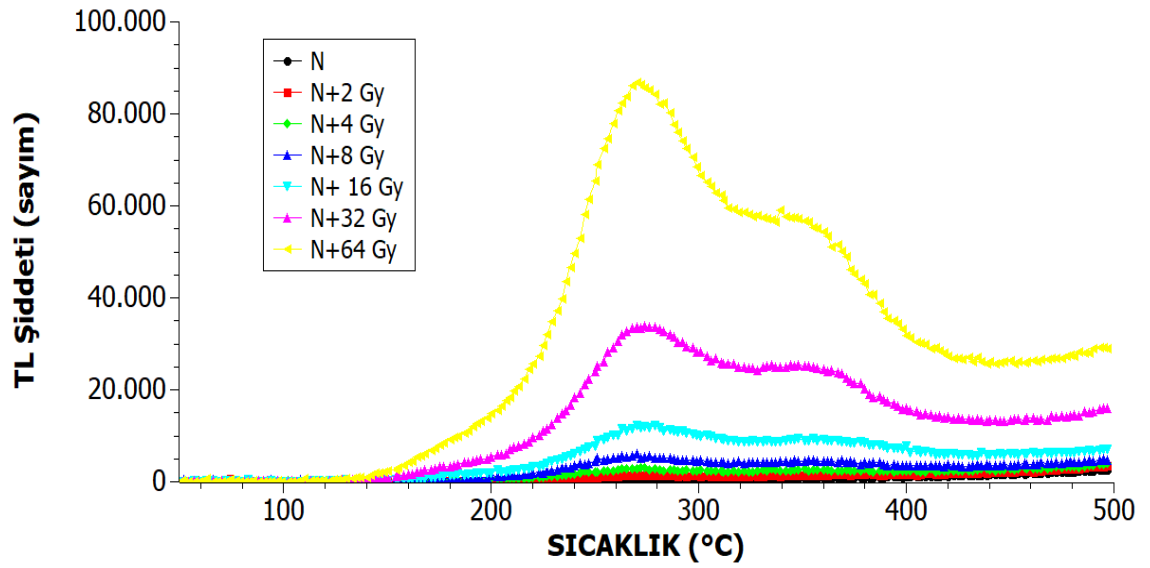
Beçin bölgesinden alınan örneklerle artan yapay radyasyon dozları verilmiştir. 9 tane örnek için sırasıyla 3.408 ± 0.17 Gy, 6.816 ± 0.34 Gy, 10.224 ± 0.51 Gy, 13.632 ± 0.68 Gy, 17.04 ± 0.85 Gy ilave dozları, 24 adet örnek disk 4'erli gruplandırılarak verilmiştir. BBH.H2.TD.3 ve BBH.Y2.TA.1 örneklerine sırasıyla 2 Gy, 4 Gy, 8 Gy, 16 Gy, 32 Gy, 64 Gy ilave dozları 24 adet örnek disk 3'erli gruplandırılarak verilmiştir. Her örneğin TL şiddetinin sıcaklıkla değişim grafiği çizilmiştir. Örneğin üzerine artan yapay radyasyon dozu verildikçe okunan TL şiddetinin artışı görülmüştür. Background ışıması (kara cisim ışıması) termodinamik dengede olan bir cismin çevresine yaydığı termal elektromanyetik radyasyondur. Maddenin sıcaklığına bağlı olarak spesifik bir spektruma ve yoğunluğa sahiptir. Sadece dozun oluşturduğu yükü ve sayımı ölçmek için TL fotonunun, foto-çoğaltıcı tüpe ulaşması ve okunması gerekir. Bunun için termal elektromanyetik radyasyon (background radyasyonu) değerleri alınmaz. Gürültüsü (background radyasyonu) çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafikleri Şekil 4.6 – Şekil 4.16' da verilmiştir.



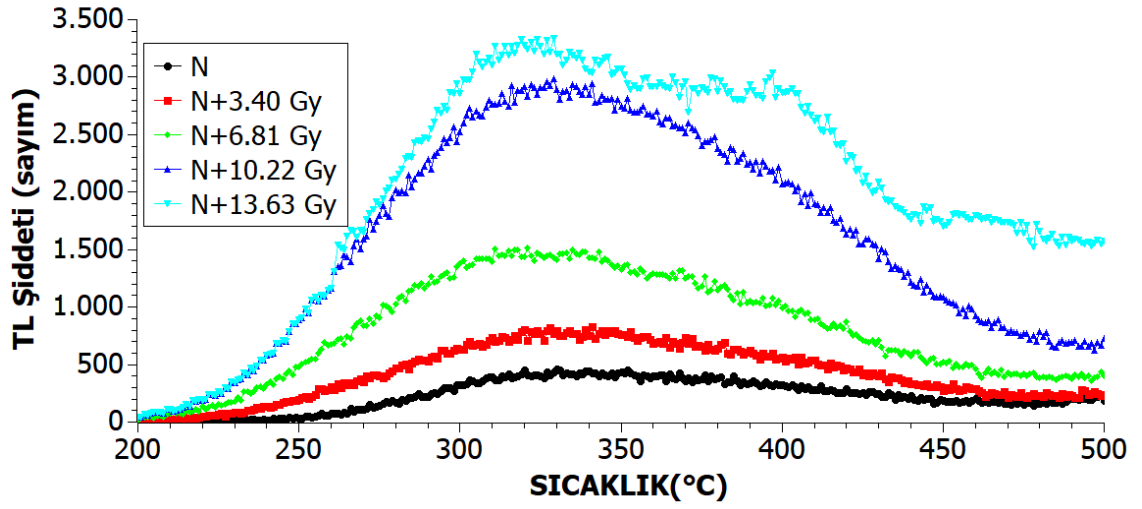
Şekil 4.6 BBH.H1.TD.1 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği



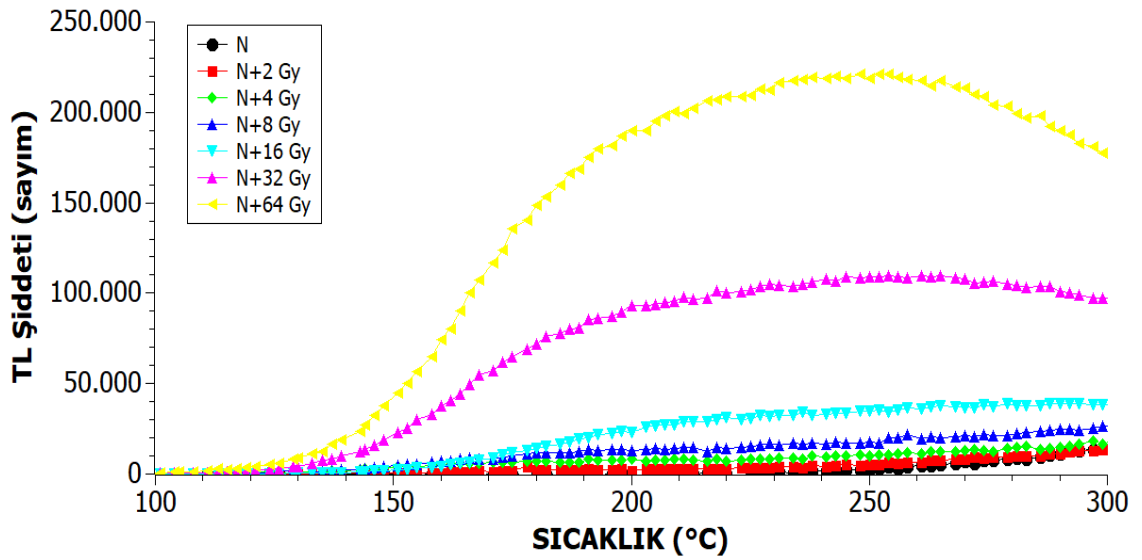
Şekil 4.7 BBH.H2.TD.2 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği



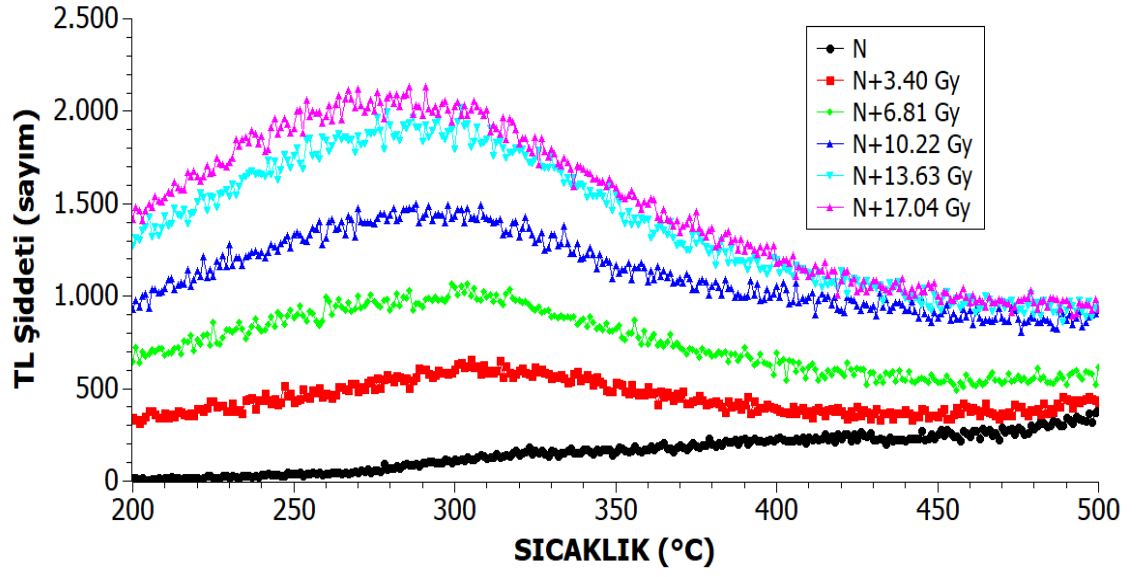
Şekil 4.8 BBH.H2.TD.3 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği



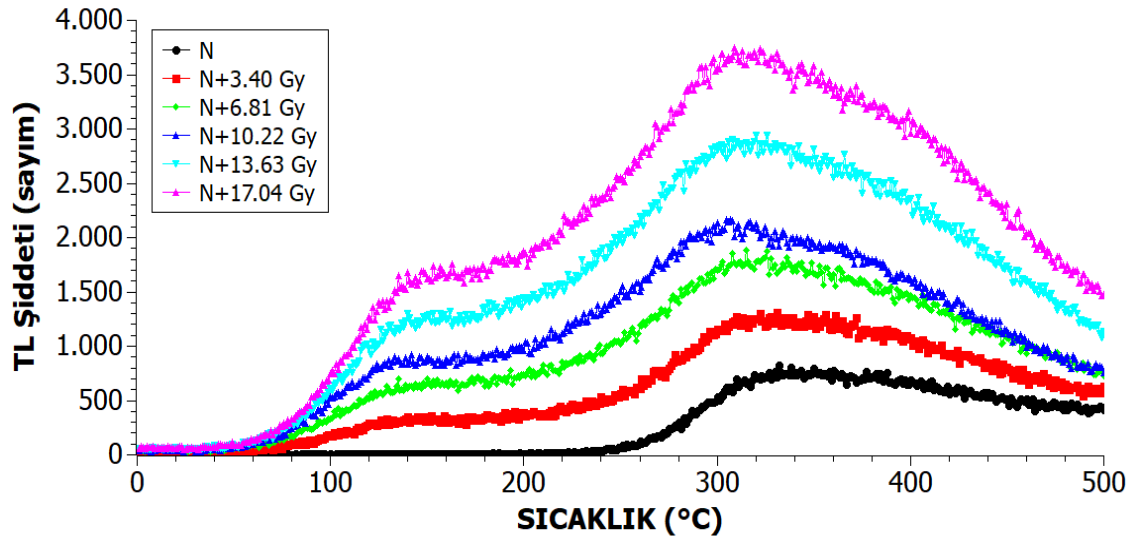
Şekil 4.9 BBH.Y1.TB.1 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği



