

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAPADOKYA VOLKANİK KAYAÇLARI İÇİNDE OLUŞAN
MİNERALLERİN LÜMINESANS ÖZELLİKLERİ VE RADYOLOJİK
İNCELENMESİ**

Burcu GÜNAY KOZANLILAR

MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI

ANKARA

2011

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAPADOKYA VOLKANİK KAYAÇLARI İÇİNDE OLUŞAN
MİNERALLERİN LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİ VE RADYOLOJİK
İNCELENMESİ**

Burcu GÜNAY KOZANLILAR

MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI

ANKARA

2011

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Hayriye Yeter GÖKSU danışmanlığında, Burcu KOZANLILAR tarafından hazırlanan “Kapadokya Volkanik Kayaçları İçinde Oluşan Minerallerin Lüminesans Özellikleri ve Radyolojik İncelenmesi” adlı tez çalışması 12/ 05/ 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Medikal Fizik Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Çelik TARIMCI

İmza: 

Üye : Prof. Dr. H.Yeter GÖKSU

İmza: 

Üye : Prof. Dr. Y. Kaan KADIOĞLU

İmza: 

Üye : Prof. Dr. Doğan BOR

imza: 

Üye : Doç. Dr. Mustafa TOPAKSU

imza: 

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Doğan BOR
Enstitü Müdürü



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAPADOKYA VOLKANİK KAYAÇLARI İÇİNDE OLUŞAN MİNERALLERİN LÜMINESANS ÖZELLİKLERİ VE RADYOLOJİK İNCELENMESİ

Burcu GÜNAY KOZANLILAR

Ankara Üniversitesi
Nükleer Bilimler Enstitüsü
Medikal Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hayriye Yeter GÖKSU

Kapadokya bölgesindeki Tuzköy, Karain ve Sarıhıdır köylerinin çevresinde zeolit minerallerinin yaygınlığı pek çok çalışma da bildirilmiştir. Zeolitlerin ayrışmasıyla oluşan eriyonit tozlarının solunum yoluyla alınması sonucunda mezotelyoma (akciğer zarı kanseri) ve akciğer kanserine neden olduğu öne sürülmektedir. Bu çalışmada Orta Anadolu Volkanik bölgesi içerisinde bir mağaradan toplanan iğne yapılı minerallerin ve ev tozlarının lüminesans özellikleri incelenmiş, lüminesans tarihlendirme yöntemi ile oluşum yaşlarını saptanması amaçlanmıştır. Örneklerin yapısal analizleri Konfokal Raman Spektroskopisi, X-Işını Difraksiyonu, X-ışını Floresansı, Taramalı Elektron Mikroskobu, Gama Spektroskopisi yöntemleri ile incelenmiştir. Yapılan incelemelerde eriyonit minerallerine rastlanmamıştır. Sarıhıdır mağarasından toplanan iğnemsî görünümdeki minerallerin insan sağlığına zararlı olmayan, suda çözünebilen ve halk arasında “İngiliz tuzu” olarak bilinen ‘epsonit’ olduğu saptamıştır. Ayrıca gerek kaya gerekse toz örneklerinde bulunan diğer minerallerin de tıbbi jeoloji açısından zararlı mineral grubuna girmediği belirlenmiştir.

2011, 102 sayfa

Anahtar Kelimeler: Termolüminesans, Optik Uyarımlı Lüminesans, Radyolojik incelemeler, X-ışını Difraksiyon (XRD), X-ışını Floresansı (XRF), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

ABSTRACT

Masters Thesis

INVESTIGATION OF LUMINESCENCE AND RADIOLICAL PROPERTIES OF MINERALS FORMED IN THE VOLCANIC ROCK OF CAPPADOCIA REGION

Burcu GÜNAY KOZANLILAR

**Ankara University
Institute of Nuclear Sciences
Department of Medical Physics**

Supervisor: Prof. Dr. Hayriye Yeter GÖKSU

The prevalence of zeolite minerals in Tuzköy, Karain and Sarıhıdır villages in Cappadocia region reported in many studies. The erionite minerals that are known to be originated from the weathering of zeolite minerals are assumed to causes the lung cancer (mesothelioma) among the population of Cappadocia. In this study fibrous minerals collected from the caves in Central Anatolia, Volcanic Region and dust from houses are used to investigate the luminescence properties and determination the formation age of the minerals. Confocal Raman Spectroscopy, X-ray Diffraction, X-ray Fluorescence, Scanning Electron Microscopy and Gamma Spectroscopy is used to investigate their chemical and structural analyses. As a result, it is found that the needle like minerals are not erionite, but harmless “epsonit” known to be dissolved in water. Furthermore, it is also found that the samples collected from the surrounding rocks and the dust from the house do not contain harmful minerals.

2011, 102 pages

Key words: Thermoluminescence, Optical Stimulated Luminescence, Radiological investigations, X-Ray Diffraction (XRD), X-ray Fluorescence (XRF), Scanning Electron Microscope (SEM)

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof.Dr. H.Yeter GÖKSU'ya, tez çalışmasını yapmam için desteğini esirgemeyen Enstitü Müdürümüz Sayın Prof. Dr. Doğan BOR ve Prof. Dr. Haluk YÜCEL'e, çalışmamın bir parçası olan gama spektroskopisi ölçümlerini yapan Sayın Esra KÖSE'ye, kullandığım örneklerin XRD, XRF analizini yapan Sayın Prof.Dr. Yusuf Kaan KADIOĞLU'na, örneklerin SEM analizlerini yapan Sayın Yeşim MOĞOLKOÇ' a tez çalışmamda manevi desteğini hep hissettiğim arkadaşım Sayın Şule KAYA'ya, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan annem Sayın Ayşe GÜNAY, babam Sayın Erdoğan GÜNAY, kardeşim Birhan GÜNAY ve eşim Murat KOZANLILAR' a teşekkürlerimi sunarım.

Burcu GÜNAY KOZANLILAR

Ankara,2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1 Termolüminesans (TL)	5
2.2 Basit Termolüminesans modeli.....	5
2.3 Birinci, İkinci ve Genel Mertebeden TL Kinetiği	7
2.4 Kinetik Parametrelerin Analiz Yöntemleri	13
2.4.1 Başlangıçtaki artış yöntemi	13
2.4.2 Maksimum TL şiddetindeki sıcaklığa dayanan yöntem.....	14
2.4.3 Farklı ısıtma hızlarına dayanan yöntem	15
2.4.4 İzotermal azalım yöntemi.....	16
2.4.5 Kesikli ışımaya eğrisi yöntemi (T_M - T_{STOP}).....	17
2.4.6 Işıma eğrisinin şekline dayanan yöntem	18
2.4.7 Bilgisayarlı ışımaya eğrisi ayrıştırma yöntemi.....	19
2.5 Isısal Sönümlenme	20
2.6 Optik Uyarımlı Lüminesans.....	21
2.7 Lüminesans Yöntemi İle Tarihlendirme.....	26
2.8 Lüminesans Yöntemi İle Minerallerin Oluşum Yaşlarının Saptanması.....	26
2.8.1 Yeniden oluşturma tekniği	27
2.8.2 İlave doz tekniği	27
2.9 Yıllık Dozun Saptanması	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1 Örneklerin Toplanması	31
3.2 Örnek Hazırlamada Kullanılan Materyaller	33
3.2.1 Fırın	33
3.2.2 Elekler	34

3.2.3 Ultrasonik banyo	35
3.3 Lüminesans Ölçüm Sistemi	35
3.3.1 Örnek taşıyıcı (Karusel)	37
3.3.2 Işık dedeksiyon Sistemi.....	38
3.3.2.1 Foto çoğaltıcı tüp (PMT)	38
3.3.2.2 Optik filtreler.....	39
3.3.3 Lüminesans uyarım sistemi.....	41
3.3.3.1 Isıtma ile uyarım sistemi.....	41
3.3.3.2 Optik uyarım sistemi	41
3.3.3.3 Referans ışık kaynağı.....	42
3.3.4 Beta ışınlama kaynağı.....	43
4. BULGULAR	44
4.1 Kapadokya Örneklerinin Hazırlanması	44
4.1.1 İnce tanecik tekniği	44
4.2 Doğal ve Yapay Radyonüklit Miktarları	45
4.3 Örneklerin X-ışını Kırınımı Analizi	47
4.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	48
4.5 İğne Yapılı Mineralin TL Özelliklerinin İncelenmesi.....	50
4.5.1 İğne yapılı mineralin TL ışımaya eğrisi	50
4.5.2 İğne yapılı mineralin TL hassasiyet değişiminin incelenmesi.....	54
4.5.3 İğne yapılı mineralin gün ışığında solma özelliği	55
4.5.4 İğne yapılı mineralin anormal solma özelliği.....	56
4.5.5 İğne yapılı mineralin toplam soğurulan dozunun saptanması.....	57
4.5.6 İğne yapılı mineralin yıllık dozunun ve yaşının saptanması.....	61
4.6 İğne Yapılı Mineralin OSL Özellikleri.....	63
4.6.1 İğne yapılı mineralin IR-OSL ile toplam soğurulan dozunun saptanması.....	65
4.6.2 SAR tekniği ile iğne yapılı mineralin toplan soğurulan dozunun saptanması.....	68
4.6.2.1 Tek Tablet Yeniden Oluşturma tekniği (SAR).....	68
4.7 Evlerden Toplanan Toz Örneklerinin İncelenmesi.....	70
4.7.1 Karain toz örneğinin natürel TL Işıma eğrisi	70
5.7.2 Karain toz örneğinin toplam soğurulan dozunun saptanması.....	71
TARTIŞMA VE SONUÇ	74

KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ.....	80
EKLER.....	81
EK 1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analiz sonuçları	82
EK 2 Kapadokya bölgesinden toplanan tüm örneklerle ait aktivite sonuçları	81
EK 3 Kapadokya bölgesinden toplanan tüm örneklerle ait aktivite sonuçları ortalaması	81
EK 4 X Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları	81

SİMGELER DİZİNİ

E	Tuzak derinliği (tuzak enerjisi)
eV	Elektron Volt
a.u	Keyfi birim
Gy	Gray
MDA	Ölçülebilir En Küçük Aktivite
s	Frekans faktörü
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TLD	Termolüminesans Dozimetre
XRD	X-Işını Difraksiyonu
τ	Tuzağın yarı ömrü
XRF	X-Işınları Flüoresansı
GRS	Gama Spektroskopi
TSD	Toplam Soğurulan Doz
OSL	Optik Uyarımlı Lüminesans
IR-OSL	Kırmızı Altı Optik Uyarımlı Lüminesans

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Enerji Band Modeli	6
Şekil 2.2 Termolüminesans ölçümlerinde lineer bir hızla (β) arttırılan sıcaklıklarda, zamanın (t) bir fonksiyonu olarak; T(t) sıcaklık artışını, I(t) TL şiddetini ve $n_h(t)$ yeniden birleşme merkezlerindeki deşiklerin konsantrasyonunun azalması.....	7
Şekil 2.3 Parametreleri $E = 1$ eV, $s = 10^{12} s^{-1}$, $n_0 = N = 10^3 m^{-3}$ olan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması.	9
Şekil 2.4 Parametreleri $E = 1$ eV, $s = 10^{12} s^{-1}$, $N = 10^{10} m^{-3}$ ve (a) $n_0 = 1, 0.5, 0.1 \times 10^{10} m^{-3}$, (b) $n_0/N = 1, 0.5, 0.1$ olan farklı başlangıçtaki tuzaklanan elektron konsantrasyonuna sahip (n_0), Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6 kullanılarak hesaplanan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrileri.....	10
Şekil 2.5 Eşitlik 2.5'ten hesaplanan birinci mertebeden TL ışımaya eğrileri (a) $E = 1.0$ eV, farklı frekans faktörleri s ve (b) $s = 10^{12} s^{-1}$ ve farklı aktivasyon enerjileri	11
Şekil 2.6 Eşitlik 2.7 kullanılarak farklı kinetik mertebe değerleri b için hesaplanan genel mertebeden TL ışımaya eğrisi.....	12
Şekil 2.7 Termolüminesans ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmı.....	13
Şekil 2.8 TL ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmına uygulanan başlangıçtaki artış yöntemi.....	14
Şekil 2.9 Kesikli ışımaya eğrisi yöntemini gösteren grafik	17
Şekil 2.10 TL ışımaya eğrisinde geometrik şeklin parametreleri (τ, δ, ω).....	18
Şekil 2.11 OSL sisteminin basitleştirilmiş diyagramı	22
Şekil 2.12 OSL okuma metotlarının gösterimi.....	25
Şekil 2.13 Yeniden oluşturma tekniğinde TSD' un tespiti için elde edilen grafik.....	27
Şekil 2.14 İlave doz tekniğinde TSD' un tespiti için elde edilen grafik.....	28
Şekil 3.1 Kapadokya bölgesinde örnek toplanan köyler	32
Şekil 3.2 Kapadokya bölgesinden toplanan örnek	33
Şekil 3.3 Fırın	34
Şekil 3.4 Elekler	34
Şekil 3.5 Ultrasonik banyo	35
Şekil 3.6 Risø TL/OSL okuyucunun şematik gösterimi.....	35
Şekil 3.7 Risø TL/OSL Sistemi.....	36
Şekil 3.8 Örnek diskleri ve planşetleri (solda), örnek karuseli (sağda).....	38