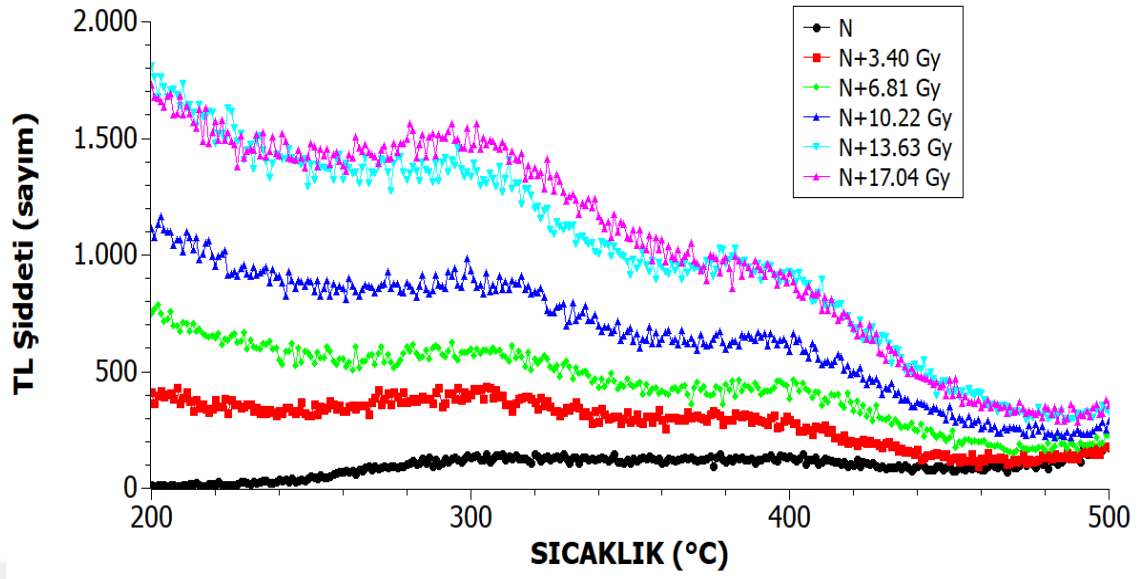
Şekil 4.10 BBH.Y2.TA.1 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği



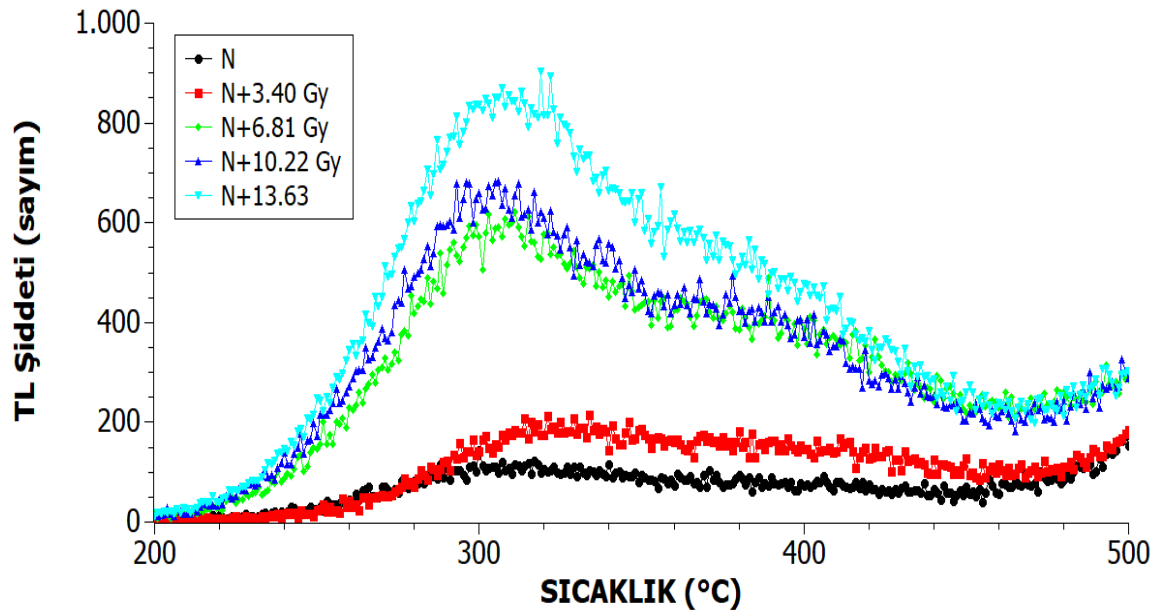
Şekil 4.11 BBH.I.TA.2 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği



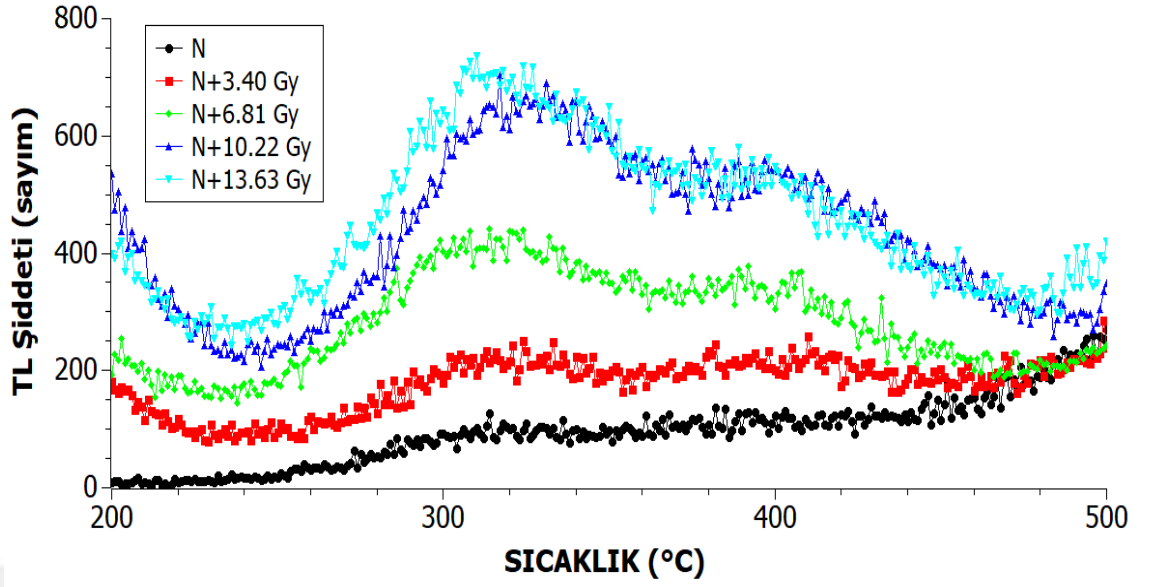
Şekil 4.12 BBH.S.TA.3 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği



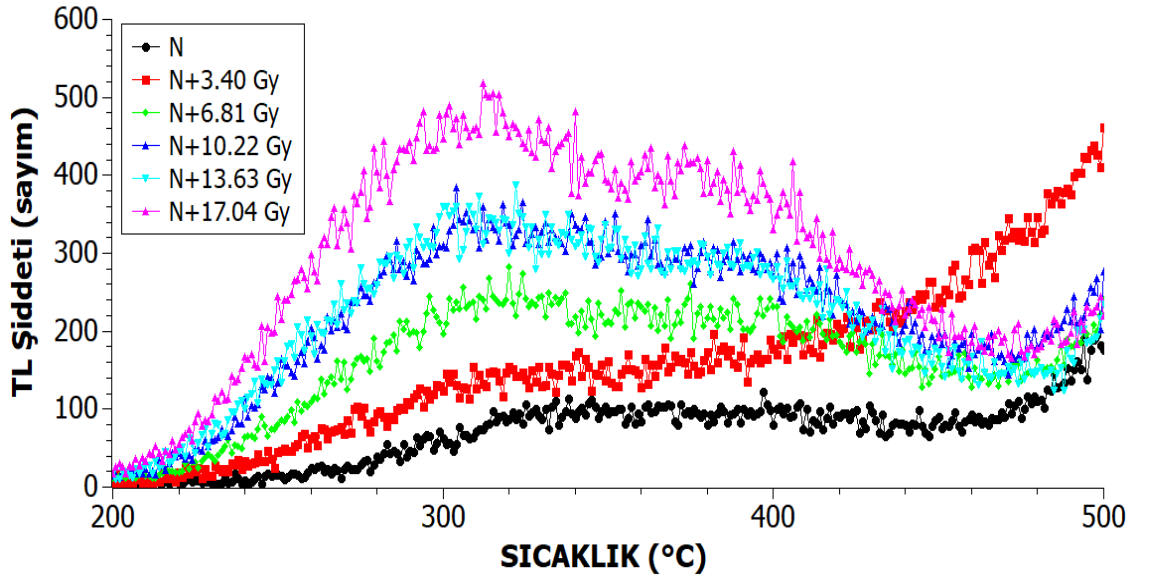
Şekil 4.13 BBH.O.TD.4 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği



Şekil 4.14 BBH.H2.B.1 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği



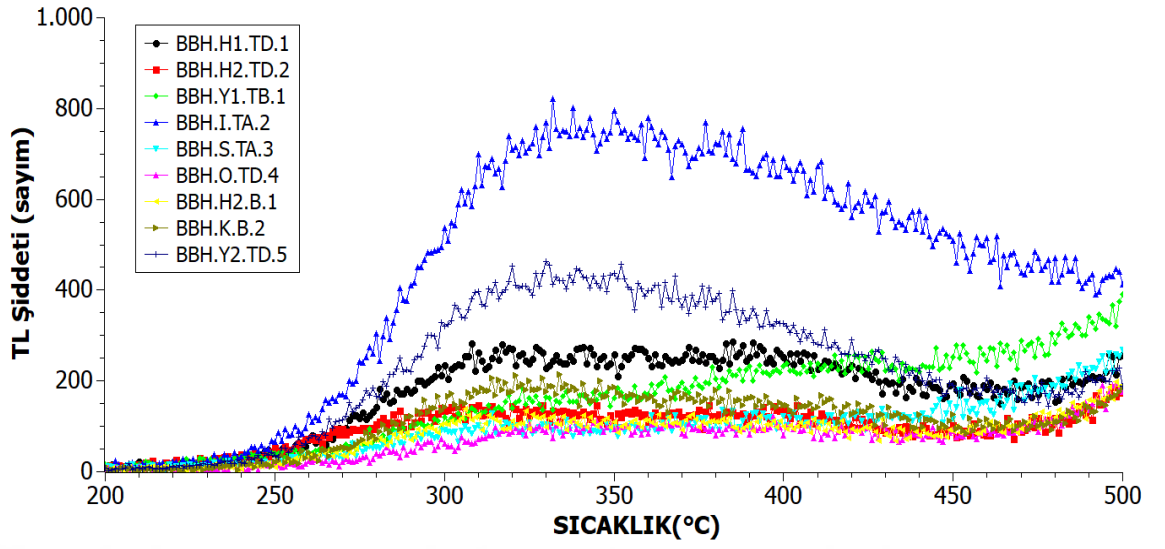
Şekil 4.15 BBH.K.B.2 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği



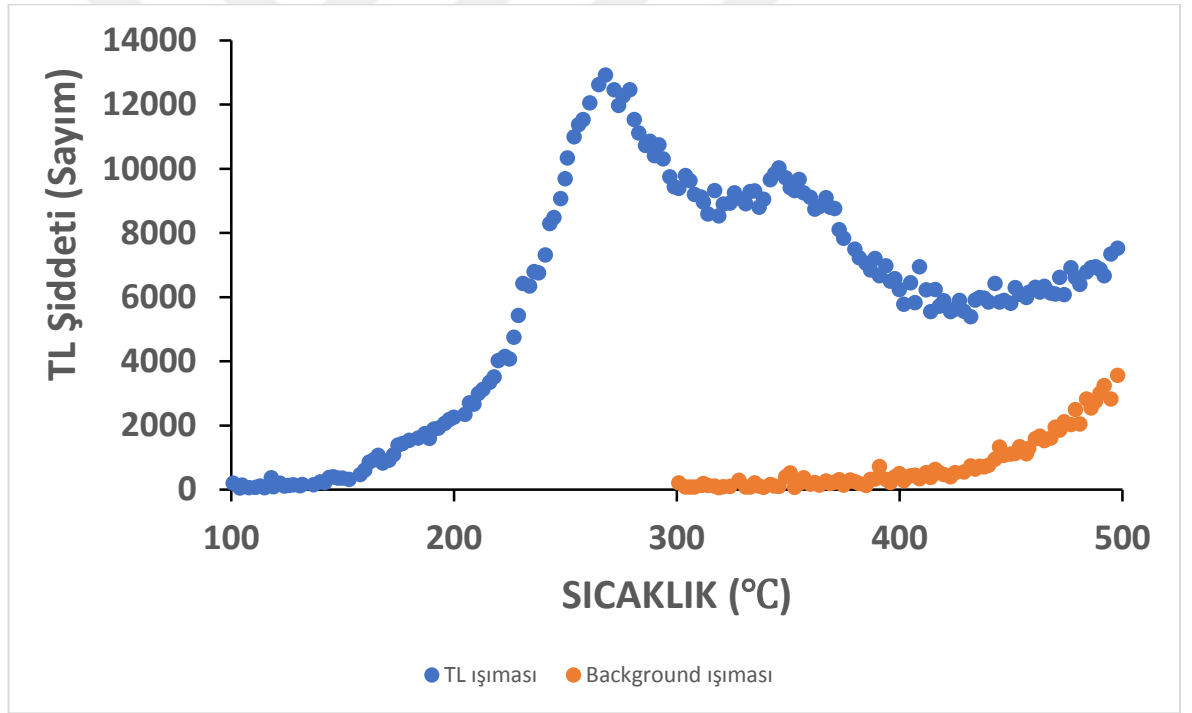
Şekil 4.16 BBH.Y2.TD.5 kodlu örnek için gürültüsü çıkarılmış doğal ve ilave dozlu disklerin TL şiddeti-Sıcaklık grafiği

4.3.2 Örnekler doğal dozdayken doz-cevap grafiği

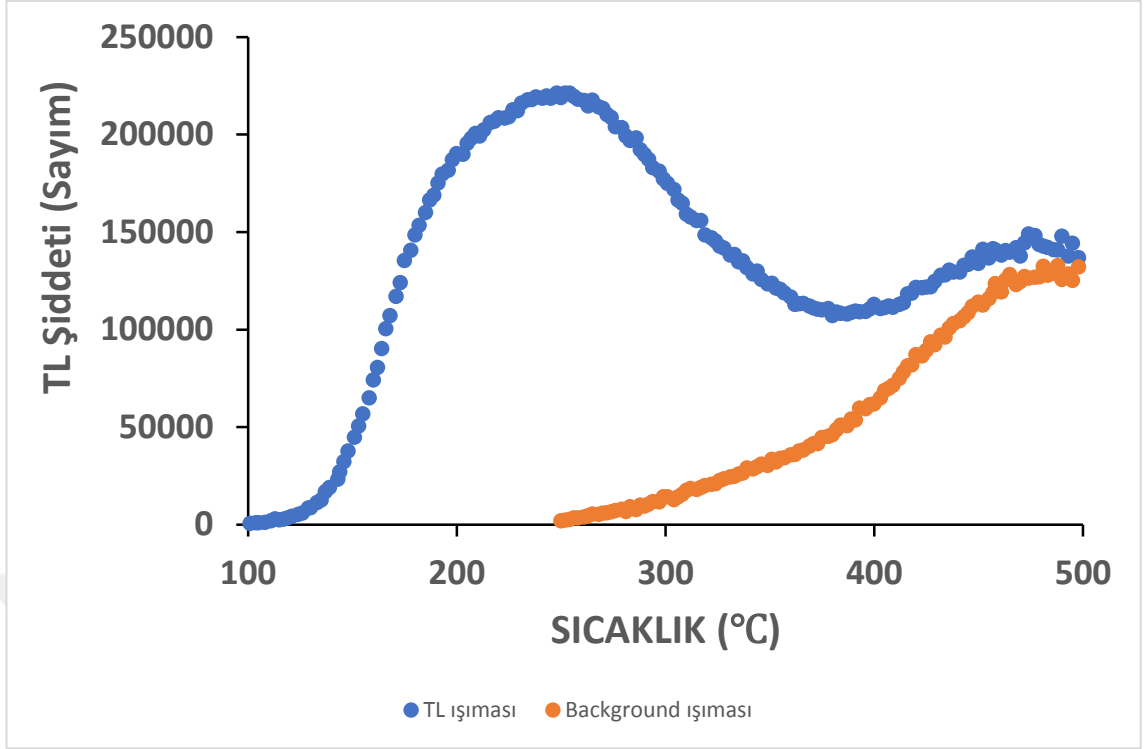
Örnekler ısı yoluyla uyarılarak tuzaklarda biriken elektronların bu tuzaklardan kurtulması sağlandı. Bu elektronlar lüminesans merkezlerindedeşiklerle birleşince okunabilir TL sinyalleri gözlemlendi. Şekil 4.17 – Şekil 4.19’ da örnekler yapay radyasyon dozuna maruz bırakılmadan, kendi doğal dozundayken ölçülen TL sinyalleri verilmiştir.



Şekil 4.17 Örnekler doğal dozundayken sıcaklığa bağlı TL şiddeti değişim grafiği



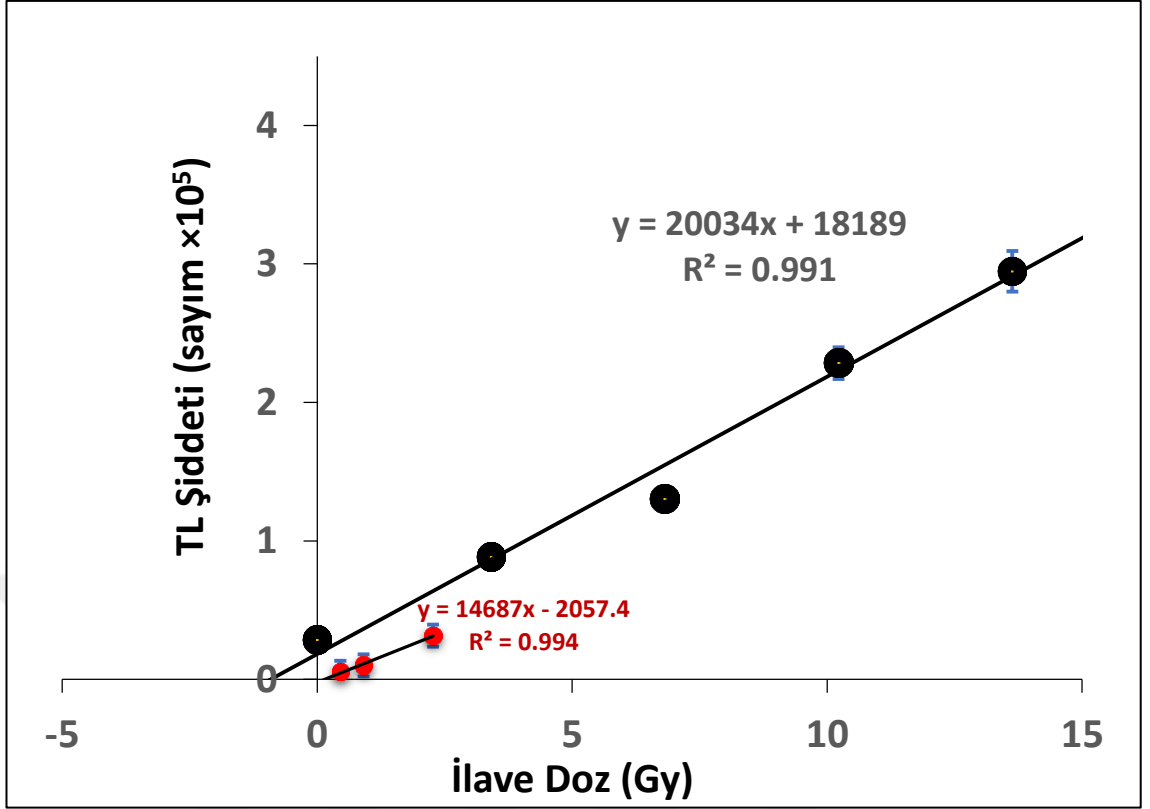
Şekil 4.18 BBH.H2.TD.3 kodlu örnek doğal dozundayken sıcaklığa bağlı TL şiddeti değişim grafiği



Şekil 4.19 BBH.Y2.TA.1 kodlu örnek doğal dozundayken sıcaklığa bağlı TL şiddeti değişim grafiği

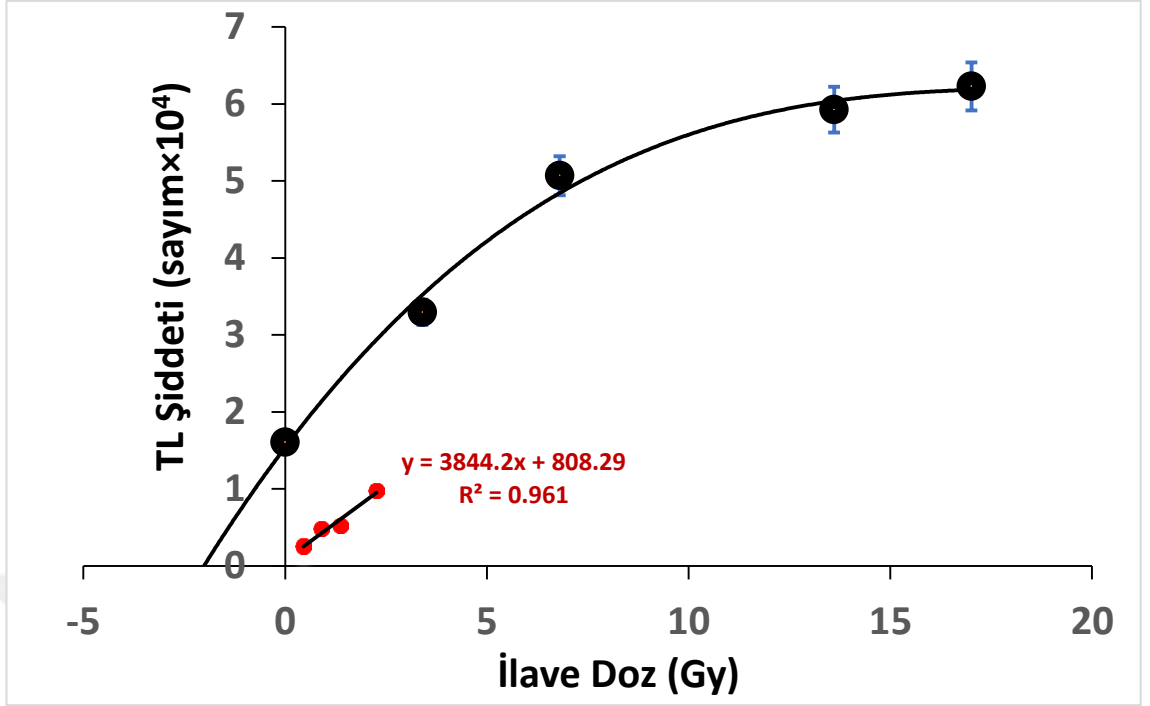
4.4 Eşdeğer Doz Tespiti

Örnekler numaralandırılarak kodlandı. Her örnek seti kendi içinde gruplandırıldı. Bunun için 24 adet örnek disk hazırlandı ve bu diskler 3'erli gruplar halinde ayrıldı. Toplam 8 grup diske 200 °C'de 5 dakika ön ısıtma uygulandı. Bir grup disk doğal dozunda bırakılırken, diğer grup disklerle sırasıyla 3.408 Gy, 6.816 Gy, 10.224 Gy, 13.632 Gy, 17.040 Gy ilave dozları verildi. BBH.H2.TD.3 ve BBH.Y2.TA.1 örneklerine sırasıyla 2 Gy, 4 Gy, 8 Gy, 16 Gy, 32 Gy, 64 Gy ilave dozları verildi. TL şiddeti-ilave doz grafiğinde, çizilen doğrunun (eğim çizgisi) X eksenini kestiği nokta eşdeğer (paleodoz) olarak alındı. Bu grafiklerden ilave doza bağlı TL sinyal sayım değerinin doğrusal olduğu yani verilen doz değeri arttıkça okunan TL sinyali değerinin de arttığı görülmüştür. TL şiddetinin verilen ilave doza göre değişimini gösteren grafikler her örnek için Şekil 4.20 – Şekil 4.30'da verilmiştir.