Şekil 3.9 Optik filtreler.....	39
Şekil 3.10 RISØ TL/OSL okuyucuda kullanılan optik filtrelerin geçirgenlik spektrumları	40
Şekil 3.11 a) Isıtıcının ölçüm pozisyonundaki resmi, b) Karuselinde yerleştirildiği a) ile aynı ısıtıcının resmi	41
Şekil 3.12 OSL birimindeki IR ve mavi LED'i beraber gösteren şematik diyagram.....	42
Şekil 3.13 ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y Beta ışınlayıcı şematik diyagramı	43
Şekil 4.1 Kapadokya bölgesinden toplanan örneklerinin içerdiği a) U, b)Th, c) K aktivite miktarlarının dünya ortalaması ile karşılaştırılması.	46
Şekil 4.2 XRD ve gama GRS den elde edilen U, Th, K'a ait ppm histogramı	48
Şekil 4.3 500 °C' ye kadar ısıtılan ince tanecik iğne yapılı mineralin 300 °C' de, tepesinin bulunduğu gözlenmiştir. Daha önce ısıtılmış örneğin tepesi ise 180 °C dedir....	50
Şekil 4.4 İğne yapılı minerali ezerek hazırlanan örneklerle yapılan ölçümlerden kayıt edilen yapay TL ışımaya eğrisi (Örneklere verilen doz 120 Gy).....	51
Şekil 4.5 İğne yapılı mineralin ince tanecik tekniği kullanılarak hazırlanması ile yapılan TL ölçümlerinden kayıt edilen yapay TL ışımaya eğrisi (örneklere verilen doz 120 Gy)	52
Şekil 4.6 İğne yapılı mineral suda çözüldükten sonra dibe çökelen kısımla hazırlanan örnekler ile yapılan TL ölçümlerinden kayıt edilen yapay TL ışımaya eğrisi (örneklere verilen doz 120 Gy)	52
Şekil 4.7 Şekil 4.8 İğne yapılı minerale ait TL ışımaya eğrileri	53
Şekil 4.8 Tekrarlanan ışınlama ve ısıtma sonunda radyasyon hassasiyetindeki değişimi ..	54
Şekil 4.9 Gün ışığına maruz bırakılan ısınmış örneklerin, artan süreye karşı yüzde olarak solmalarını gösteren grafik.....	55
Şekil 4.10 Gün ışığına maruz bırakılan ısınmamış natürel örneklerin, artan süreye karşı yüzde olarak solmalarını gösteren grafik	56
Şekil 4.11 Tünelleme olayında elektronların uyarılmadan deşikler ile birleşmesi	56
Şekil 4.12 Yeniden oluşturma tekniği ile elde edilen TL ışımaya eğrisi	58
Şekil 4.13 İlave doz tekniği ile elde edilen TL ışımaya eğrileri	58
Şekil 4.14 İlave doz tekniği ile elde edilen doz cevap eğrisi	59
Şekil 4.15 İlave doz tekniği ve yeniden oluşturma teknikleri kullanılarak elde edilen doz cevap eğrisi	59
Şekil 4.16 İğne yapılı mineralin natürel OSL ışımaya eğrisi	63
Şekil 4.17 OSL uyarma sıcaklığına bağlı olarak IR- OSL ışımaya eğrisindeki değişim	63

Şekil 4.18 OSL uyarma sıcaklığına bağlı olarak OSL redyasyon verimindeki değişim..	64
Şekil 4.19 İlave doz tekniği doz cevap eğrisi	66
Şekil 4.20 Yeniden oluşturma tekniği doz cevap eğrisi	66
Şekil 4.21 SAR tekniği ile toplam soğurulan dozun saptanma şeması	68
Şekil 4.22 SAR tekniği ile elde edilen analiz sonucu.....	69
Şekil 4.23 Karain köyündeki evlerden toplanan toz örneğinin TL ışımaya eğrisi.....	71
Şekil 4.24 Karain toz örneği ile iğne yapılı mineralin ışımaya eğrilerinin karşılaştırılması.	71
Şekil 4.25 İlave doz ve yeniden oluşturma teknikleri kullanılarak elde edilen grafik.	72
Şekil 4.26 İğne yapılı mineralin TL ışımaya eğrisinde toplam soğurulan dozun saptandığı pik alanı ile aynı integral alan alınarak integral alan alınarak elde edilen Karain toz örneğine ait doz cevap eğrisi.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Araziden toplanan örneklerin gama spektroskopisi yöntemi ile elde edilen radyonüklit miktarı	45
Çizelge 4.2 Araziden toplanan örneklerin XRF yöntemi ile elde edilen radyonüklit miktarları	46
Çizelge 4.3 İğne yapılı mineralin doğal ışınım eğrisinin elde edilme işlem sırası	51
Çizelge 4.4 Anormal solma deneyi işlem sırası	57
Çizelge 4.5 İlave doz ve yeniden oluşturma teknikleri ile toplam soğurulan dozun saptanması	60
Çizelge 4.6 Örneklerin ihtiva ettiği radyoizotopların XRD yöntemi ile elde edilen konsantrasyonu	61
Çizelge 4.7 Yıllık doz hızı dönüştürme katsayıları	61
Çizelge 4.8 İğne yapılı mineralin toplam soğurulan dozu	62
Çizelge 4.9 IR-OSL uyarma sıcaklığının saptanması deneyi işlem sırası	65
Çizelge 4.10 IR-OSL metodu ile ilave doz ve yeniden oluşturma teknikleri kullanılarak TSD hesap edilmesi için izlenen ölçüm sırası	67
Çizelge 4.11 SAR tekniği ölçüm prosedürü	70

1. GİRİŞ

Orta Anadolu Volkanik provensi içerisinde yer alan Kapadokya Neojen-Kuvaterner yaşlı volkanik kayaların oluşumu ile genel şeklini almıştır. Kapadokya bölgesinde volkanik kayaların yanında yayılımları oldukça fazla olan piroklastik kayalarda yer almaktadır. Kapadokya piroklastik kayaları, bölgenin paleo coğrafyasına göre önemli ölçüde ayrışarak başta zeolit olmak üzere silika, karbonat ve evaporit minerallerinin oluşumuna neden olmuştur.

Zeolit minerallerinin daha çok Kapadokya bölgesindeki Tuzköy, Karain ve Sarıhıdır köylerinin çevresinde yayıldığı pek çok çalışma da bildirilmiştir. Burada oluştuğu ve eriyonit olduğu öne sürülen mineral tozlarının solunum yoluyla alınması sonucunda malign plevral mezotelyoma ve akciğer kanserine neden olduğu ifade edilmiştir. 70' li yıllarda bu bölgede meydana gelen kanser ölümlerinin yaklaşık %50' sinin mezotelyoma (akciğer zarı ve karın zarı kanseri) ve akciğer kanserinden gerçekleştiği dikkati çekmiş ve yazılan ilk makalelerde kansere neden olarak bölgenin jeolojik yapısında bulunan eriyonit tozlarının solunumundan kaynaklandığı öne sürülmüştür (Barış 1975). Sonraki yıllarda yapılan çeşitli epidemiyolojik çalışmalar, fare deneyleri, eriyonit olduğu düşünülen lifsel yapıları mineralerin morfolojisinin incelenmesi gibi çalışmalar yapılarak incelemeler devam etmiştir.

Kanserojen olduğu düşünülen iğne yapıları mineralin kimyasal formülü $K_2Ca_{1.5}NaMg(Al_8Si_{28})O_{72} \cdot 28H_2O$ (Doğan v. d. 2006) ile verilmiş ve zeolit grubuna ait eriyonit olduğu, birkaç mikron boyutunda, lifsi ve iğnemi, alüminyum silikat yapısında mineral olduğu belirtilmiştir (Doğan 2008). Ayrıca, burada verilen formülün kimyasal bileşimi konusunda yapılan çalışmalarda anlaşmazlıklar vardır. Bir mineralin eriyonit olup olmadığının belirlenmesinde çeşitli analiz yöntemleri kullanılır. En çok kullanılan yöntem XRD yöntemidir. XRD yöntemiyle elde edilen veriler ile bir numunenin hangi mineral olduğunu söylemek güçtür. Eriyonit bir zeolit grubu mineraldir ve tüm zeolit grubu minerallerde Si, Al, O, Mg gibi elementler bulunmaktadır. Ayrıca numunenin eriyonit olup olmadığının belirlenmesinde, numunenin kimyasal kompozisyonu dikkate alınıp değerlendirilir. Fakat eriyoniti, diğer zeolit grubu minerallerden ayıran özelliği onun fiziksel yapısıdır.

Yapılan bazı çalışmalarda, eriyonit kanserojen mineral olarak kabul edilen asbest ile kıyaslanmış ve kanserojen olduğu vurgulanmıştır. Hillerdal v.d. (1983) tarafından çevresel eriyonit ve asbest maruziyetinin akciğer zarı kanserine sebep olduğu söylenmiş, eriyonitin çapı ve boyutlarından dolayı asbeste göre daha kanserojen olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, eriyonitin hegzagonal yapıda ve asbestten 20 kat daha geniş olduğunu, küçük molekülleri tutarak kimyasal reaksiyonları katalize ettiği, oksijenle reaksiyona girip serbest radikal oluşturma özelliği olduğu belirtilmiştir. Karain ve Tuzköy köylerinden alınan Türk eriyoniti referans eriyonitle (Jersey Valley, Nevada) karşılaştırıldığında magnezyum miktarının daha fazla olduğunu saptanmıştır. Bu durumda Türk eriyonitini daha kanserojen olabileceği Salih Emri v.d. (2002)' nin yaptığı çalışmada vurgulanmıştır. Köylerdeki toz örneklerinde lifsel yapılar gözlemlenmedikleri halde, bu köylerin boşaltılması gerektiğini ve çelişkili olarak da mezotelyomanın genetik bir hastalık olduğu gösterilebilirse gelecek kuşaklarda hastalığın görülme sıklığının azaltılabileceğini yine aynı çalışmada belirtilmiştir. Doğan' nın 2003 yılında yayınlanan başka bir makalesinde, eriyonitin IARC ve WHO tarafından yayınlanan raporlarda kanserojen maddeler arasında olduğu ve GRUP 1 olarak sınıflandırıldığı ifade edilmiştir (Doğan v.d. 2003). Fakat Dünya Sağlık Örgütü WHO ilgili raporunda eriyonit gruplandırılmasında İ.Y. Barış'ın 1985' deki makalesi referans gösterilmiştir. Ancak, bu makaleyi destekleyen bir çalışma henüz bulunmadığı için kesinlik kazanmamıştır, ifadesi de kullanılmıştır. Makalede, eriyonitin sınıflandırılması üzerinde durulmuştur. Doğan v.d. (2008.)' nin son yıllarda yaptığı çalışmalarda eriyonitin tanımlanmasındaki zorluklar ve ona bağlı olarak bilimsel tartışmalarının da devam ettiği gözlenmektedir.

Hammady v.d. (2001)' nin yaptığı çalışmada bu bahsedilen kanser köylerine komşu ve aynı jeolojik yapıya sahip köylerde mezotelyoma görülmemesi nedeni ile hastalığın genetik olarak taşındığı ve eriyonitin hastalığın ortaya çıkmasında kofaktör olabileceği belirtilmiştir. Doğan v.d. (2003) tarafından eriyonit köylerinden İsveç'e göç eden kişiler, İsveç' te aynı yaş ve cinsiyetteki kişilerle kıyaslanmış, erkeklerde 135, kadınlarda 1336 kat daha fazla mezotelyoma riski olduğu saptanmıştır. Ayrıca bu riskin, göçten önce ne kadar uzun süre o bölgede yaşamakla da artış gösterdiği belirtilmiştir.

Her ne kadar göçten önce halkın maruz kaldığı süre ile ilişkilendirmeye çalışılmış ise de araştırma dikkatle incelendiğinde erken yaşta İsveç'e göç edenlerin araştırmanın yapıldığı tarihte henüz kanser olma yaşına gelmediği gözlemlenmektedir (Metintaş v.d. 1999). Bu konuyla ilgili aynı köy içinde yapılan soy çalışmalarında bazı ailelerde MM hastalığı yüksek oranda görülürken, bazı ailelerde MM (malign mezotelyoma) hastalığı saptanmamıştır. Bu nedenle, hastalığın genetik olabileceği belirtilmiştir. Çalışmada, eriyonite maruz kalmanın genetik yatkınlığı olan kimsede hastalığın ortaya çıkma oranını 6.5 kat arttırdığını belirlemiştir. Ayrıca eriyonitin cinsi farklı olduğu için kansere neden olabileceği düşünülmüş, fakat referans eriyonitle kıyaslandığında yüzeysel doku ve kompozisyon bakımından ayıracak bir özellik bulunamamıştır (Doğan v.d. 2006). Mezotelyomanın araştırılması ile ilgili yapılan klinik çalışmada, MM hastalığının daha ileri yaşlarda görüldüğü ve HLA-B41,B58 ve DR16 antijenleri ile MM hastalığı arasında ilişki olduğu Karakoca v.d. (1998) tarafından saptanmıştır.

Fare deneylerinin ilki 1985 yılında Wagner v.d. tarafından yapılmış ve fareler üzerinde, solunum ve akciğer zarının aşılması metotları kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneylerde Oregon'dan alınan standart eriyonit ve Karain' den alınan örnekler karşılaştırılmıştır. Oregon ve Türkiye' den alınan örnekler ile plevra içi aşılana farelerin neredeyse hepsinde tümör ürettiğini ve öldüğünü, solunum deneylerinde toz örneklerinin yüksek oranda tümör ürettiğini söylemiş fakat, Karain örneği sonuçları verilmemiştir. Makalenin sonucunda ise yalnızca Oregon eriyonitinin genotoksik madde olduğu sonucuna varmışlardır. Daha sonraki yıllarda fare deneyleri tekrarlanmış ve elde edilen verilerin daha önce yapılan çalışmalara göre daha düşük çıktığı ve bunun nedeninin bilinmediği söylenmiştir. Deneyler sırasında kullanılan eriyonitin saf olmadığı söylenmiş ve bu nedenle mezotelyoma oluşumunun eriyonite bağlanmasının doğru olmayacağı araştırmacılar tarafından itiraf edilmiştir (Armando 1997).

Sonuç olarak, yukarıda özetlenen tüm araştırma ve yayınlardan da anlaşılacağı gibi eriyonit ve mesotelyoma arasındaki ilişki konusunda çok çelişkili sonuçlar olduğu gözlenmiş, ancak şu anda genetik yatkınlığın büyük faktör olabileceği tartışma konusu olmuştur.

Yapılan bu tez çalışmasında, Kapadokya bölgesinde yapılan arazi çalışmasında, Sarıhıdır köyündeki bir mağaradan volkanik kayaçların ayrışması sonunda oluşan iğne, yaprakımsı ve pamuk görünümlü mineraller ve evlerdeki toz örnekleri alınarak bu örneklerin arasındaki lüminesans özelliklerinin benzerliği incelenmiştir. Yapılan çalışma sonunda, Sarıhıdır mağarasından toplanan iğne, yaprakımsı ve pamuk yapılı mineraller ayıklanmış, bu minerallerden iğnemsî ve pamuk yapılı olanlar seyreltik asitte ve saf suda çözüldüğü gözlenmiştir. Elde edilen mineraller Konfokal Raman Spektrometre, XRD, XRF kimyasal analiz ve SEM görüntüleme yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda iğnemsî mineraller epsomit ve yaprakımsı olanlar ise ferronatrit evaporit grubu minerallere ait olduğu ve tıbbi jeoloji açısından zararlı mineral grubuna bağlı olmadığı belirlenmiştir. Bu minerallerin suda çözülmeden ve çözünmesi sonucunda elde edilen çökeltinin termal ve optik uyarımlı lüminesans özellikleri incelenmiş ve evlerden toplanan toz örnekleri ile benzerliği üzerine çalışılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, amacımız Sarıhıdır mağarasından toplanan ve eriyonit olduğu sanılan iğne yapılı minerallerin lüminesans özelliklerini incelemek ve bu özellikleri kullanarak, evlerden toplanan toz örnekleri içinde eriyonit bulunup bulunmadığını saptamak olacaktı. Ancak, çalışmaya başladıktan bir süre sonra iğne yapılı bu minerallerin sanıldığı gibi eriyonit olmadığı gözlemlenmiş ve tez çalışmasının yönü volkanik kayaçlar içinde oluşan iğnemsî epsomitlerin oluşum yaşlarının lüminesans yöntemi ile tarihlendirilmesine yönelmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Yalıtkan ve yarıiletken maddeler iyonize radyasyona maruz kaldıklarında serbest kalan elektronlar yarı kararlı enerji seviyesindeki özel kusurlarda tuzaklanırlar. Tuzaklanan bu elektronlar termal ya da ışık yoluyla uyarıldıklarında serbest kalır ve daha düşük enerji seviyesine ışık yayarak dönerler. Bu sırada yayılan ışığa da genel olarak lüminesans denir. Tuzaklanmış elektronlar ışık ile uyarılıyor ise Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL), ısı ile uyarılıyor ise Termolüminesans (TL) olarak tanımlanır.

2.1 Termolüminesans (TL)

TL işlemi sırasında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yayılan ışık miktarını gösteren grafik “TL ışım eğrisi” olarak bilinir.

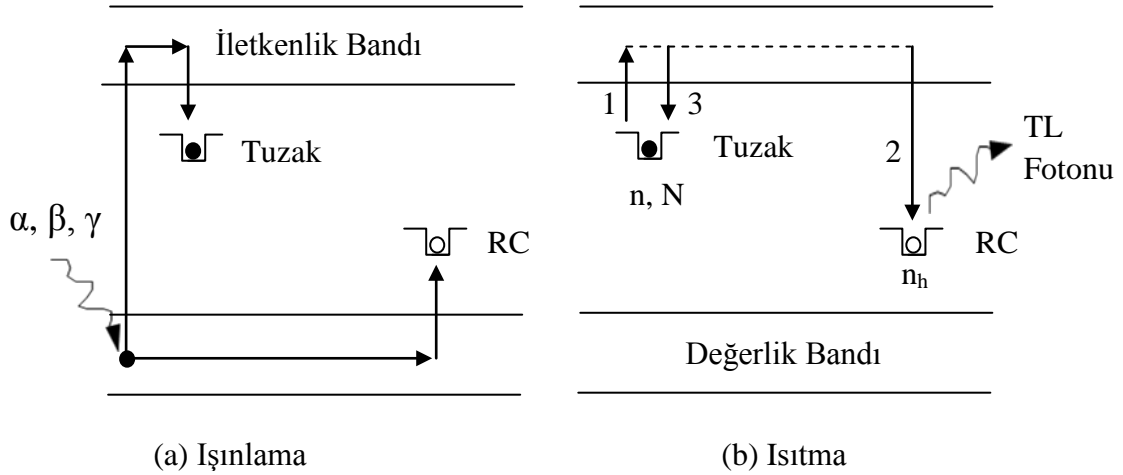
Bir maddede gözlenen termolüminesans ışım eğrileri, lüminesans ölçüm öncesi örneğe uygulanan işlemlere bağlı olarak değişir. Örneğin, maddeye uygulanan radyasyon dozuna ve ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak tuzaklardaki elektron sayıları değişeceğinden TL ışım eğrilerinin biçimi de değişir. Genellikle, TL ışım eğrilerinin ölçümü ve analizindeki asıl amaç madde içindeki TL sürecini tanımlayan parametrelerin çıkarılmasıdır. Örneğin, elektronların bulunduğu yarı kararlı enerji seviyeleri aktivasyon enerjisi veya tuzak derinliği olarak ifade edilir. Frekans faktörü olarak bilinen s ise elektronların tuzaklardan kurtulma olasılığı ile ilgilidir. TL sürecinin kinetik mertebesi b ise tuzaklardan kurtulan elektronların birleşme merkezlerinde yakalanmadan önce geçirdikleri evreler ile ilgilidir.

2.2 Basit Termolüminesans Modeli

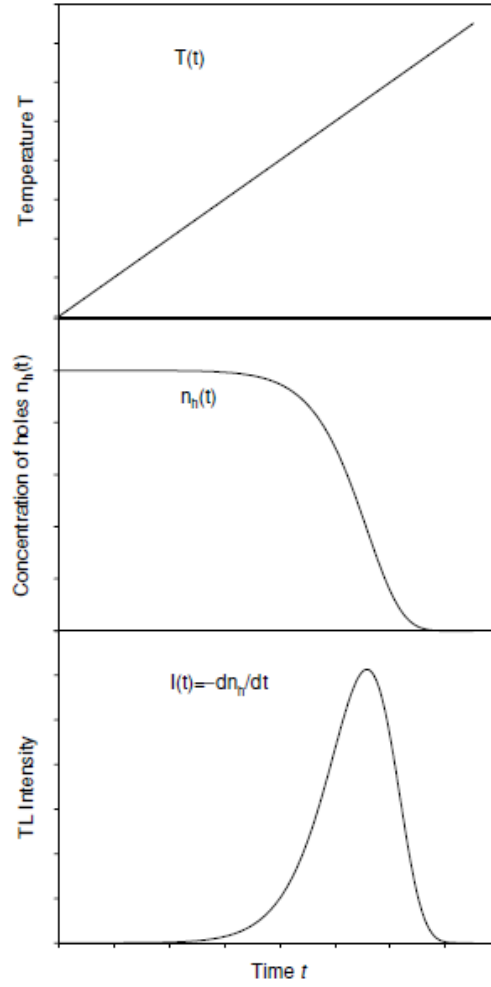
Işınlanmış bir maddenin ısıtıldığında ışık yayması işlemi, sadece iki lokalize enerji seviyesi içeren basit bir modelle anlaşılabilir. Bu modele göre tek tuzak (T) ve tek yeniden birleşme merkezinin (RC) olduğu ifade edilir (One Trap-One Recombination Centre, OTOR) (şekil 2.1a). Bu durumda Şekil 2.1’de gösterildiği gibi N , kristaldeki tuzakların toplam konsantrasyonu (m^{-3}), $n(t)$ t zamanı içinde kristaldeki doldurulan tuzakların konsantrasyonu ve $n_h(t)$, yeniden birleşme merkezlerindeki boş tuzaklarının

konsantrasyonudur. Başlangıçta $t=0$ anındaki dolu olan tuzakların konsantrasyonu n_0 olarak gösterilirse, bir termoluminesans ölçümü sırasında örneklerin 500°C 'ye lineer artan bir hızla ($\beta=dT/dt$) ısıtılarak sıcaklığın artırılması tuzaklardan iletim bandına geçen elektronların sayısını da artırır (geçiş 1). Yarı iletkenlerde iletim bandına geçen elektronlar ya yeniden birleşme merkezi (RC) ile birleşebilir (geçiş 2) ya da tekrar tuzaklanabilirler (geçiş 3), (Şekil 2.1b). Bu durumda yayılan ışığın şiddeti (I_t) aşağıdaki şekilde ifade edilir (Eşitlik 2.1):

$$I_t = -\frac{dn_h}{dt} \quad (2.1)$$



Şekil 2.1 Enerji Band Modeli, (a) Serbest hale gelen elektronların yarı kararlı enerji seviyelerinde tutulması, (b) Isıtma sonucu uyarılan elektronların daha düşük enerji seviyelerine dönerken TL fotonu yayınlanması



Şekil 2.2 Termolüminesans ölçümlerinde lineer bir hızla (β) arttırılan sıcaklıklarda, zamanın (t) bir fonksiyonu olarak; $T(t)$ sıcaklık artışı, $I(t)$ TL şiddetini ve $n_h(t)$ yeniden birleşme merkezlerindekideşiklerin konsantrasyonun azalmasını göstermektedir

2.3 Birinci, İkinci ve Genel Mertebeden TL Kinetiği

Termolüminesans sürecini belirleyen birinci, ikinci ve genel mertebeden denklemler için sırasıyla Randall-Wilkins, Garlic-Gibson ve May-Patridge tarafından verilmiştir (Randall ve Wilkins 1945, Garlic ve Gibson 1948, May ve Patridge 1964).

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = nse^{-E/kT} \quad (2.2)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^2}{N} se^{-E/kT} \quad (2.3)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = n^b s' e^{-E/kT} \quad (2.4)$$

Burada,

E = aktivasyon enerjisi veya tuzak derinliği (eV)

k = Boltzmann sabiti (eV K⁻¹)

t = zaman (s)

T = mutlak sıcaklık (K)

Tipik bir deney esnasında lineer ısıtma hızı β (Ks⁻¹), örneği değişken sıcaklıklara ısıtır ($T = T_0 + \beta t$) ve:

T_0 = zamanın sıfır olduğu andaki sıcaklık (K)

s = elektron tuzağının karakteristiğini gösteren bir sabit olup frekans faktörü olarak bilinir (s⁻¹). Bu parametre örgü fononlarıyla elektronların çarpışma frekansı ile orantılıdır. Genellikle s 'nin maksimum değeri örgü titreşim frekans değerine karşılık gelir ve genelde 10¹² s⁻¹ ile 10¹⁴ s⁻¹ arasında değişir.