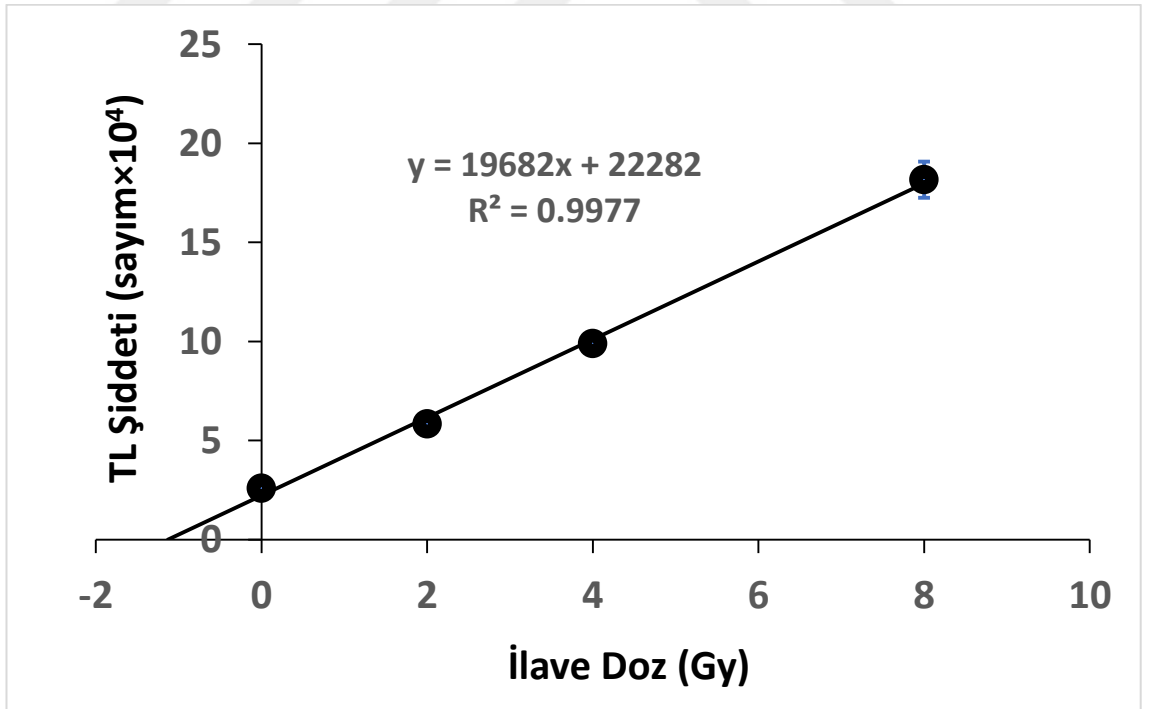


Şekil 4.20 BBH.H1.TD.1 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği

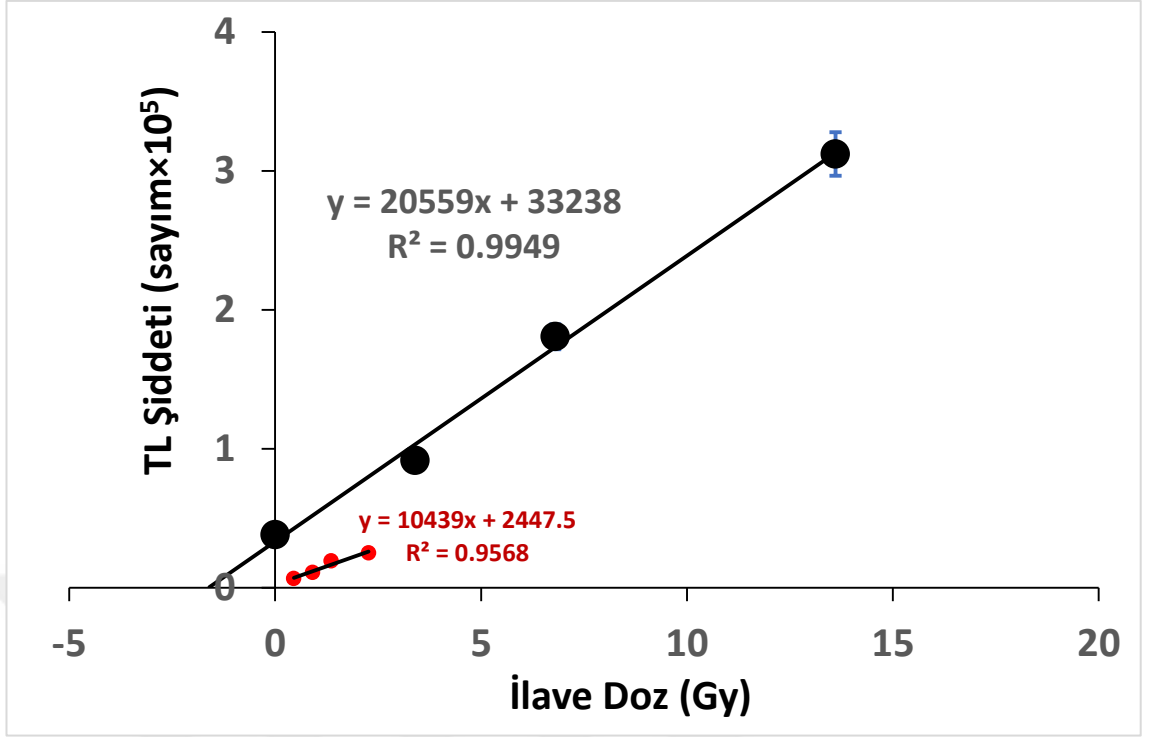
Bu grafikte iki doğrunun ilave doz eksenini kestiği noktayı bulabilmek için $y=0$ değeri verilerek, x değeri elde edilir ve bu x değerlerin toplamı eşdeğer (paleodoz) tespitinde kullanılır. Örnek 1 için eşdeğer doz $p = 0.91 + 0.14 = 1.05$ Gy olarak tespit edilmiştir. Diğer örnekler içinde aynı hesaplama yolu izlenmiş ve tespit edilen eşdeğer doz miktarları kaydedilmiştir.



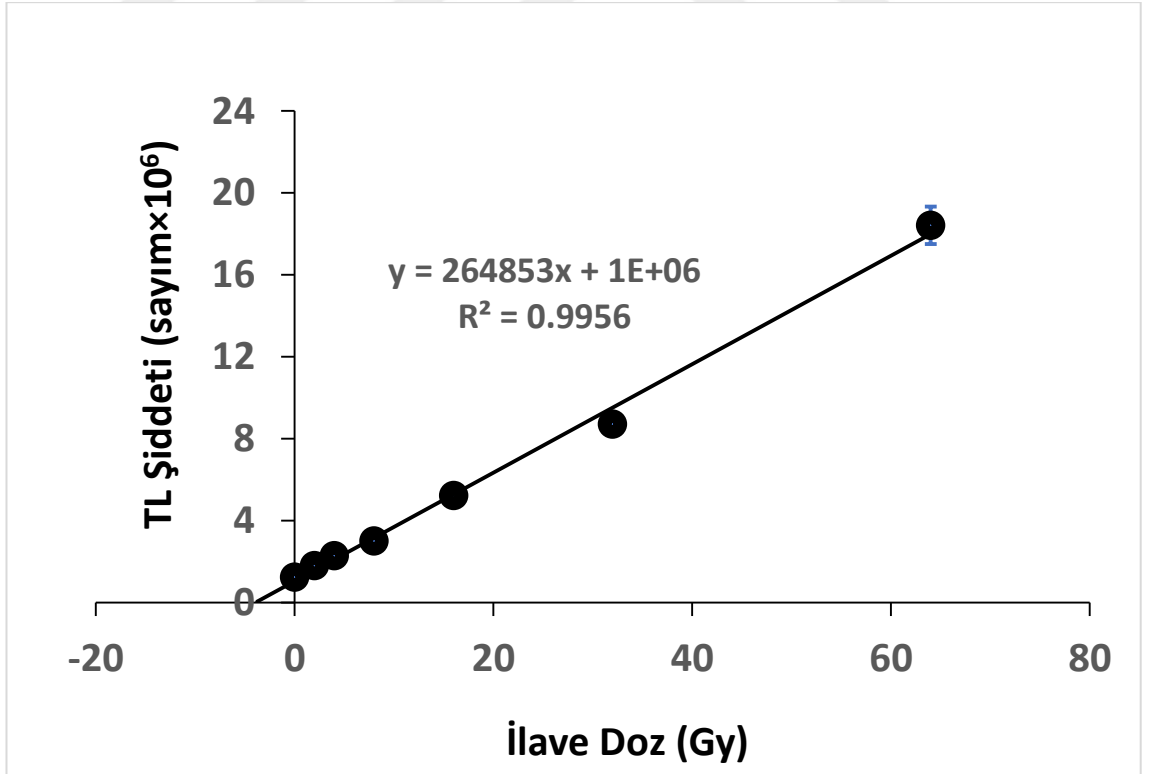
Şekil 4.21 BBH.H2.TD.2 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği (Bu grafikte veriler $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ şeklindeki denkleme fit edilmiştir. Bu denklemden $a = 5.7081$, $b = -344.08$, $c = 6931.7$, $d = 15396$ şeklindedir).



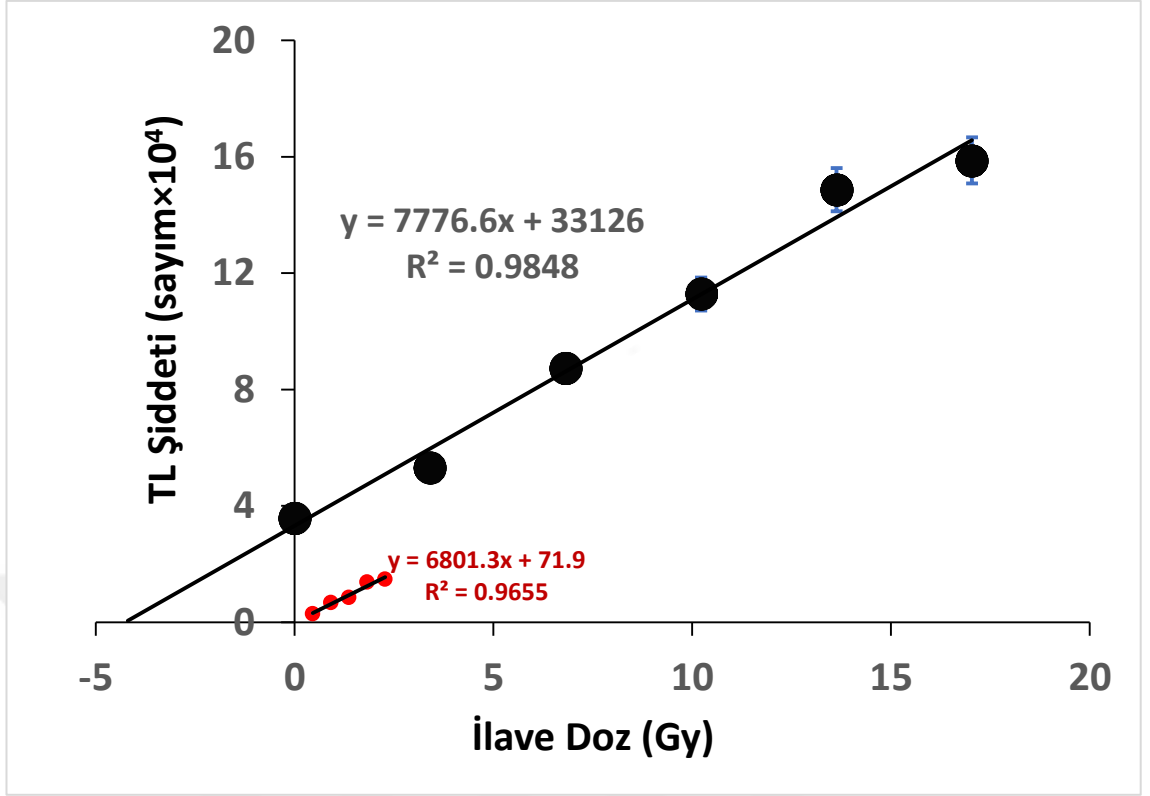
Şekil 4.22 BBH.H2.TD.3 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği



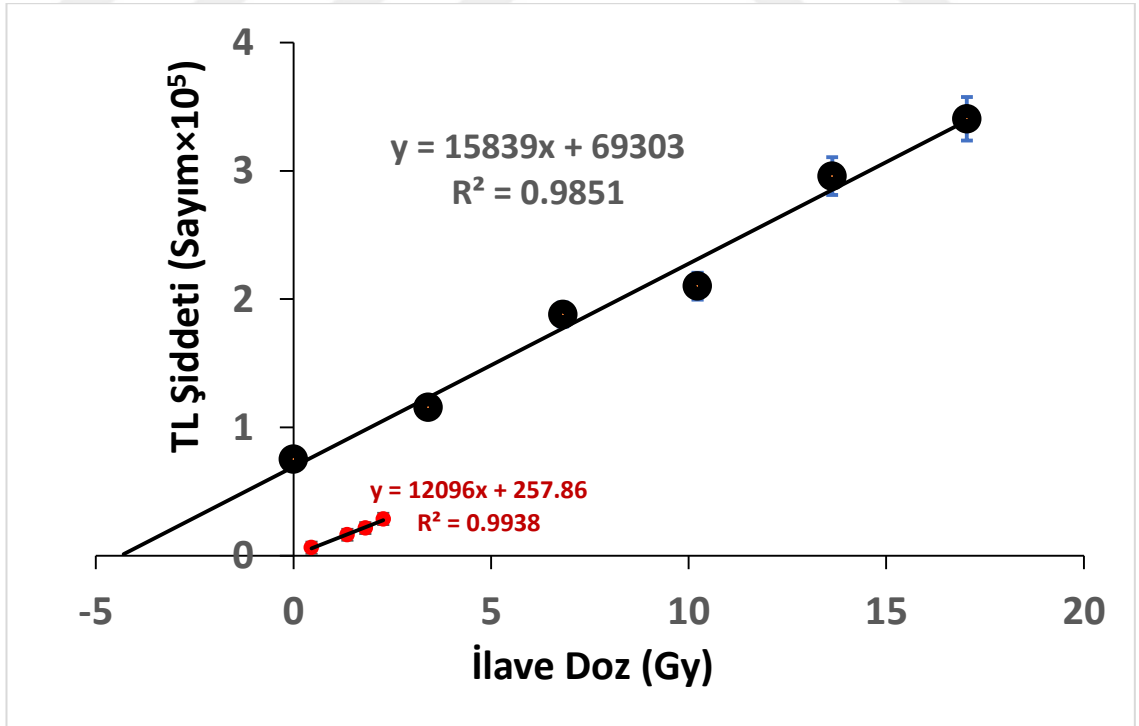
Şekil 4.23 BBH.Y1.TB.1 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği



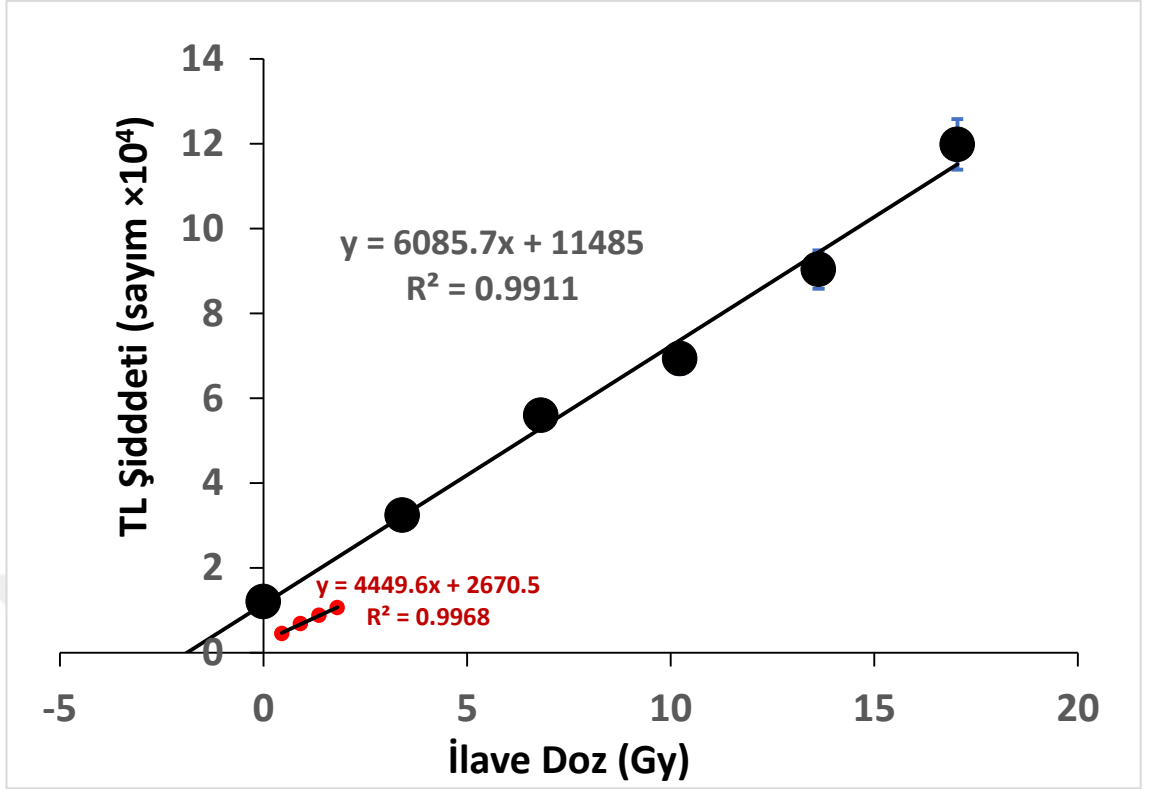
Şekil 4.24 BBH.Y2.TA.1 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği



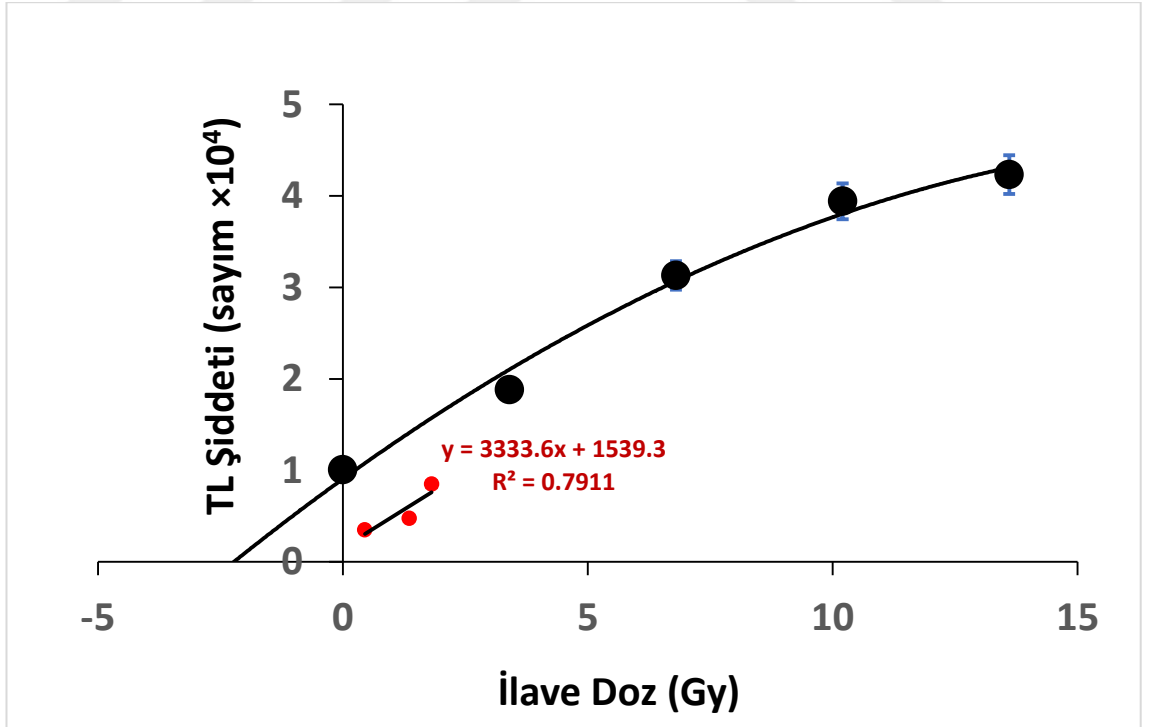
Şekil 4.25 BBH.I.TA.2 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği



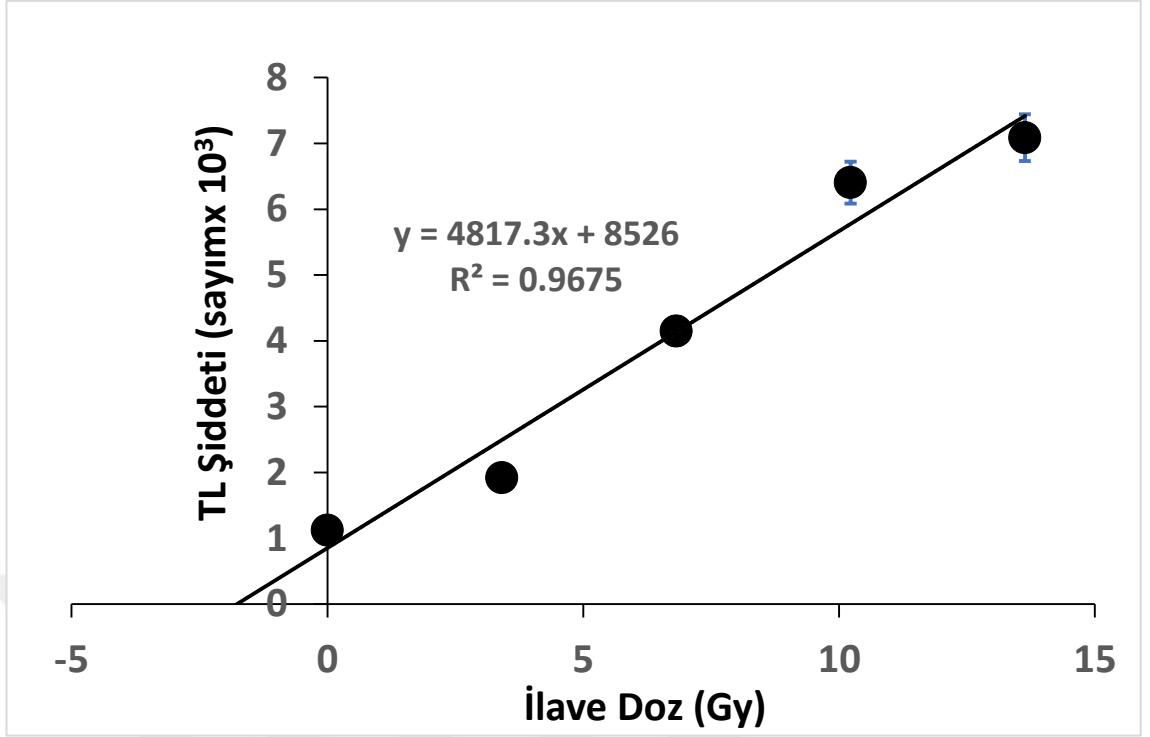
Şekil 4.26 BBH.S.TA.3 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği



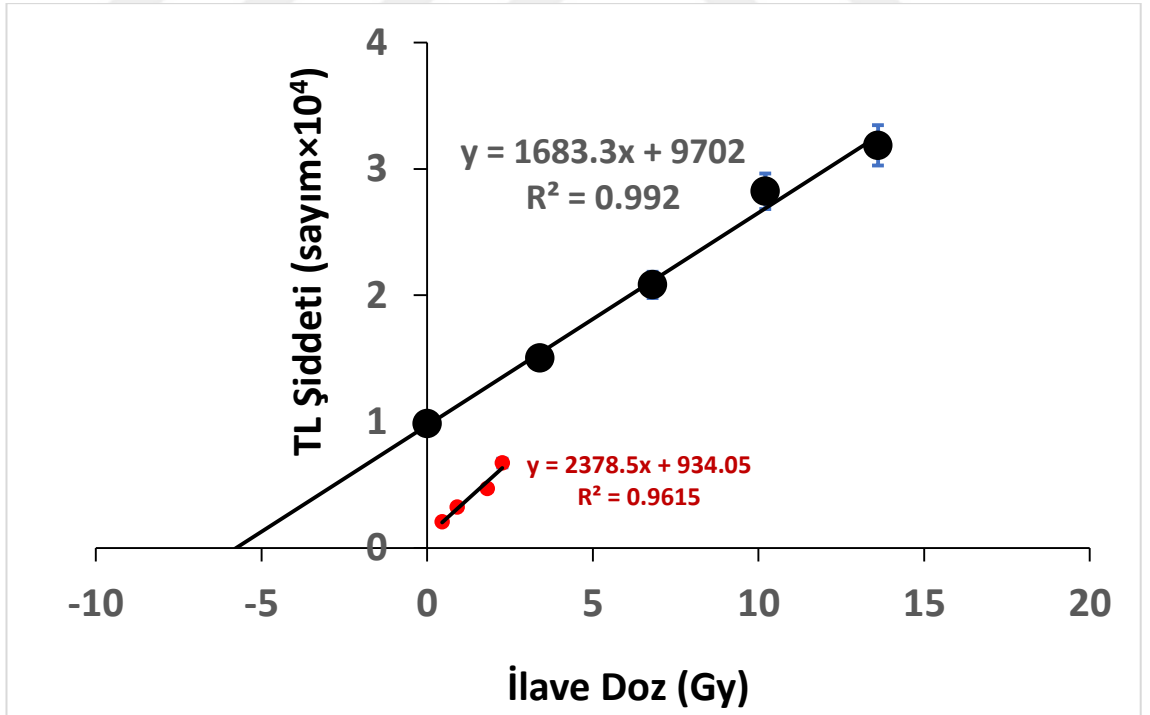
Şekil 4.27 BBH.O.TD.4 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği



Şekil 4.28 BBH.H2.B.1 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği (Bu grafikte veriler $y = ax^2 + bx + c$ şeklindeki ikinci dereceden denkleme fit edilmiştir. Bu denklemden $a = -99.387$, $b = 3854.6$, $c = 9056$ şeklindedir).



Şekil 4.29 BBH.K.B.2 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği



Şekil 4.30 BBH.Y2.TD.5 kodlu örneğin verilen ilave doza karşılık gelen TL şiddeti-ilave doz grafiği

Çizelge 4.1 Örneklerin tespit edilen eşdeğer (paleodoz) değerleri

Örnek kodu	n	i	P (Gy)
BBH.H1.TD.1	0.91 ± 0.09	0.14 ± 0.01	1.05 ± 0.10
BBH.H2.TD.2	2.01 ± 0.20	0.21 ± 0.02	2.22 ± 0.26
BBH.H2.TD.3	1.13 ± 0.11	-	1.13 ± 0.11
BBH.Y1.TB.1	1.57 ± 0.16	0.23 ± 0.02	1.80 ± 0.15
BBH.Y2.TA.1	3.78 ± 0.38	-	3.78 ± 0.38
BBH.I.TA.2	4.26 ± 0.43	-	4.26 ± 0.43
BBH.S.TA.3	4.38 ± 0.44	-	4.38 ± 0.44
BBH.O.TD.4	1.89 ± 0.19	0.10 ± 0.01	1.99 ± 0.19
BBH.H2.B.1	2.22 ± 0.22	0.44 ± 0.04	2.66 ± 0.60
BBH.K.B.2	1.77 ± 0.18	-	1.77 ± 0.18
BBH.Y2.TD.5	5.76 ± 0.58	0.39 ± 0.04	6.15 ± 0.62

4.5 Yıllık Doz Tespiti

Yıllık doz hızı ölçümü için ORTEC marka yüksek saflıkta germanyum (HpGe) dedektör kullanıldı. Örnekler havan ve elekler kullanılarak 500 µm altında boyutlara getirildi. Örnekler 200 ml büyüklüğünde silindirik plastik kaplara dolduruldu. Bu kapların ağız kısmı silikonla kaplanarak örneklerin hava ile teması kesildi. Rn-222 dengesi için yaklaşık 1 ay bekletildi. Kapların boş ve dolu durumdaki ağırlıkları ölçülerek, numunelerin ağırlıkları tespit edildi. Bu süre sonunda kaplar HpGe dedektöre konuldu ve dedektör -196°C'de sıvı azot kullanılarak çalıştırılıp ölçümler alındı. Ölçümler sonucunda U, Th ve K radyoaktif izotoplarının konsantrasyonları ve aktiviteleri tespit edilmiştir ve Çizelge 4.2, Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.2 Radyonüklit konsantrasyonları

Örnek Kodu	U-238		Th-232		K-40	
	ppm	hata	ppm	hata	%	hata
BBH.H1.TD.1	2.89	0.54	9.96	2.54	1.95	0.04
BBH.H2.TD.2	0.16	3.21	40.68	4.18	3.51	0.07
BBH.H2.TD.3	2.93	0.55	7.07	1.74	1.79	0.03
BBH.Y1.TB.1	3.63	0.44	15.93	3.11	2.53	0.05
BBH.Y2.TA.1	2.37	0.39	7.53	1.33	2.62	0.05
BBH.I.TA.2	6.46	0.73	14.48	1.79	2.72	0.05
BBH.S.TA.3	6.14	0.60	14.02	3.89	2.46	0.05
BBH.O.TD.4	1.95	1.22	9.18	1.83	3.44	0.06
BBH.H2.B.1	2.81	0.43	9.02	1.72	2.58	0.05
BBH.K.B.2	2.67	0.41	8.55	2.10	2.13	0.04
BBH.Y2.TD.5	2.85	0.56	8.08	1.88	2.15	0.04

Çizelge 4.3 Yıllık doz tespiti için HP-Ge Detektör aktivite ölçüm sonuçları

Örnek Kodu	U-238		Th-232		K-40	
	Aktivite (Bq/kg)	hata	Aktivite (Bq/kg)	hata	Aktivite (Bq/kg)	hata
BBH.H1.TD.1	35.56	6.60	40.4	10.3	594.8	11.1
BBH.H2.TD.2	2.00	39.55	165.1	16.9	1070.4	20.0
BBH.H2.TD.3	36.13	6.73	28.7	7.1	547.4	10.2
BBH.Y1.TB.1	44.64	5.40	64.6	12.6	772.4	14.4
BBH.Y2.TA.1	29.17	4.78	30.5	5.4	799.9	14.9
BBH.I.TA.2	79.52	8.94	58.8	7.3	829.4	15.5
BBH.S.TA.3	75.54	7.42	56.9	15.8	750.1	14.0
BBH.O.TD.4	24.03	14.97	37.3	7.4	1051.1	19.6
BBH.H2.B.1	34.53	5.33	36.6	7.0	787.3	14.7
BBH.K.B.2	32.88	5.01	34.7	8.5	649.7	12.1
BBH.Y2.TD.5	35.10	6.85	32.8	7.6	656.8	12.3

4.6 Nem Oranı Tespiti

Nem oranı tespiti için Radwag mac 50 nh nem tayin cihazı kullanılmıştır. W değerini deneysel olarak hesaplayabilmek için örnek ağırlığı önceden ölçülmüş krozelere konuldu. Sonra saf suyla ıslatılarak suya (neme) doyuruldu ve bu durumdayken tartıldı. Sonra krozelerin darası çıkarılarak nemli örnek kütlesi hesaplandı. Daha sonra örnek fırında tamamen kurutularak tekrar tartıldı ve aynı işlemlerle kuru örnek kütlesi belirlendi. Bu kütleler arasındaki fark hesaplanarak W değeri tespit edildi. Nem oranı değerleri Çizelge 4.4’ te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Nemli örnek kütlesi (M), kuru örnek kütlesi (D) ve bağıl nem oranının (R) yüzde olarak gösterimi

Örnek Kodu	%M	%D	%R
BBH.H1.TD.1	32.292	67.708	47.692
BBH.H2.TD.2	33.953	66.047	51.406
BBH.H2.TD.3	38.756	61.244	63.281
BBH.Y1.TB.1	34.620	65.380	52.951
BBH.Y2.TA.1	3.635	96.365	3.771
BBH.I.TA.2	38.870	61.130	63.585
BBH.S.TA.3	19.843	80.157	24.755
BBH.O.TD.4	24.542	75.458	32.524
BBH.H2.B.1	23.474	76.526	30.674
BBH.K.B.2	32.841	67.159	48.900
BBH.Y2.TD.5	35.142	64.858	54.182

4.7 Yıllık Doz Hızı Bileşenleri

Örneğin çevresindeki radyonüklit konsantrasyonundan maruz kaldığı doğal radyasyon doz bileşenleri aşağıda her örnek için verilmiştir. İç doz hızı örneğin içindeki K⁴⁰ radyoizotopundan kaynaklanır. İç doz hızında alfa katkısının olmamasının sebebi budur. Yıllık doz bileşenleri, lüminesans tarihlendirmede kullanılan doz hızı hesap makinesiyle (dose rate calculator) bulunmuştur. DRC, Tsakalos, E., Christodoulakis, J.,

Charalambous, L. (2016) tarafından geliştirilen, yıllık doz ve yaş tespitinde kullanılan bir java yazılımıdır.

DRC arayüzünde sol kısımda kullanıcı tanımlı bir takım parametreler vardır. Bu parametreler, örneğin kimliği, kullanılan malzeme (kuvars, feldspat yada diğer malzeme), radyoaktif konsantrasyonlar (iç ve dış radyoaktivite), nem değeri, incelenen tanelerin boyutu, ölçülen paleodoz değeri ve kozmik ışın parametreleriyle ilgili değerler girilir. Radyonüklit konsantrasyonları hesaplanırken, uranyum (U) ve toryum (Th) içeriği için hem iç hem dış doz oranları ppm cinsindendir. Potasyum (K) içeriği ise ağırlıkça yüzde olarak alınmıştır. Uygulamanın sağ kısmı ise, soldaki girdilere dayalı hesaplanan değerleri gösterir. Çıktı verileri girilen değerlere dayalı hesaplanan yaşı, toplam doz oranını, doz oranı bileşenlerini içerir. Yıllık doz hızı bileşen değerleri Çizelge 4.5 – Çizelge 4.15’ te verilmiştir.

Çizelge 4.5 BBH.H1.TD.1 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.H1.TD.1	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	0.773 ± 0.126
Beta	0.004 ± 0.002	1.657 ± 0.083
Gama	-	0.931 ± 0.124
Kozmik	-	0.228 ± 0.003
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.004 ± 0.002	3.589 ± 0.195

Çizelge 4.6 BBH.H2.TD.2 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.H2.TD.2	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	1.523 ± 0.470
Beta	0.007 ± 0.004	2.830 ± 0.342
Gama	-	2.024 ± 0.327
Kozmik	-	0.224 ± 0.003
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.007 ± 0.004	6.601 ± 0.666

Çizelge 4.7 BBH.H2.TD.3 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.H2.TD.3	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	0.625 ± 0.099
Beta	0.004 ± 0.002	1.426 ± 0.070
Gama	-	0.759 ± 0.092
Kozmik	-	0.215 ± 0.003
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.004 ± 0.002	3.026 ± 0.152

Çizelge 4.8 BBH.Y1.TB.1 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.Y1.TB.1	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	1.071 ± 0.138
Beta	0.005 ± 0.003	2.137 ± 0.086
Gama	-	1.274 ± 0.132
Kozmik	-	0.212 ± 0.003
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.005 ± 0.003	4.694 ± 0.209

Çizelge 4.9 BBH.Y2.TA.1 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.Y2.TA.1	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	0.856 ± 0.110
Beta	0.006 ± 0.003	2.573 ± 0.077
Gama	-	1.225 ± 0.093
Kozmik	-	0.287 ± 0.001
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.006 ± 0.003	4.942 ± 0.163

Çizelge 4.10 BBH.I.TA.2 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.I.TA.2	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	1.341 ± 0.131
Beta	0.006 ± 0.003	2.415 ± 0.092
Gama	-	1.430 ± 0.096
Kozmik	-	0.207 ± 0.003
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.006 ± 0.003	5.393 ± 0.187

Çizelge 4.11 BBH.S.TA.3 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.S.TA.3	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	1.567 ± 0.206
Beta	0.005 ± 0.002	2.646 ± 0.118
Gama	-	1.594 ± 0.186
Kozmik	-	0.245 ± 0.002
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.005 ± 0.002	6.052 ± 0.301

Çizelge 4.12 BBH.O.TD.4 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.O.TD.4	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	0.665 ± 0.199
Beta	0.007 ± 0.003	2.570 ± 0.149
Gama	-	1.172 ± 0.151
Kozmik	-	0.227 ± 0.003
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.007 ± 0.003	4.633 ± 0.291