N = toplam tuzak konsantrasyonu (m⁻³)

n = belli bir t zamandaki tuzaklanan elektronların konsantrasyonu (m⁻³)

b = kinetik mertebe, genellikle 1 ile 2 arasında

s' = genel mertebe kinetiği için daha önce söylenen etkin ön-eksponansiyel faktörü (m^{3(b-1)}s⁻¹)

Yukarıda verilen eşitliklerin lineer ısıtma hızı kullanıldığı düşünülerek integrali alınırsa, denklemler:

$$I(T) = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[-\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right] \quad (2.5)$$

$$I(T) = n_0^2 \frac{s}{N} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \left(\frac{n_0 s}{\beta N}\right) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right]^{-2} \quad (2.6)$$

$$I(T) = n_0 s'' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \frac{s''(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right]^{-\frac{b}{b-1}} \quad (2.7)$$

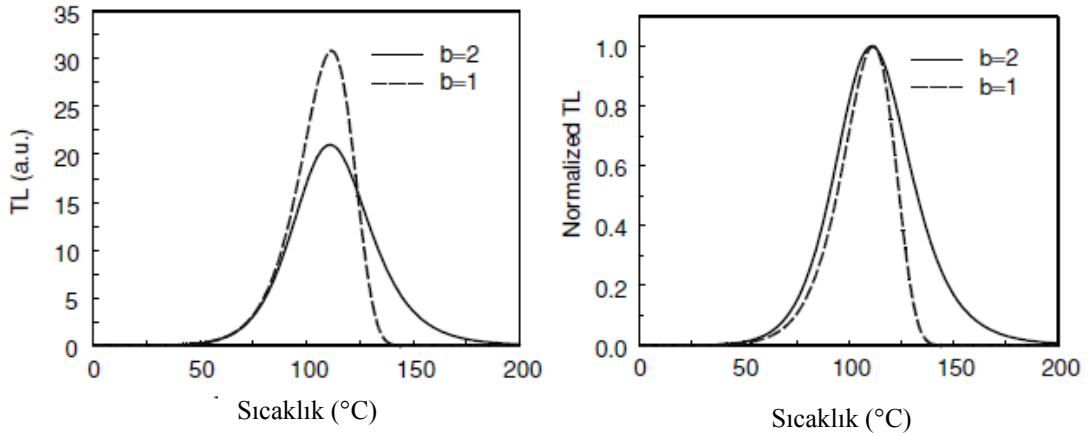
Yukarıdaki eşitliklerde, eklenen parametreler:

n_0 = zamanın sıfır olduğu anda tuzaklanan elektronların sayısı (m^{-3})

$s'' = s' n_0^{(b-1)}$ = genel mertebe kinetiği için etkin frekans faktörünü temsil eden deneysel parametre (s^{-1})

Eşitlik 2.2 ve 2.3 bazı basitleştirilen varsayımlar ile basit termoluminesans modelinden türetilmiş olmasına rağmen, genel mertebe kinetiğini gösteren Eşitlik 2.4 tamamen deneyseldir ve genelde gerçek fizik modelleriyle bağlantılı değildir.

Şekil 2.3 birinci ve ikinci mertebeden kinetik için TL ışımaya eğrilerinin karşılaştırmasını gösterir. İkinci mertebeden kinetikte ışığın yayımı tekrar tuzaklanan elektronlar tarafından geciktirilir ve bu gecikme çoğu zaman TL ışımaya eğrisinin azalan kısmında görülür.



Şekil 2.3 Parametreleri $E = 1$ eV, $s = 10^{12} s^{-1}$, $n_0 = N = 10^3 m^{-3}$ olan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması

Şekil 2.4, Eşitlik 2.5 ve 2.6'dan hesaplanan farklı birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrilerini ve tuzaklanan elektronlar için farklı başlangıç konsantrasyonlarını (n_0) gösterir. İkinci mertebeden TL ışımaya eğrisinde n_0 düştüğü için

maksimum TL şiddetinin T_M sıcaklığı yüksek sıcaklıklara kayarken birinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışıma eğrileri için maksimum TL şiddetinin T_M sıcaklığı, başlangıç konsantrasyonuna (n_0) bağlı değildir.

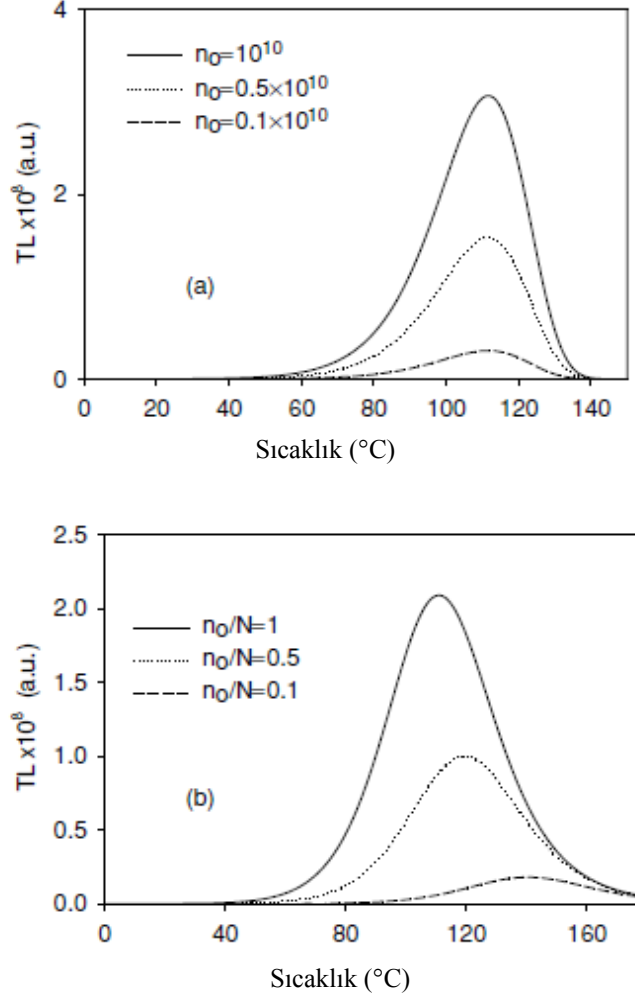


FIGURE 1.4. First-order and second-order TL glow peaks calculated using equations (1.5) and (1.6), and for different initial concentrations n_0 of trapped electrons. The parameters are $E = 1$ eV, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $N = 10^{10} \text{ m}^{-3}$ and (a) $n_0 = 1, 0.5, 0.1 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$ (b) $n_0/N = 1, 0.5, 0.1$

Şekil 2.4 Parametreleri $E = 1$ eV, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $N = 10^{10} \text{ m}^{-3}$ ve (a) $n_0 = 1, 0.5, 0.1 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$, (b) $n_0/N = 1, 0.5, 0.1$ olan farklı başlangıçtaki tuzaklanan elektron konsantrasyonuna sahip (n_0), Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6 kullanılarak hesaplanan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışıma eğrileri

Şekil 2.5, Eşitlik 2.5'ten farklı frekans faktörü s ve aktivasyon enerjileri E için hesaplanan farklı birinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışıma eğrilerini göstermektedir.

Aktivasyon enerjisi arttıkça veya frekans faktörünün değeri düştükçe TL ışıma eğrisi yüksek sıcaklıklara doğru kayar.

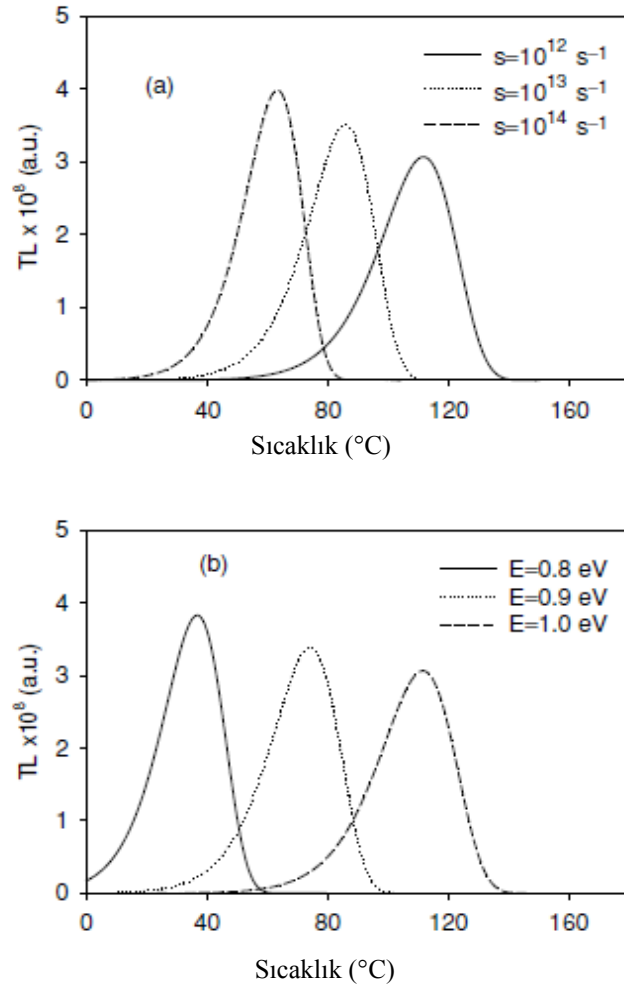
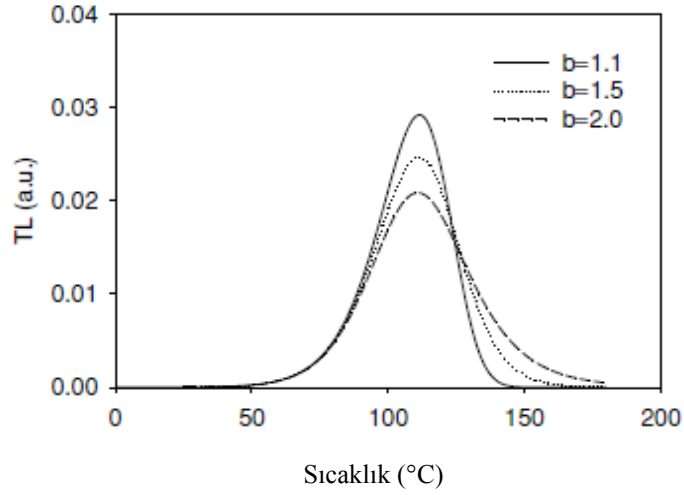


FIGURE 1.5. First-order TL glow peaks calculated using equation (1.5) for (a) different frequency factors s and $E = 1.0$ eV, and (b) for different activation energies E and $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$.

Şekil 2.5 Eşitlik 2.5'ten hesaplanan birinci mertebeden TL ışıma eğrileri (a) $E = 1.0$ eV, farklı frekans faktörleri s ve (b) $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$ ve farklı aktivasyon enerjileri

Şekil 2.6, eşitlik 2.7'den farklı kinetik mertebeye parametrelerin değerleri $b=1.1, 1.5, 2.0$ kullanılarak hesaplanan farklı genel mertebeden TL ışıma eğrilerini gösterir. Kullanılan parametreler $E = 1$ eV, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $n_0 = N = 1$, $\beta = 1 \text{ Ks}^{-1}$ dir.



Şekil 2.6 Eşitlik 2.7 kullanılarak farklı kinetik merteye değerleri b için hesaplanan genel mertebeden TL ışımaya eğrisi

Bir ışımaya eğrisinin maksimumunu veren eşitliğin hesaplanması için Eşitlik 2.5-2.7 ifadelerinin türevi alınıp sıfıra eşitlenir:

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad \text{Birinci merteye} \quad (2.8)$$

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad \text{İkinci merteye} \quad (2.9)$$

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E_t}{kT_M}\right) \left[1 + (b-1)\left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad \text{Genel merteye} \quad (2.10)$$

Burada T_M , maksimum TL şiddetine (I_M) karşılık gelen sıcaklıktır.

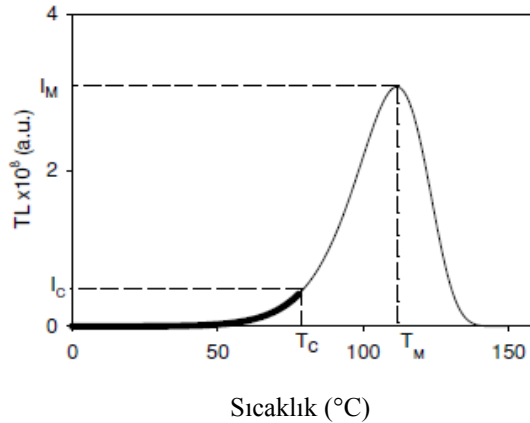
Bir TL ışımada gözlenen her hangi bir tepenin özellikleri en fazla üç parametre ile tanımlanır, bunlar: Aktivasyon enerjisi E, frekans faktörü s ve kinetik merteye b olup, farklı ölçüm teknikleri ve belirli varsayımlar kullanılarak saptanabilir. Saptanan parametrelerdeki belirsizlik de varsayımlara bağlı olarak değişir. Yaygın kullanılan bu yöntemlerden bazıları aşağıda özetlenmiştir.