Çizelge 4.13 BBH.H2.B.1 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.H2.B.1	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	0.796 ± 0.103
Beta	0.005 ± 0.003	2.154 ± 0.074
Gama	-	1.086 ± 0.092
Kozmik	-	0.232 ± 0.003
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.005 ± 0.003	4.267 ± 0.157

Çizelge 4.14 BBH.K.B.2 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.K.B.2	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	0.683 ± 0.101
Beta	0.005 ± 0.002	1.696 ± 0.068
Gama	-	0.889 ± 0.100
Kozmik	-	0.216 ± 0.003
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.005 ± 0.002	3.483 ± 0.158

Çizelge 4.15 BBH.Y2.TD.5 kodlu örnek için yıllık doz hızı değerleri

BBH.Y2.TD.5	İç doz hızı	Dış doz hızı
Alfa	-	0.676 ± 0.107
Beta	0.005 ± 0.002	1.688 ± 0.076
Gama	-	0.876 ± 0.098
Kozmik	-	0.212 ± 0.003
Toplam Doz Hızı (mGy/a)	0.005 ± 0.002	3.451 ± 0.163

4.8 Yaş Tespiti

Örnekler toplandıktan ve TL ölçüm için örnek hazırlama tekniklerine uygun olarak hazırlandıktan sonra, eşdeğer doz değerleri Riso TL/OSL okuyucu cihazı ve Harshaw 3500 Model Tld Okuyucu cihazları kullanılarak elde edilmiştir. Yıllık doz değerlerini ise, ORTEC marka yüksek saflıkta germanyum (HpGe) dedektör kullanılarak ölçülmüştür. Yaşlar, eşdeğer dozun yıllık doza oranlanmasıyla hesaplanmıştır. Yaş tespiti değerleri Çizelge 4.16' da verilmiştir.

Çizelge 4.16 Beçin antik kenti Bey hamamı yapısından elde edilen yaşlar

Örnek Kodu	Eşdeğer Doz (Gy)	Yıllık Doz (mGy/Yıl)	Yaş (Yıl)	Yaşın Karşılık Geldiği Tarih (MS)*
BBH.H1.TD.1	1.05 ± 0.10	3.593 ± 0.195	292 ± 32	1728
BBH.H2.TD.2	2.22 ± 0.22	6.608 ± 0.666	336 ± 47	1684
BBH.H2.TD.3	1.13 ± 0.11	3.030 ± 0.152	373 ± 41	1647
BBH.Y1.TB.1	1.80 ± 0.18	4.700 ± 0.209	383 ± 42	1637
BBH.Y2.TA.1	3.78 ± 0.38	4.948 ± 0.163	764 ± 81	1256
BBH.I.TA.2	4.26 ± 0.43	5.399 ± 0.187	789 ± 84	1231
BBH.S.TA.3	4.38 ± 0.44	6.058 ± 0.301	723 ± 80	1297
BBH.O.TD.4	1.99 ± 0.19	4.641 ± 0.291	429 ± 49	1591
BBH.H2.B.1	2.66 ± 0.26	4.273 ± 0.157	623 ± 65	1397
BBH.K.B.2	1.77 ± 0.18	3.488 ± 0.158	507 ± 57	1513
BBH.Y2.TD.5	6.16 ± 0.62	3.456 ± 0.163	1782 ± 198	238

*Yaşın karşılık geldiği tarih (Milattan sonra) günümüz tarihinden yıl mertebesindeki yaşın çıkarılmasıyla elde edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Termolüminesans (TL) tarihlendirmede bir örneğin yaş tespitinin yapılabilmesi için, eşdeğer doz ve yıllık doz bilgilerine gerek vardır. Eşdeğer doz, örneğin çevresindeki radyoaktif çekirdeklerden ve kozmik radyasyondan kaynaklı soğurulan dozdur. Bu doz örneğin içinde bulunan kristal tanelerinde lüminesans sinyal gözlenebilecek değişikliklere sebep olur. Örneğin ölçülen lüminesans şiddeti, soğurulan doğal radyasyon dozu bilgisini içerir.

Önce uygun örnekler toplanır ve laboratuvarında uygun ışık koşulları altında örneğin ışık görülmemiş kısımları alınır. Daha sonra bu kısımlar pudra kıvamına gelinceye kadar ezilip,elenir. Organik ve kalsit bileşenlerinden arınması için HCL (hidroklorik asit), H_2O_2 (hidrojen peroksit) ve saf suyla yıkanır. Bu tez kapsamında ince tane (fine grain) çalışılmıştır. 4-11 μm aralığında taneleri elde edebilmek için stokes yasası uygulanmıştır. Kristal yapısındaki kararsız (sığ) tuzaklardan kaynaklanan lüminesans sinyallerinin silinmesi için ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ön ısıtma sıcaklığı 200°C olarak belirlenmiştir. Eşdeğer doz çok tablet ilave doz yöntemi (MAAD) kullanılarak belirlenmiştir. Eşdeğer dozu tespit etmek için Risø TL/OSL okuyucu cihazı ve Harshaw 3500 Model TLD okuyucu kullanılmıştır.

TL tarihlendirmenin doğru yapılabilmesi için kristal yapısında herhangi bir uyarıcı etki olmadan veya düşük sıcaklıklarda boşalan tuzaklardan (kararsız, sığ tuzaklar) kaynaklanan lüminesans sinyalleri silinmiştir. Bunun için örneklerle ölçüm işleminden önce ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ön ısıtma işlemi sonunda sıcaklık-TL şiddeti grafiği çizildi. Grafikte plato bölgesinin karşılık geldiği 200 °C sıcaklığı ön ısıtma sıcaklığı olarak alınmıştır.

TL ölçümleri için tüm örneklerde dikkate alınacak ve güvenilir yaş bilgisini verecek bir sıcaklık aralığının belirlenmesi için plato testi uygulanmıştır. Bu test sonucunda BBH.H1.TD.1 kodlu örnek için doğal ve doğal+10 Gy, BBH.S.TA.3 kodlu örnek için doğal ve doğal+13 Gy, BBH.O.TD.4 kodlu örnek için doğal ve doğal+10 Gy, BBH.Y1.TB.1 kodlu örnek için doğal ve doğal+7 Gy TL sinyallerinin birbirine oranları incelenerek sıcaklık artmasına rağmen değişmeyen kararlı (plato) bölgesi gözlenmiştir. Plato bölgesinin gösterdiği sıcaklık aralığı güvenilir yaşın tespit edilmesinde kullanılır. Bu sıcaklık aralığının plato testi sonucunda kararlı bölge için 300-400°C civarında

olduğu görülmüştür. Sonuç olarak TL tarihlendirmede yaklaşık 300-400°C arasındaki alan değerleri dikkate alınmıştır.

Artan ilave doza karşılık doz-cevap grafiklerinde örnek kendi doğal dozundayken ve ilave doz verildiğinde TL sayımları kaydedildi. Grafiklerden örneğin artan doza maruz kalması durumunda TL şiddetinin arttığı görülmüştür. Bunun nedeni TL sayımına yol açan mekanizmanın başlangıçta örneğin soğurduğu radyasyon dozuyla orantılı olmasıdır. Yani fazla radyasyon soğurulması durumunda orantılı olarak fazla elektron tuzaklanacak ve ısı yoluyla uyarılma durumunda lüminesans ışığı oluşturacak elektron sayısı fazla olacaktır.

Örnekler doğal dozdayken doz-cevap grafiklerinde ise örneklerin üzerinde yapay radyasyon dozu olmadan sıcaklığa bağlı olarak TL sayımları kaydedildi. Belirli bir sıcaklığın altında TL şiddeti gözlenmez. Bunun nedeni tuzaklardaki elektronların uyarılması için gereken aktivasyon enerjisinin sağlanamamış olmasıdır. Bu çalışmada örnekler doğal dozdayken yaklaşık 250 °C'nin altında TL şiddetinin çok az olduğu görülmüştür. Sıcaklık arttıkça elektronların tuzaklardan kurtulması için gerekli enerji sağlandı ve TL şiddeti artış gösterdi. Genellikle 300-400°C aralığında pikler gözlenmiştir. Sıcaklığın artmaya devam etmesi durumunda TL şiddetinin azaldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni ise tuzaklardan kurtulacak ve lüminesans ışığı oluşturacak elektron sayısının azalmasıdır. Elektronların derin tuzaklarda bulunması durumunda lüminesans ışığı oluşturmak için verilmesi gereken sıcaklık miktarıda fazla olacaktır.

Çok tablet ilave doz yönteminde ise, örnek diskleri ön ısıtma ve normalizasyon işlemlerinden sonra gruplara ayrıldı. Gruplara verilen farklı radyasyon dozlarına karşılık gelen lüminesans sinyalleri kaydedildi. Yapay radyasyon dozu verilmeyen örnek grubundaki doğal radyasyon dozu ölçüldü. Bu doz bilgisi bize paleodoz değerini verdi. Bu radyasyon değerleri sırasıyla 3.40 Gy, 6.81 Gy, 10.22 Gy, 13.63 Gy, 17.04 Gy şeklinde verilmiştir. İlave dozlara karşılık gelen lüminesans şiddetlerinin grafiği çizildi. Grafikte bu değerlerden geçen doğrunun ilave doz eksenini kestiği nokta Q değeri olarak alınmıştır. Düşük doz şiddetlerinde termolüminesans şiddeti artan doz ile supralineer olarak arttığı için doğrusallık düzeltmesi (I) değerleri belirlenmiştir. Bunun için örnek disklerine 0.45 Gy, 0.90 Gy, 1.36 Gy, 1.81 Gy, 2.27 Gy dozlar verilmiştir. Bu dozlara karşılık gelen termolüminesans şiddetleri kaydedildi. Bu değerleri birleştiren

doğrunun x eksenini kestiği nokta I değeri olarak kaydedildi. Q ve I değerlerinin toplamıyla paleodoz değerleri tespit edilmiştir. Bu işlemler her örnek için yapılmıştır.

Yıllık doz tespiti için ORTEC marka yüksek saflıkta germanyum (HpGe) dedektör kullanılmıştır. Hp-Ge dedektör kullanılarak ölçülen radyonüklit kütleleri kaydedildi. Bu değerler Uranyum (U^{238}) ve toryum (Th^{232}) izotopları için ppm cinsinden, potasyum (K^{40}) izotopu için ağırlıkça yüzde (%) cinsinden kaydedildi.

Nem oranı tespiti için, Radwag mac 50 nh nem tayin cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz kullanılarak nemli örnek kütlesi ile kuru örnek kütlesi arasındaki fark hesaplanarak nem oranları tespit edilmiştir. Örnekler denize kıyısı olan ve nemli bir bölgeden alındığı için bu çalışmada çevre şartlarına göre maksimum su tutma oranı olan F değeri 1 alınmıştır. Nem değerlerinin genellikle % 30—% 40 aralığında seyrettiği gözlenmiştir.

Yıllık doz hızı bileşenlerini tespit etmek için DRC (dose rate calculator) programı kullanılmıştır. Örneğin çevresindeki radyonüklit konsantrasyonundan kaynaklanan alfa, beta, gama doz hızları ve uzaydan gelen kozmik radyasyon doz hızı (iç doz hızı ve dış doz hızı) ve alfa zayıflatma katsayısı DRC programı ile hesaplanmıştır. DRC programına uygun değerler girildi ve her örnek için yaş hesaplandı. Günümüz tarihinden örneklerin yaşı çıkarılarak, örneklerin tarihlendirmesi tayin edilmiştir.

Yaş sonuçları şu şekilde değerlendirilebilir:

En yaşlı örnek olan BBH.Y2.TD5, 1782 ($\pm$ 198) yıl önce üretildiği tespit edilen bir tuğladır. Hata payları da hesaba katılırsa bu tuğlanın Roma döneminde üretilmiş olduğu söylenebilir. Bu örnek 1995 kazı raporunda belirtilen, Bey Hamamı yapısına ait yıkılmış yapı malzemelerinin yığıldığı alandan alınmış olup, yer seviyesinde bulunmuştur. Tuğlanın hamamın yapımında kullanıldığı var sayılırsa, bir Ortaçağ yapısında Roma dönemi tuğlasının devşirme malzeme olarak kullanıldığı söylenebilir. Bey Hamamı' nın yakın çevresinde Roma yapısı kalıntısına rastlanmamıştır fakat, hamamda Roma dönemi taşlarının kullanılmış olduğu tespit edilmiştir.

BBH.H1.TD.1, BBH.H2.TD.2, BBH.H2.TD.3 örnekleri yapının duvardan üst örtüye geçiş elemanlarının başlangıcı olup, bu tuğlaların yapının üst örtüsü yıkılmadan değişmiş olmadığını göstermektedir. Bu bakımdan bu tuğlaların aynı zamanda yapılmış ve yerleştirilmiş olduğu düşünülebilir. Elde edilen sonuçlar, bu savı desteklemektedir.

Sonuçlara göre bu örnekler 17. YY başları 18. YY sonları arası bir tarihte üretilmiş olmalıdır.

BBH.O.TD.4 örneği ise ocaktan alınmış bir örnektir. Hamamda su ısıtmak amacıyla ocak her yakıldığında bu örneğin ateşe maruz kaldığı ve sıfırlandığı varsayılırsa hamamın en son 16. YY sonu 17. YY başlarında hamam olarak kullanıldığı söylenebilir.

BBH.H1.TD.1- BBH.H2.TD.2,-BBH.H2.TD.3 ve BBH.O.TD.4 örneklerinin birlikte değerlendirilmesi: Sürekli yerleşimin 17. YY başlarında bittiği belgelerle bilindiğine göre ve BBH.O.TD.4 örneği 16. YY sonu 17. YY başlarına tarihlendirildiğinde hamamın yenilendikten veya yapıldıktan sonra çok kısa bir süreliğine kullanılmış olabileceği öne sürülebilir.

BBH.Y2.TA1, BBH.I.TA2, BBH.S.TA3 örnekleri ise Beçin’ de Türk yerleşiminin ilk başladığı tarihlere (13. YY) işaret etmektedir. Bu örnekler konusunda iki ihtimal mevcuttur. 1. ihtimale göre örnekler yapının ilk yapıldığı tarihlere işaret ediyor olabilir. 2. ihtimale göre ise örnekler o tarihlerde yapılan başka bir yapıdan getirilip yeniden kullanılmış olabilir.

BBH.Y1.TB.1 örneği ise 16. YY sonu 17. YY başlarına tarihlendirilen bir örnek olup, yapıya son zamanlarda yapılan bir müdahaleden kalmış olabilir.

BBH.H2.B.1 ve BBH.K.B.2 örnekleri ise tesisat sisteminin parçası olan borulardır. Tesisat sistemi elemanları belli aralıklarla yenilenmiş olabilir. Sırasıyla 14. YY ve 15-16. YY’ lara tarihlenen bu örnekler tesisat sisteminin bu tarihlerde yenilenmiş olabileceğini gösterir.

Bu tez çalışmasıyla TL tarihlendirme yönteminin retrospektif dozimetre alanına uygulanmasıyla Beçin antik kentinde bulunan Bey Hamamı’nın tarihlendirmesi yapılmıştır. Bey Hamamı yapısının hangi zaman aralıklarında kullanıldığı bilgisinin yanında, hamamın kullanıldığı yıllarda tadilat gördüğü ve hamamda devşirme malzemeler kullanıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Beçin antik kenti Unesco Dünya Mirası Geçici Listesinde yer almaktadır. Bölgede yapılan bu çalışmayla, bölgenin sosyolojik ve mimari değişimlerine katkıda bulunulmuştur. Ayrıca kullanılan deneysel yöntemler ve prosedürler ile lüminesans tarihlendirme metodolojisine de katkıda bulunulmuştur.

Benzer alışmalar bölgedeki farklı yapıları uygulanarak yeni çalışmalar yapılabilir ve bölgenin lüminesans tekniklerle kronolojisi test edilebilir. Bu anlamda bu tez çalışması bölgedeki çalışmalara nc niteliği taşımaktadır.



KAYNAKLAR

- Aitken, M. J. 1968. Thermoluminescent Dating of Ancient Pottery. *Nature*, 219, 442-445
- Aitken, M. J. 1985. Thermoluminescence Dating. Academic Press, 359, London.
- Aitken, M. J. 1998. An introduction to optical dating. The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-Stimulated Luminescence. Oxford University Press, 267, Oxford.
- Anonymous. 2017. Guide to the Riso TL/OSL reader, DTU Nutech Center of Nuclear Technologies. Roskilde, Denmark.
- Atlıhan, M. A. 2008. Ege Çöküntü Sistemindeki Bazı Deprem İzlerinin Lüminesans Yöntemiyle İncelenmesi. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi, 106, Ankara.
- Bell, W. 1976. The assessment of the radiation dose-rate for thermoluminescence dating. *Archaeometry*, 18:107–111.
- Bos, A.J.J. 2007. Theory of thermoluminescence. *Radiation measurements*, 41, pp 45-56.
- Bos, A. J. J. 2017. Thermoluminescence as a Research Tool to Investigate Luminescence Mechanisms. *Materials*, 10, 22.
- Bøtter-Jensen, L., McKeever, S. W. S., Wintle, A. G. 2003. Optically stimulated luminescence dosimetry. Elsevier Science, 374, Netherlands.
- Capelletti, R. 2017. Luminescence Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Elsevier, 178-189.
- Chen, R., McKeever, S. W. S. 1997. Theory of thermoluminescence and related phenomena. World Scientific, 537, Singapore.
- Chruścińska, A., Cicha, A., Kijek, N., Palczewski, P., Przeglęta, K. R., Tuszyńska, K. S. 2014. Luminescence Dating Of Bricks From The Gothic Saint James Church in Toruń. *Geochronometria*, 41(4), 352–360.
- Desal, V. S., Aitken, M. J. 1974. Radon Escape From Pottery : Effect of Wetness. *Archaeometry*, 16(1), 95-97.
- Duller, G. 2008. Luminescence Dating: Guidelines On Using Luminescence Dating in Archaeology. English Heritage, 44, England.
- Gattuso, C., Renzelli, D., Barone, P., Pingitore, V., Oliva, A. 2012. Sar and Maad TL Dating of “Caroselli” From Three Sites in Calabria, South Italy. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 12/2, 43-54.

- Gueli, A. M., Garro, V., Liuzzo, M., Margani, G., Pasquale, S., Politi, G., Stella, G. 2017. Effects of moisture on historical buildings TL ages. *Measurement*, 118, 289-297.
- Huntley, D. J. And Lamothe, M. 2001. Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it in optical dating. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 38(7), 1093-1106.
- Martini, M., Sibilia, E. 2006. Luminescence dating and cultural heritage. *Archeometriai Műhely*, 1, 3-11.
- Munyikwa, B. K. 2016. Luminescence Dating : Applications in Earth Sciences and Archaeology. *Luminescence - An Outlook on the Phenomena and their Applications*. IntechOpen, 378, Rijeka.
- Murray, A. and Wintle, A. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative dose protocol. *Radiation Measurements*, 32:57–73.
- Nelson, M. S., Rittenour, T. M. 2015. Using grain-size characteristics to model soil water content: Application to dose - rate calculation for luminescence dating. *Radiation Measurements*, 81, 142-149.
- Nelson, M. S., Gray, H. J., Johnson, J. A., Rittenour, T. M., Feathers, J. K., Mahan, S. A. 2015. User Guide for Luminescence Sampling in Archaeological and Geological Contexts. *Advances in Archaeological Practice: A Journal of the Society for American Archaeology*, 3(2), 166–177.
- Noto, L. L., Swart, H. C., Mothudi, B. M., Mbule, P. S., Dhlamini, M. S. 2016. The Dynamics of Luminescence. *Luminescence - An Outlook on the Phenomena and their Applications*. IntechOpen, 378, Rijeka.
- Prescott, J. R., Hutton, J. T. 1994. Cosmic Ray Contributions To Dose Rates For Luminescence and ESR Dating: Large Depths and Long-Term Time Variations. *Radiation Measurements*, 23(2-3), 497-500.
- Preusser, F., Chithambo, M. L., Götze, T., Martini, M., Ramseyer, K., Sendezera, E. J., Susino, G. J., Wintle, A. N. 2009. Quartz as a natural luminescence dosimeter. *Earth-Science Reviews*, 97, 184-214.
- Preusser, F., Degering, D., Fuchs, M., Hilgers, A., Kadereit, A., Klasen, N., Krbetschek, M., Richter, D., Spencer, J. Q. G. 2008. Luminescence dating: basics, methods and applications. *Eiszeitalter und Gegenwart Quaternary Science Journal*, 57/1–2, 95–149.,

- Readhead, M. L. 1988. Thermoluminescence Dating Study Of Quartz in Aeolian Sediments From Southeastern Australia. *Quaternary Science Reviews*, 7(3-4), 257-264.
- Schulman, S. G. 1977. Fluorescence And Phosphorescence Spectroscopy Physicochemical Principles and Practice. Pergamon Press, 288, Oxford.
- Seeley, M. A. 1975. Thermoluminescent Dating in its Application to Archaeology: A Review. *Journal of Archaeological Science*, 2, 17-43.
- Smallman, R. E., Ngan, A. H. W. 2013. Modern Physical Metallurgy. Butterworth-Heinemann, 720, Oxford.
- Spaeth, J. M., Overhof, H. 2003. Point defects in semiconductors and insulators : Determination of atomic and electronic structure from paramagnetic hyperfine interactions. Springer, 490, Berlin.
- Sunta, C. M. 2015. Unraveling Thermoluminescence. Springer, 188, Yeni Delhi.
- Şahiner, E., Meriç, N., Uygun, S. 2013. Luminescence (IRSL) dating of Yeni Rabat church in Artvin, Turkey. *Radiation Physics and Chemistry*, 86, 68-73.
- Şahiner, E. 2010. Doğal radyoaktif izotoplarda gerçek çıkışma etkisi. Yüksek lisans tezi, Ankara üniversitesi, 80 sayfa. Ankara.
- Şahiner, E. 2015. Paleosismolojik Çalışmalarda Tl/Osl Ve Esr Yöntemlerinin Kullanılması: Kütahya-Simav Ve Kuzey Anadolu Fay Hattı. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi, 230, Ankara.
- ThoughtCo. Visible Light Definition and Wavelengths, 2020. Web Sitesi. <https://www.thoughtco.com/definition-of-visible-light-605941/>. Erişim Tarihi: 09.08.2020.
- UNESCO, 2012. Web Sitesi. <https://whc.unesco.org/en/tentativelists/5730/>. Erişim Tarihi: 14.07.2020.
- Ünal, R.H. 2018. Beçin Kazılarının 15 Yılı (1995-2009) Muğla Büyükşehir Belediyesi, 356, Muğla.
- Wikipedia, 2020. Web Sitesi. https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation/. Erişim Tarihi: 09.08.2020.
- Wintle, A. G. 1997. Luminescence Dating: Laboratory Procedures and Protocols. *Radiation Measurements*, 27(5-6), 769-817.

EK 1 T.C Milas Kaymakamlığı Milas Müze Müdürlüğü İzin Belgesi



T.C.
MİLAS KAYMAKAMLIĞI
Milas Müze Müdürlüğü

Sayı : 51034835-160.01.01-E.919881
Konu : Beçin Kalesi Kazısı, Seramik
Örneklerinin Analizi.

07.11.2019

BEÇİN KAZI BAŞKANLIĞINA

İlgi : 04.11.2019 tarihli yazımız.

Muğla İli, Milas İlçesi, Mutluca Mahallesi, Beçin Kalesi ve Örenlerinde yer alan Bey Hamamı yapısından alınan 11 (onbir) adet seramik parçasının analizlerinin yapılması istemine ilişkin ilgi başvurunuz incelenmiştir.

Müdürlüğümüz uzmanlarınca oluşturulan komisyon tarafından incelemesi tamamlanan analiz örneklerinin Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Laboratuvarlarına gönderilmesinde Müdürlüğümüzce bir sakınca bulunmamaktadır.

Gereğini rica ederim.



e-imzalıdır

Gülnaz SAVRAN
Müze Müdürü

Not: 5070 sayılı Elektronik İmza kanunu gereği bu belge elektronik imza ile imzalanmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Refik TOPTANCI

Doğum Yeri : DİYARBAKIR

Doğum Tarihi : 23.02.1986

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ömer Seyfettin Lisesi (2004)

Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü (2012)