2.4 Kinetik Parametrelerinin Analiz Yöntemleri

2.4.1 Başlangıçtaki artış yöntemi

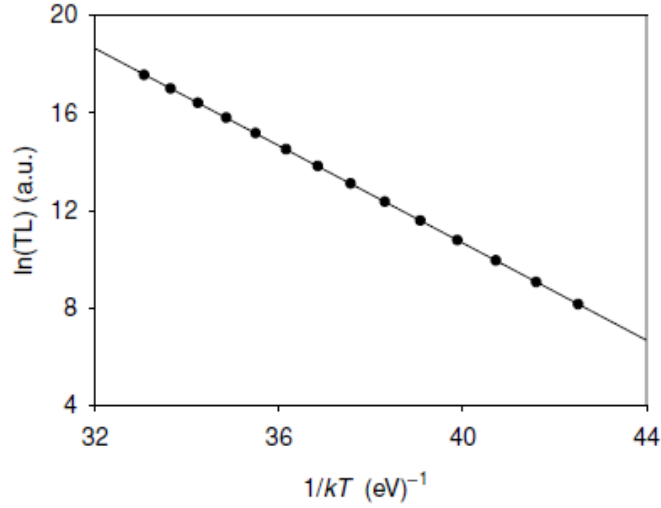
Başlangıçtaki artış yöntemi ile analiz ilk olarak Garlic ve Gibson tarafından 1948 yılında önerilmiştir. Bir TL ışımaya pikinin düşük sıcaklık kısmında tuzaklanan elektronların miktarı yaklaşık olarak sabit kabul edilebilir. Çünkü $n(T)$ 'nin sıcaklığa bağımlılığı bu sıcaklık bölgesinde ihmal edilebilir. Nitekim sıcaklık arttıkça eşitlik 2.5'teki ilk exponansiyel kısım artarken ikinci terim sabit kalır. Bu durum, kesim sıcaklığına (T_C) kadar doğrudur, bu da maksimum TL şiddetinin (I_M)%15 inden daha küçük bir TL şiddetine I_C denk gelir. Sıcaklıktaki daha fazla artış ($T > T_C$) Eşitlik 2.5'teki ikinci terimini düşürür. Burada, $n(T)$ 'nin sabit olduğu varsayımı kullanılarak termolüminesans yayımı şu şekilde tanımlanabilir:

$$I(T) \propto \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.11)$$



Şekil 2.7 Termolüminesans ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmı

Başlangıçtaki artış yöntemi uygulamasında çizilen $1/kT-\ln(I)$ grafiğinden lineer grafik elde edilir. Bu çizginin eğimi $-E$ 'yi verir ve aktivasyon enerjisi frekans faktörü bilgisi olmadan değerlendirilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 TL ışınma eğrisinin başlangıçtaki artış kısmına uygulanan başlangıçtaki artış yöntemi

2.4.2 Maksimum TL şiddetindeki sıcaklığa dayanan yöntem

Randall ve Wilkins (Randall ve Wilkins 1945) birinci mertebe denklemini çözmediler ama TL ışınma eğrisinin maksimum sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda elektronun tuzaktan kaçma olasılığının bire eşit olduğuna karar verdiler ve $s = 2.9 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ değerini kullanarak E için çok basit bir ifade buldular:

$$E = 25kT_M \quad (2.12)$$

Urbach (Urbach 1930), $s = 10^9 \text{ s}^{-1}$ değerini kullanarak benzer bir bağıntı verdi:

$$E = \frac{T_M}{500} = 23kT_M \quad (2.13)$$

İki ifade de, sayısal faktörler s değerine bağlıdır ve bundan dolayı E değerleri sadece yaklaşık olarak verilebilir.

2.4.3 Farklı ısıtma hızlarına dayanan yöntem

Bu yöntemde göre ısıtma hızı, TL ışımaya eğrisinin karakteristik özelliklerini etkileyen bir parametredir. Isıtma hızı arttığı zaman, tepe maksimum sıcaklığı yüksek sıcaklıklara doğru kayar, tüm tepeler genişler ve TL şiddet azalır. TL şiddetindeki bu azalma ısıl sönümlemeden (thermal quenching) kaynaklanır.

Bu yöntemde iki şekilde tuzak parametreleri belirlenebilir. İlk yöntemde iki farklı ısıtma hızı (Eşitlik 2.14 ve Eşitlik 2.15) ve birinci mertebeden maksimum ışımaya şartı (Eşitlik 2.8) kullanılır. Buna göre;

$$\frac{\beta_1 E_a}{kT_{M1}^2} = s \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT_{M1}}\right) \quad (2.14)$$

$$\frac{\beta_2 E_a}{kT_{M2}^2} = s \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT_{M2}}\right) \quad (2.15)$$

Bu iki bağıntının birbirine oranı ise Eşitlik 2.16 ile verilmektedir.

$$E_a = \ln\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right) \left(\frac{T_{M2}}{T_{M1}}\right)^2 k \frac{T_{M2} \cdot T_{M1}}{T_{M2} - T_{M1}} \quad (2.16)$$

Eşitlik 2.16 ile aktivasyon enerjisi hesaplanır. Aktivasyon enerjisi E_a , eşitliklerin herhangi birinde yerine yazılarak frekans faktörü hesaplanır. Kullanılan ikinci yöntem ise yine Eşitlik 2.14'den yola çıkarak, farklı ısıtma hızlarına karşılık çizilen ışımaya şiddetine bağlı olarak elde edilir.

$$\ln\left(\frac{T_M^2}{\beta}\right) = \left(\frac{E_a}{k}\right)\left(\frac{1}{T_M}\right) + \ln\left(\frac{sk}{E_a}\right) \quad (2.17)$$

Eşitlik 2.14'den $\ln\left(\frac{T_M^2}{\beta}\right)$ 'nin $\left(\frac{1}{T_M}\right)$ 'ye göre grafiği, eğimi $\left(\frac{E_a}{k}\right)$ olan bir doğrudur ve bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisi hesaplanır. Aktivasyon enerjisi Eşitlik 2.14'te yerine koyularak frekans faktörü (s) hesaplanır. Bu işlem tüm tepeler için yapılır.

2.4.4 İzotermal azalım yöntemi

Bu yöntemde, deneysel aşamada örnekler ısılandıktan sonra, belli bir sıcaklığa kadar hızlı bir şekilde ısıtılır ve belli bir süre o sıcaklıkta tutulur. TL şiddeti ölçülür ve bu yöntemle tuzakların azalım hızını belirlemek mümkündür.

$$I = I_0 \exp\left(-s \exp\left(-\frac{E}{kT_i}\right)t\right) \quad (2.18)$$

I_0 , $t=0$ anındaki başlangıç şiddetidir.

Yukarıdaki denklemden yararlanılarak TL şiddetine (I) karşılık zaman (t) grafiği çizilir. Grafiğin eğimi (m_i);

$$m_i = -s \exp\left(-\frac{E}{kT_i}\right) \quad (2.19)$$

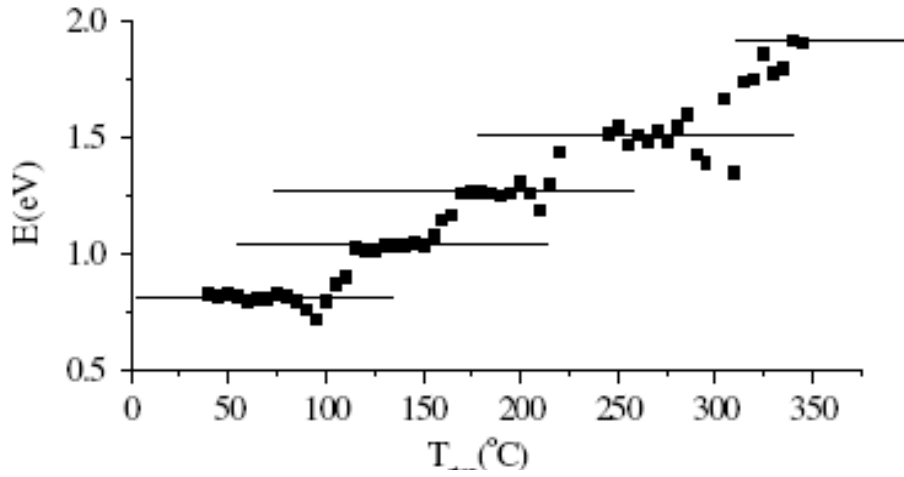
olarak elde edilir. Farklı sıcaklıklar (T_i) için elde edilen eğim (m_i) değerleri kullanılarak çizilen $\ln(m_i) - 1/kT$ grafiğinde ise eğim $-E$ 'ye eşittir (Eşitlik 2.20)

$$\ln(m_i) = \ln(s) - \frac{E}{kT_i} \quad (2.20)$$

Belirlenen aktivasyon enerjisi (E), Eşitlik 2.19'da yerine koyularak frekans faktörü hesaplanır.

2.4.5. Kesikli ışıma eğrisi yöntemi (T_m-T_{stop})

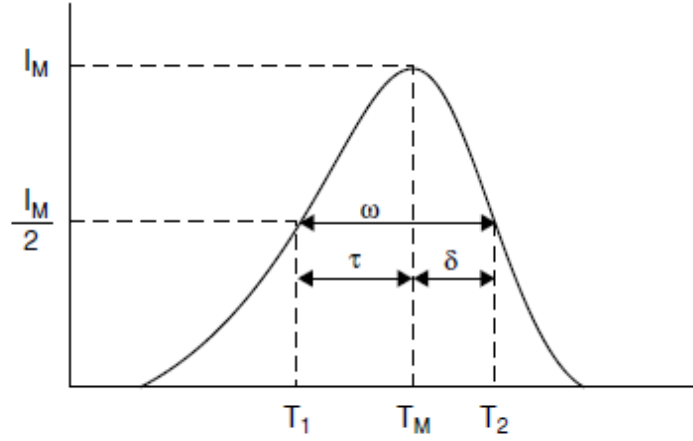
İşıma eğrisindeki tepelerin kinetik dereceleri kesikli ışıma eğrisi yöntemiyle de belirlenebilir. Bu yöntemde, örnek ışılandıktan sonra ilk tepenin düşük sıcaklık kısmına karşılık gelen bir sıcaklığa (T_{stop}) kadar ısıtılır. Örnek daha sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılır ve ışıma eğrisinin geri kalanını elde etmek için örnek aynı ısıtma oranında tekrar ısıtılır ve T_m belirlenir. Yöntem, yeni ışılanmış bir örnek üzerinde veya ısıtılmış/ışılanmış örnek üzerinde birçok kez tekrarlanır. T_m-T_{stop} grafiği merdiven basamağı şeklindedir. Bu yöntemle, tepelerin sayısı ve her plato bölgesi her tepenin yaklaşık konumunu, yani tepenin hangi sıcaklıkta oluştuğu belirlenir. Plato bölgesinin bitimindeki kademeli artış kinetik derecenin birden büyük olduğunu gösterir. Birinci mertebeden TL kinetiğinde ise bir sonraki plato bölgesine geçişte keskin bir artış gözlenir.



Şekil 2.9 Kesikli ışıma eğrisi yöntemi (T_m-T_{stop}) gösteren grafik.

2.4.6 Işıma eğrisinin şekline dayanan yöntem

Bu yöntemde, TL ışıma eğrisinin kinetik parametreleri E , s ve b 'yi bulmak için eğrinin şekli ve geometrik özellikleri kullanılır. Birinci dereceden kinetiğe sahip ışıma eğrisi asimetrik iken ikinci dereceden kinetiğe sahip ışıma eğrileri daha simetrik şekle sahiptir.



Şekil 2.10 TL ışıma eğrisinde geometrik şeklin parametreleri (τ , δ , ω)

T_M = Maksimum TL şiddetindeki tepe sıcaklığı

T_1, T_2 = sırasıyla T_M 'nin iki tarafındaki maksimum TL şiddetinin yarısına denk gelen sıcaklık değerleri

$\tau = T_M - T_1$ tepe düşük sıcaklık kısmındaki yarı genişlik değeri

$\delta = T_2 - T_M$ tepe yüksek sıcaklık kısmındaki yarı genişlik değeri

$\omega = T_2 - T_1$ toplam yarı genişlik

$\mu = \delta/\omega$ geometrik şekil veya simetri faktörü olarak adlandırılır.

İlk olarak ışıma eğrisinin şeklini tuzak derinliğini hesaplamak için kullanan Grossweiner'dır (Grossweiner 1953). Yöntem, maksimum TL şiddetinin gözlemlendiği sıcaklığa T_M ve düşük sıcaklıktaki yarı şiddete bağlıdır T_1 . Grossweiner'ın birinci mertebeden kinetiğe göre elde ettiği ifade,

$$E = 1.51k \frac{T_M T_1}{T_M - T_1} \text{ dır.} \quad (2.21)$$

Grossweiner'ın elde ettiği 1.51 faktörü Chen tarafından deneysel olarak düzeltilmiş ve 1.41 olarak belirlenmiştir (Chen 1969 b). Bu E'nin hesabının daha doğru yapılmasını sağlamıştır.

Lushchic ışıma eğrisinin şekline dayanan hem birinci hem de ikinci mertebeden kinetiğe göre aktivasyon enerjisinin hesaplanması için yöntem geliştirmiştir (Lushchick 1956). Daha önce tanımlanan δ 'ya göre bir ışıma eğrisi yaklaşık olarak üçgendir. Birinci mertebeden kinetik için elde edilen ifade:

$$E = \frac{kT_M^2}{\delta} \quad (2.22)$$

İkinci mertebeden kinetiğe sahip ışıma eğrisi için elde edilen ifade:

$$E = \frac{2kT_M^2}{\delta} \text{ şeklindedir.} \quad (2.23)$$

Chen yukarıdaki iki denklemden E değerinin daha doğru hesaplanması için birinci mertebeden denklemi 0.978, ikinci dereceden denklemi 1.43 ile çarparak düzeltmiştir (Chen 1969 b)

2.4.7 Bilgisayarlı ışıma eğrisi ayrıştırma yöntemi

Bilgisayarlı ışıma eğrisi ayrıştırma yöntemi (CGCD), TL ışıma eğrilerinden tuzak parametrelerini belirlemenin yöntemlerinden biridir. Işıma eğrisini analiz etmek için CIEMAT (İspanya), IRI (Hollanda) gibi bu amaçla geliştirilmiş programlar kullanılır. Programın analiz işlemini yapması için ilgili ışıma eğrisinde E, s gibi tuzak parametrelerinin en az bir tepe için girilmesi gerekmektedir. Burada asıl problem, ışıma eğrisinin kinetik mertebesinden kaynaklanır. Birinci dereceden kinetiğe sahip eğrilerde Randall-Wilkins'in yaklaşımı (Eşitlik 2.2), ikinci dereceden kinetiğe sahip eğrilerde Garlic-Gibson yaklaşımı (Eşitlik 2.3) veya genel mertebeden kinetiğe sahip eğriler için May-Partridge yaklaşımı (Eşitlik 2.4) kullanılmaktadır (Furetta 2003).

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken husus; bilinmeyen bir malzemedan elde edilen ışıma eğrisinin ne kadar doğru bir şekilde ayrıştırıldığıdır.

2.5 Isısal Sönümleme

Isısal sönümleme (thermal quenching), sıcaklığın artmasıyla lüminesans veriminin düşmesi olayıdır. Bahsedildiği gibi lüminesans, bir maddede önceki dış uyarılmadan sonra sistemin elektronik denge durumuna dönmesiyle oluşur. Buna rağmen, ışımalı yeniden birleşmeler enerji dağılımını gösteren tek olay değildir.

Bir maddede, ışınlama ve enerji transferinin ardından lüminesans oluşup oluşmaması, onun ışımalı ve ışımasız geçiş olasılıklarına bağlıdır. Genellikle lüminesans verimi η (önceki değerlendirmelerde sabit ve 1'e eşit kabul edilir) şu şekilde ifade edilir:

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_{nr}} \quad (2.24)$$

Burada P_r ve P_{nr} sırasıyla, ışımalı geçiş olasılığı ve ışımasız geçiş olasılığıdır (Furetta 2003).

Verim η , büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır: Belli bir sıcaklığa kadar yaklaşık sabit kalır, bu sıcaklığın üzerinde ise verim hızla düşer. Çünkü, ışımasız geçiş olasılığı P_{nr} sıcaklığa Boltzmann faktörü $e^{(-W/kT)}$ ile bağlıdır, ışımalı geçiş olasılığı P_r sıcaklıkla değişmez. Böylece Eşitlik 2.20 şöyle ifade edilir:

$$\eta = \frac{1}{1 + C \cdot \exp\left(-\frac{W}{kT}\right)} \quad (2.25)$$

Burada W , ısısal sönümlemenin aktivasyon enerjisi ve C , bir sabittir. Eşitlik 2.25, ısısal sönümleme için Mott-Seitz modeli olarak bilinir (Mott 1948, Seitz 1940).

Isısal sönümleme, “Başlangıçtaki Artış” ve “Farklı Isıtma Hızları” yöntemlerinde etkisini gösterir. Eğer bir tepe ısısal sönümlemeye uğruyorsa, pikin başlangıçtaki artış

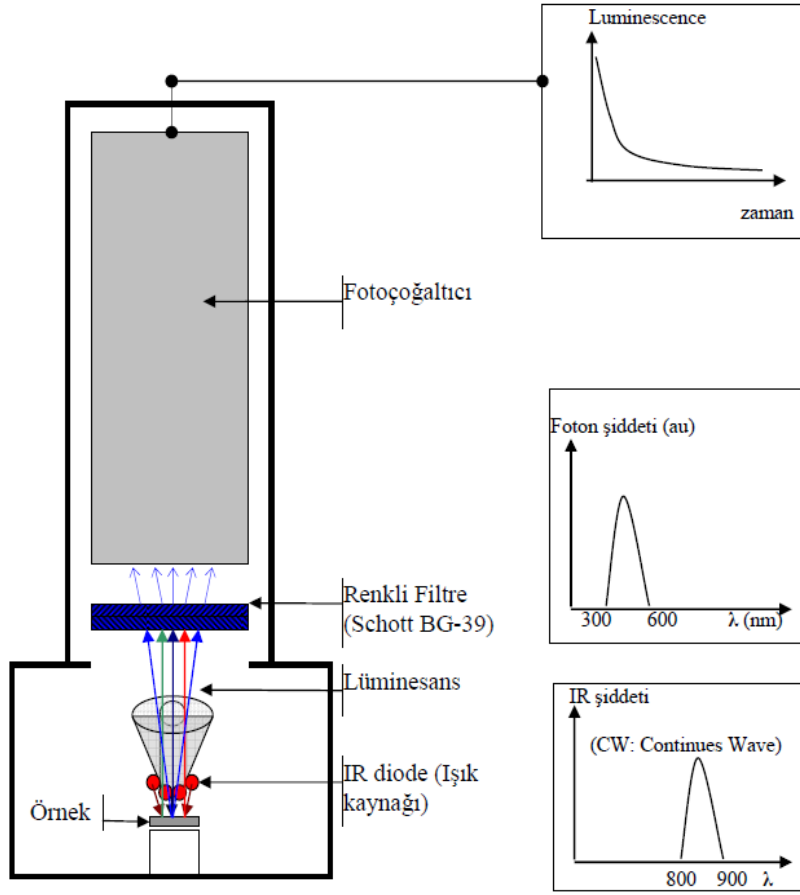
kısmı Eşitlik 2.22'deki şekilde tanımlanamaz. Çünkü sıcaklık bağımlılığı aşağıdaki denkleme göre ön-eksponansiyel bir faktör olarak karşımıza çıkar:

$$I_{TL}(T) = A \cdot \eta(T) \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) = \frac{A}{1 + C \cdot \exp\left(-\frac{W}{kT}\right)} \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.26)$$

Böylece farklı ısıtma hızları yönteminde E-W kullanılması, yalnız başına E_t 'nin kullanılmasından daha iyi üstünlük sağlar. Yukarıda eşitlik maksimum sönümün olduğu yerdeki belli sıcaklık bölgesinde baskın olarak tanımlanır. Bununla beraber başlangıçtaki lüminesans sıcaklık hızı için de farklı ısıtma hızları yöntemi, W'den daha düşük dereceler için beklenenin altında termal aktivasyon enerjisine neden olabilir.

2.6 Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL)

OSL, iyonize radyasyona maruz kalan yalıtkan ya da yarı iletken maddelerin ışığa maruz kalması durumunda ışımasıdır. Optik uyarımlı lüminesans prensipleri TL deki temel kavramlara dayanır. Fakat OSL' de uyarma işlemi ısı yerine fotonlar tarafından sağlanır (şekil 2.11). OSL, TL'ye karşı çeşitli avantajlara sahiptir. Isıtılmamış materyaller söz konusudur ve OSL sinyali ışığa en duyarlı tuzak seviyeleriyle elde edilir. OSL' nin diğer bir avantajı, uyarma işleminin oda sıcaklığında düzenlenebilmesidir. Böylelikle ısıtmanın olumsuz etkisi olan ısısal sönümleme olmaz. OSL ışıma eğrisinde lüminasans yoğunluğu zamanın fonksiyonu olarak verilir. Bu OSL sinyalinin şiddeti soğrulan radyasyon dozu ile orantılıdır. OSL bozunma eğrilerinin şekli, kullanılan materyalin karakteristik özelliklerini anlamak için önemlidir. Çünkü OSL bozunma eğrisi her materyal için farklılık göstermektedir.



Şekil 2. 11 OSL sisteminin basitleştirilmiş diyagramı

OSL' ın genelleştirilmiş matematiksel tanımı;

Sistemdeki yarı kararlı dolu durumların zamana bağlı toplam konsantrasyonu $\mu(t)$ ise;

$$\mu(t) = \int_{\gamma_1} \int_{\gamma_2} \dots \int_{\gamma_m} n(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t) d\gamma_1 d\gamma_2 \dots d\gamma_m \quad \text{dir} \quad (2.27)$$

Burada $n(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t)$ $1 \rightarrow m$ e kadar dolu durumların konsantrasyonudur, durum parametreleri $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m$, olarak tanımlanır ve genel olarak $n(\gamma, t) = N(\gamma)f(\gamma, t)$ şeklinde ifade edilir. Burada $n(\gamma)$ dolu durumların konsantrasyonudur, $N(\gamma)$ kullanılabilir durumların konsantrasyonu ve $f(\gamma)$ tuzakların işgal durumu. $n(\gamma)$ ve $f(\gamma)$ ikisi de zamana bağlı fonksiyonlardır.

Tuzak parametreleri ısıtma ve aydınlatma süresince sistem yarı kararlı durumdayken belirlenir. Denklem 2.27 zaman-doza bağımlı fonksiyondur, ışık durumunda artar ve uyarım doyunca azalır.

Uyarılmış ışıklı ölçümlerde, yayılan ışığın yoğunluğunu sistem dengeye dönene kadar gözlemleriz. Bu ışık yoğunluğu I , yarı kararlı durumların bozunma hızı ile orantılıdır.

$$I(t) = \left| \frac{d\mu(t)}{dt} \right| \quad (2.28)$$

$I(t)$ nin hesaplanabilmesi için; $|d\mu(t)/dt|$ ve $n(\gamma_1, \dots)$ arasındaki ilişkiye ihtiyacımız var.

$$\frac{d\mu(t)}{dt} = -\mu'(t)P(t) \quad (2.29)$$

Burada $P(t)$ yarı kararlı durumların $\mu(t)$ her bir zamanda bozunma olasılığıdır. $I=1$ ise birinci dereceden fonksiyondur.

$$I(t) = \left| \frac{d\mu(t)}{dt} \right| = \int_{\gamma_1} \int_{\gamma_2} \dots \int_m n(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t) p(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m) d\gamma_1 d\gamma_2 \dots d\gamma_m \quad (2.30)$$

Denklem 2.30'da olasılık zamandan bağımsız, denklem 2.31'de ise zamana bağımlı olasılık vardır.

$$I(t) = \left| \frac{d\mu(t)}{dt} \right| = \int_{\gamma_1} \int_{\gamma_2} \dots \int_m n(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t) p(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t) d\gamma_1 d\gamma_2 \dots d\gamma_m \quad (2.31)$$

Denklemdaki p , uyarılma yöntemine bağlı örneğin termal ve optik uyarım da yarı kararlı durumdan dengeye dönme olasılığıdır ve termal uyarım için şu şekilde ifade edilir.

$$p(F)=vK\exp\left\{-\frac{F}{kT}\right\} \quad (2.32)$$

Burada v titreşim frekansı, K geçiş olasılığı sabiti ve F Helmholtz serbest enerji seviyesidir. Denklemden $F=E-\Delta S$ kullanılırsa:

$$p(E,s)=vK\exp\left\{\frac{\Delta S}{k}\right\}\exp\left\{-\frac{E}{kT}\right\}=s\exp\left\{-\frac{E}{kT}\right\} \quad \text{elde edilir.} \quad (2.33)$$

Denklemin 2.33'te $vK\exp(\Delta S/k)=s$ "ön eksponansiyel faktör" olarak adlandırılır ve birimi s^{-1} dir. ΔS entropideki değişim ve E enerji seviyesidir.

Optik uyarım için:

$$p(E_0)=\Phi \sigma(E_0) \quad \text{dir.} \quad (2.34)$$

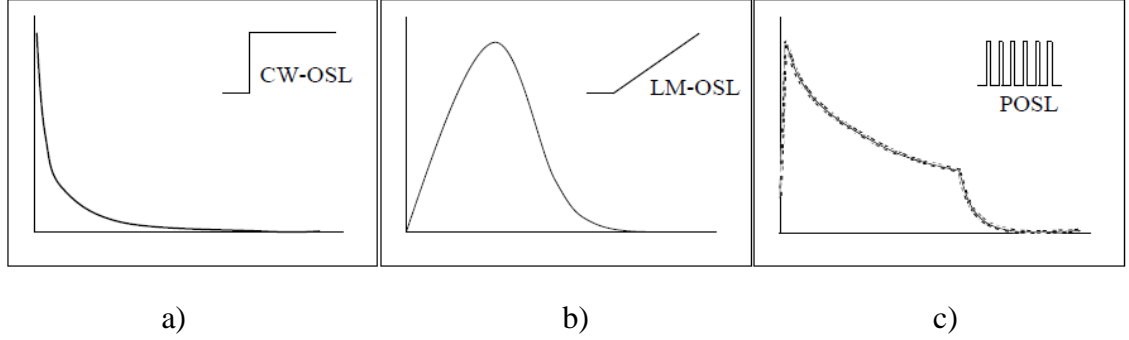
Burada Φ optik uyarım yoğunluğu ve $\sigma(E_0)$ gelen foton ile yarı kararlı durumun etkileşmesi durumunda foto iyonlaşma kesiti, E_0 optik uyarımın yük salınımı ve sistemi tekrar kararlı duruma döndürmek için gerekli eşik enerjisidir. Burada $m=1$ ve $\gamma_1=E_0$.

T , λ ve Φ sabit değerli ve zamandan bağımsızdır. Optik uyarımda, tuzakları boşaltmak için sabit dalga boyu λ kullanılır ve sabit ışık yoğunluğunda Φ lüminesans kaydedilirse bu sürekli dalga OSL veya CW-OSL (continuous wave OSL) olarak bilinir.

$\lambda(t)$ ve $\Phi(t)$ zamana bağımlı ve sabit dalga boyunda uyarma ışığı yoğunluğu lineer olarak artırılabilir:

$$\Phi(t)=\Phi_0+\beta t \quad (2.35)$$

$\beta_\phi = d\Phi/dt$. Bu durumda kayıt edilen OSL lineer modulation OSL veya LM-OSL olarak bilinir (Bulur 2001). Alternatif olarak ışık ile uyarma pulslar şeklinde yapılabilir, öyle ki $t_0 \leq t < t_0 + \Delta t$ zamanında $\Phi(t)=\Phi_0$, ve $(t_0 + \Delta t) \leq t < (t_0 + \tau)$ zamanında $\Phi(t)=0$ dır. Burada Δt puls buyutu ve τ peryottur. Bu pulsed OSL veya POLS olarak tanımlanır.



Şekil 2.12 OSL okuma metotlarının gösterimi

Şekil 2.12 de gözlendiği gibi ışık ile uyarma cinsine bağlı olarak üç tip optik uyarımlı lüminesans tanılanmıştır bunlar sırayla;

- a) Sürekli dalga OSL (CW-OSL) metodu: Bu metotta uyarma ışık şiddeti sabittir ve OSL sinyali uyarma periyodu boyunca gözlenir.
- b) Lineer modülasyon OSL (LM-OSL) metodu: Bu metotta uyarma ışık şiddeti OSL sinyali kayıt edilirken lineer olarak artar.
- c) Pulsu OSL” (POLS): Bu metotta uyarma ışığı pulslu hale getirilir ve OSL sinyali sadece pulslar arasında kayıt edilir.

Bu tez çalışmasında OSL deneyleri, sürekli dalga uyarımı kullanılarak (CW-OSL) yapılmıştır.

2.7 Lüminesans Yöntemi İle Tarihlendirme

2.8 Lüminesans Yöntemi İle Minerallerin Oluşum Yaşlarının Saptanması

Lüminesans yöntemleri ile bir mineralin oluşum yaşının saptanması mineralin kristalize olduğu andan itibaren günümüze kadar kristal yapı içinde biriken toplam soğrulan dozun ölçümüne dayanır. Herhangi bir saf derişik çözeltide kristalleşen minerallerin oluştuğu anda jeolojik yaşı sıfır kabul edilir. Sarıhıdır mağarası içinde bu tür malzemelere rastlanmıştır. Daha sonra yapılan çalışmalarda bunların epsomit ve ferromit olduğu saptanmıştır. Bu mineraller oluştuğu andan itibaren toplandıkları zamana kadar gerek kendi yapıları içinde gerekse de çevresindeki kayalardaki radyoizotoplardan dolayı radyasyona maruz kalmışlardır.

Bir mineral iyonize edebilen bir radyasyonla etkileştiğinde oluşan serbest elektronlar, mineral örgüsü içindeki safsızlıklar ve bozukluklardan ileri gelen yarı-kararlı enerji seviyelerinde tuzaklanırlar. Bu nedenle, tuzaklanan elektronların sayısı soğrulan doz ile orantılıdır. Tuzaklanan elektronlar, ısı veya ışık ile uyarıldıklarında ışık salar ve kararlı enerji seviyelerine inerler.

Jeolojik ortamda oluşan kristaller oluşumunu tamamladıkları andan itibaren buldukları çevre nedeniyle sürekli bir radyasyon alanı içindedirler. Bu nedenle oluşumlarında itibaren her yıl sabit bir radyasyon dozuna maruz kaldıkları kabul edilerek ölçülen toplam dozdan ve yıllık doz hızından mineralin oluşumundan bu yana geçen zaman aşağıdaki formül ile hesap edilir.

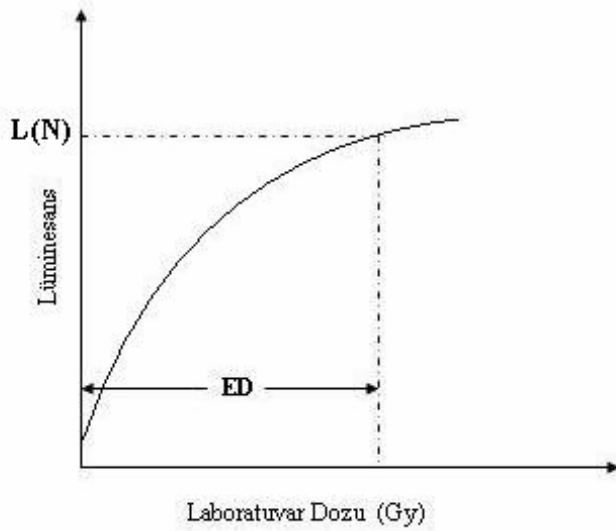
$$\text{Mineralin oluşum yaşı} = \frac{\text{Toplam Soğrulan Doz (TSD)(Gy)}}{\text{Yıllık Doz (mGy/yil)}} \quad (2.36)$$

Toplam soğrulan dozun lüminesans yöntemleri ile ölçülmesi için değişik teknikler geliştirilmiştir. Bunlar;

- a) Yeniden oluşturma
- b) İlave doz teknikleridir.

2.8.1 Yeniden oluşturma tekniği

Bu teknikte lüminesans sinyali, örneğe verilen laboratuvar dozunun bir fonksiyonu olarak incelenir. İlk olarak örneğin doğal lüminesans sayımı alınır. Isınarak sıfırlanan örnek radyasyon kaynağı ile bilinen bir laboratuvar dozuna (β) maruz bırakılarak $L(\beta)$ lüminesans sayımı alınır. Aynı işlemler çeşitli β dozlarıyla tekrarlanır. Radyasyon dozu ile lüminesans sinyalinin gelişiminin nasıl olduğunu gösteren doz cevap eğrisi oluşturulur (şekil 2.13).



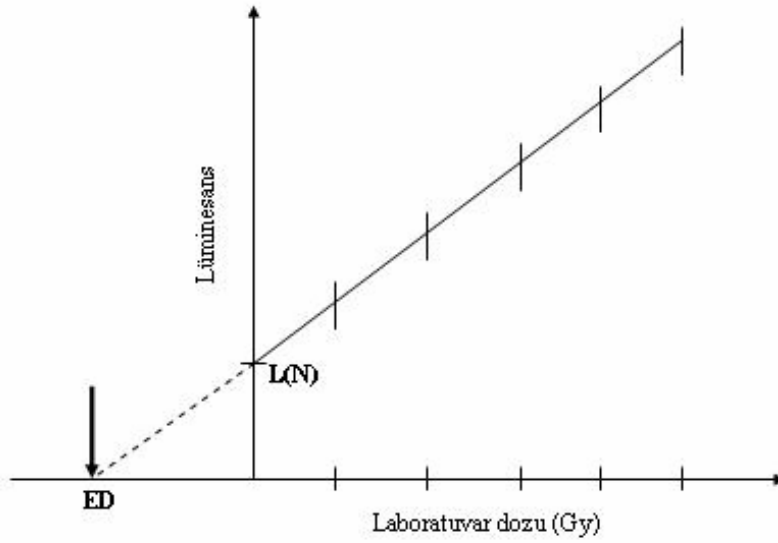
Şekil 2.13 Yeniden oluşturma tekniğinde TSD' un tespiti için elde edilen grafik

Grafikteki $L(N)$ değeri, örnekten gelen doğal lüminesans sayımını gösterir. Alınan lüminesans sayımlarının verilen laboratuvar dozlarına karşı grafiği çizilir. Toplam Soğrulan Doz (TSD) çeşitli laboratuvar dozlarına maruz kalan örnekten elde edilen $L(\beta)$ sayımlarıyla gelişen eğriyle, doğal lüminesans sayımının doğrudan karşılaştırılmasıyla bulunur. Bu karşılaştırmanın x-eksenini kestiği nokta TSD' u verir.

2.8.2 İlave doz tekniği

İlave doz tekniğinde lüminesans sinyali, örneğe verilen laboratuvar dozunun bir fonksiyonu olarak incelenir. Çok-tablet ilave doz tekniğinde aynı şartlarda eşit miktarlarda örnekler, tabletler halinde ve her grupta birden fazla tablet bulunacak şekilde gruplandırılır.

Bir grup; $L(N)$ doğal lüminesans ölçümünün alınması için ayrıldıktan sonra kalan diğer gruplar, radyasyon kaynağı ile bilinen çeşitli laboratuvar dozlarına (β) maruz bırakılarak $L(N+\beta)$ lüminesans ölçümleri alınır.



Şekil 2.14 İlave doz tekniğinde TSD' un tespiti için elde edilen grafik

Grafikteki $L(N)$ değeri, örnekten gelen doğal lüminesans sayımını gösterir. Alınan lüminesans sayımlarının verilen laboratuvar dozlarına karşı grafiği çizilerek doz cevap eğrisi elde edilir (Şekil 2.14). TSD, doz cevap eğrisinin doz eksenine ekstrapolasyonundan elde edilir. Başka bir deyişle, doz cevap eğrisinde elde edilen noktalar üzerinden en uygun doğrusal eğim geçirilerek bu eğimin x-eksenini kestiği nokta bulunur. Doğrunun x- eksenini kestiği nokta TSD' u verir.

2.9 Yıllık Dozun Saptanması

Zeolit kayaçlar içinde oluşan minerallerin soğurduğu toplam doz (TSD), kristal içindeki radyoaktif maddelerden (iç doz), çevresindeki kayaçlarda bulunan radyo izotoplardan ve kozmik ışıklardan (dış doz) kaynaklanmaktadır. Mineralin oluşum yaşını bulmak için de örneklerin bir yılda soğurduğu doz miktarını hesaplamak gerekir.

Toplam soğrulan doz, kilogram (kg) başına soğurulan enerji olarak tanımlanır ve birimi de Gray (Gy) olup $1\text{Gy}=1\text{J/kg}$ 'dır. Benzer şekilde doğal doz hızının birimi Gy/ka (Gray/bin yıl) ya da mGy/a olarak verilir. Bu doz hızı “yıllık doz” olarak adlandırılır.

Herhangi bir eriyikten oluşan bir mineralin yıllık dozu 2.37 eşitliğinde verildiği gibi hesap edilir.

$$\text{Yıllık doz (Gy/yıl)} = D'_\alpha + D_\beta + D_\gamma + D_c \quad (2.37)$$

Burada D_β ve D_γ U, Th serisi içindeki radyo izotopların alfa ve beta bozunumundan kaynaklanan doz hızı, D_c kozmik ışın doz hızı, D'_α efektif alfa doz hızıdır. $D'_\alpha = k D_\alpha$ (k, efektif alfa katsayısı) olup, D_α da sadece U, Th serisinin parçalanma ürünlerinden yayılan alfa parçacıklarının madde içinde bıraktıkları yıllık toplam dozdur.

Doğal lüminesans sinyali esas olarak ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K ' un parçalanmasından oluşan α , β , γ ve bunların madde içinde bıraktığı doz D'_α , D_β , D_γ olarak hesap edilir. Bunun dışındaki önemli bir katkı da kozmik ışıklardan gelebilir. Diğer radyoaktif elementlerin katkıları ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Mineralin içinde varsa potasyum, toryum ve uranyumdan kaynaklanan radyasyon dozu miktarı “iç doz” olarak tanımlanır. İç doz, maddenin içindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K oranlarının çeşitli yöntemlerle saptanmasından ve bunların yaydığı alfa (α), beta (β) ve gamma (γ) radyasyonlarının orantısal etkilerinin bulunmasından elde edilir. Dış doz ise yine çevre toprağının analizinden ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K oranlarının saptanması ve bunlardan gelen radyasyon katkılarının hesaplanması ile bulunur.

Tarihlendirme çalışmalarında kullanılan parçacıkların boyutuna bağlı olarak çeşitli teknikler geliştirilmiştir, bunlardan en sık kullanılanı ($< 10\mu\text{m}$) tanecik boyutu altında olan ince tanecik tönemidir. ^{238}U , ^{232}Th serisinin parçalanma ürünlerinden kaynaklanan Alfa (α) parçacıklarının ortalama enerjisi 4,20 MeV (Aitken 1986) olup ortalama menzili yaklaşık 10 μm dir. Beta (β) ve gamma (γ) radyasyonlarının menziline çok daha kısadır.

Beta (β) ve gamma (γ) radyasyonlarının ortalama menzili sırasıyla 2-3mm ve 20-30cm'dir. Yani iğne yapılı minerallerinin kalınlıklarının birkaç mm olduğunu düşünürsek yıllık doz alfa (α) ve beta (β) lardan oluşan iç doz ve gamma (γ) lardan oluşan dış dozdan kaynaklanır. Tanecik büyüklüğünün 100 μm den fazla olduğu tekniklerde, α parçacıklarının mineralde bırakmış olduğu doz miktarı ihmal edileceği için bazı durumlarda tercih edilirler.

Örnekteki yıllık doz hızı hesaplanabilmesi için örneğin içerdiği ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K derişimlerinin saptanması gerekir. Kapadokya örneklerinin içerdiği uranyum, toryum ve potasyum tespitinde x-ray floresans ve gamma ışın spektrometresi metotları kullanılmıştır.

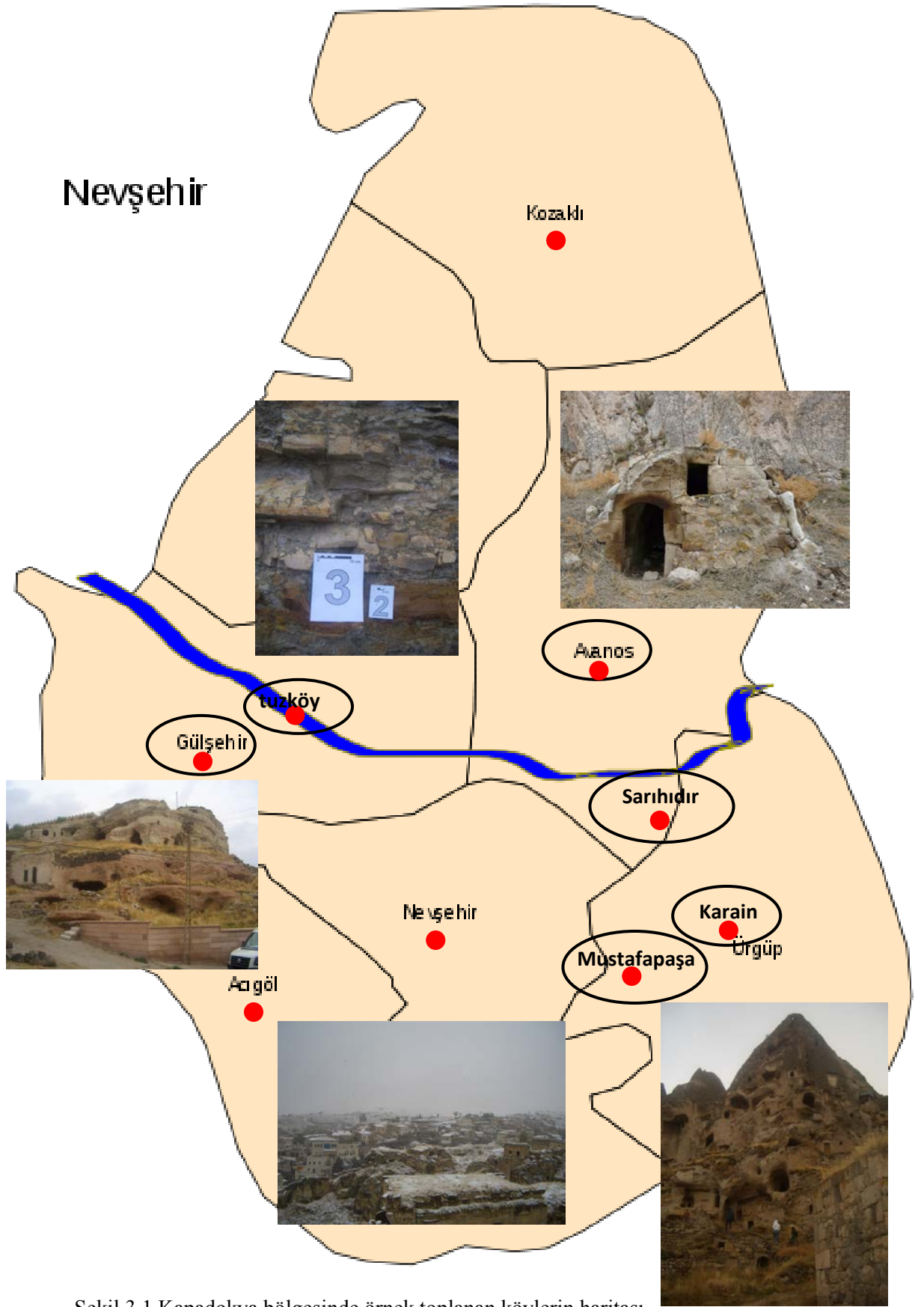
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Örneklerin Toplanması

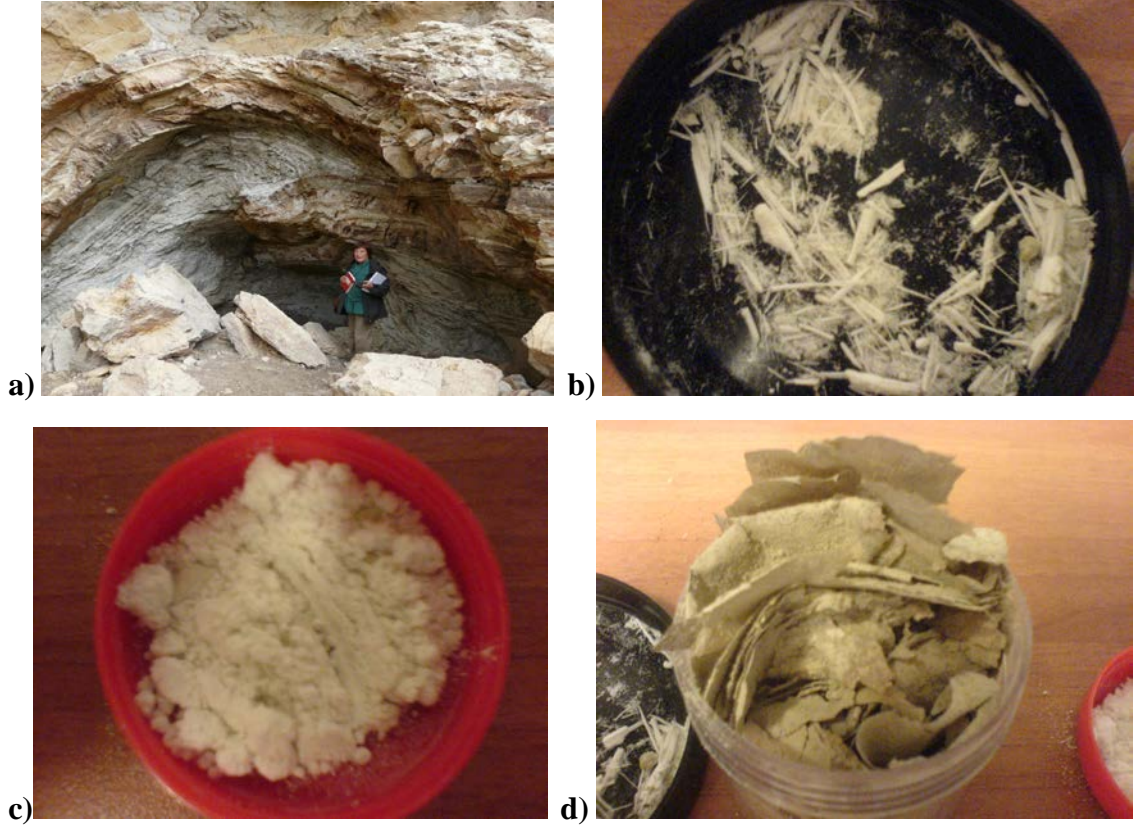
Yapılan çalışmada, Kapadokya bölgesinden tüm bölgeyi temsil edecek şekilde Tuzköy, Karain, Sarıhıdır, Gülşehir, Mustafapaşa köylerinden, ev inşaatında kullanılan kaya parçaları, mağara evlerden kaya ve toprak örnekleri, köy evlerinden toz ve su örneklerinden oluşan yaklaşık 50 tane çevresel örnek toplanmıştır. Sarıhıdır köyünün eski yerleşim yeri olan bölgedeki mağaradan toplanan ve volkanik kayaların ayrışması sonucunda oluşan iğne yapılı kristallerin (şekil 3.2), evlerden toplanan toz örneklerinin lüminesans özellikleri incelenmiştir. İğne yapılı kristallerin oluşum yaşları saptanmıştır.

Şekilde 3.1’de Kapadokya bölgesinden harita üzerinde örneklerin nereden toplandıkları gösterilmektedir. Gülşehir evlerinin inşaat malzemelerinden, çevreden toprak, kaya parçaları ve su örneği alınmıştır. Tuzköy, zeolitleşmiş tuf yapısında çevresel toprak örnekleri, Avanos Litik tuf kaya parçaları, Sarıhıdır, eski yerleşim yeri olan bölgedeki mağaralardan köpük, iğne, yaprak şeklinde eriyonit, zeolit, zeolitleşmiş litik tuf, eriyonit kristallerin ana kayası örnekleri toplanmış ayrıca bölgeden su ve toz örnekleri de alınmıştır. Karain, mağaralardan, eski yerleşim bölgesindeki mağara evlerden ve şu anda kullanılan evlerin inşaat malzemesinden, çevrede toprak örnekleri ve toz örnekleri, Mustafapaşa köy evlerinden toz örnekleri, çeşitli toprak ve kaya örnekleri toplanmıştır. Kapadokya bölgesinden toplanan tüm örnekler ek 3 de verilmiştir.

Her ne kadar kimyasal formülü konusunda kesin bir anlaşma yoksa da eriyonit $K_2Ca_{1.5}NaMg(Al_8Si_{128})O_{72} \cdot 28H_2O$. kimyasal formülü ile gösterilir (Doğan v.d. 2006). Erionit zeolit-şabazat grubuna ait birkaç mikron boyutunda, lifsi ve iğnemsisi, alüminyum silikat yapısında bir mineraldir.



Şekil 3.1 Kapadokya bölgesinde örnek toplanan köylerin haritası



Şekil 3.2 Kapadokya bölgesinden toplanan örnekler. a) örneklerin toplandığı mağara, b) iğne yapılı mineral, c) köpük yapılı mineral, d) yaprak yapılı mineral.

3.2 Örnek Hazırlamada Kullanılan Materyaller

3.2.1 Fırın

Örneklerin hazırlanması sırasındaki ısıtma işlemleri Protherm marka PLF 120/12 model elektrikli fırınla yapılmıştır (şekil 3.3). Fırın, Nikel-Krom alaşımli ısıtıcı elemanlar içermektedir. Isıtma işlemi sırasında sürekli olarak fırının sıcaklığı dijital olarak okunabilmekte, maksimum 1200 °C' ye ısıtma yapmakta ve sıcaklık hassasiyeti ± 2 °C' dir. İstenilen maksimum sıcaklık ve ayarlanan sıcaklıktaki bekleme süresi ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.3 Fırın

3.2.2 Elekler

Örneklerinin kimyasal işlemlerle temizlenmesinin ardından farklı tanecik boyutlarına ayrılmasında Retsch marka test elekleri kullanılmıştır (şekil 3.4). Laboratuvarda bulunan eleklerin boyutları $45\ \mu\text{m}$ ile $250\ \mu\text{m}$ arasında değişmektedir. Yapılan tez çalışmasında, $140\ \mu\text{m}$ ve $200\ \mu\text{m}$ ' lik elekler kullanılarak bu aralıkta kalan tanecik boyutu ile iri tanecik ve $45\ \mu\text{m}$ ' lik elek kullanılarak altta kalan tanecik boyutu ile ince tanecikli örnek hazırlanmış ve ölçümlerde kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Elekler

3.2.4 Ultrasonik banyo

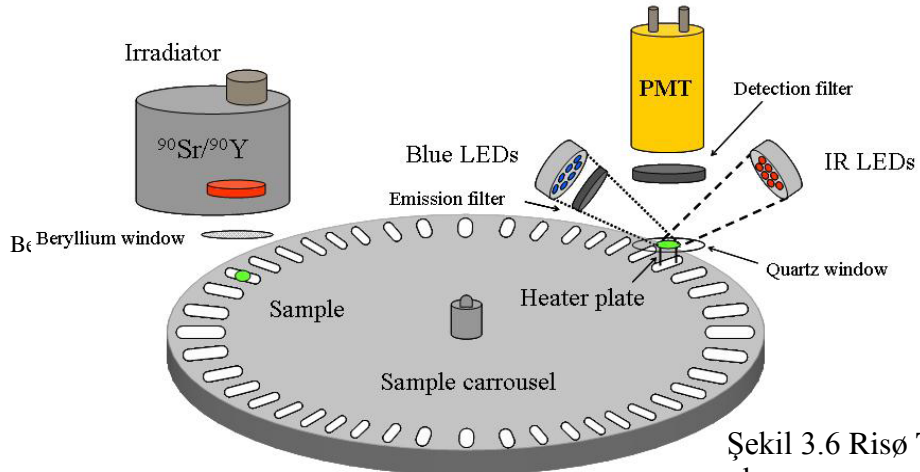
Yapılan tez çalışmasında, örnekler kimyasal maddelerle temizlenmeleri sırasında İNTERSONİK marka ultrasonik banyoda tutulmuştur (şekil 3.5). Böylece, örnek kimyasal madde ile daha hızlı reaksiyona girmiştir. Ayrıca kullanılan elek ve diğer araç gereçler ultrasonik banyoda temizlenmiştir. Ultrasonik banyonun çalışması, istenilen süre için ayarlanıp, temizleme sırasında haznesine doldurulan saf su veya farklı sıvıları 99°C' ye kadar ısıtabilir.



Şekil 3.5 Ultrasonik banyo

3.3 Lüminesans Ölçüm Sistemi

Ölçümler, Şekil 3.7'de gösterilen Risø TL/OSL okuyucu (model TL/OSL-DA-20) ile yapılmıştır. Sistemin ana komponentleri, ışık dedeksiyon sistemi, lüminesans uyarım sistemi (optik ve termal) ve ışınlama kaynağıdır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Risø TL/OSL okuyucunun şematik gösterimi

Risø TL/OSL otomatik ölçüm sistemi ile hem TL hem de OSL ölçümleri yapılabilmektedir. Işık dedeksiyon sistemi, foto çoğaltıcı tüp ve uygun optik dedeksiyon filtresinden oluşmaktadır. Lüminesans uyarım sisteminde, optik uyarım ve ısıtma komponentleri bulunur. Bu iki komponent birlikte veya ayrı ayrı kullanılabilir. Sistemde birde dahili $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta ışınlama kaynağı bulunmaktadır. Sistemde bulunan örnek taşıyıcıya 48 tane örnek yerleştirilebilir ve uygulama programı kullanılarak her örnek için farklı ışınlama, okuma prosedürü kullanılabilir. Örnekler oda sıcaklığından 700°C ' ye kadar ısıtılabilir. TL ölçümleri saf azot akımı altında yapıldığı gibi, vakumlu ortamda da alınabilir.

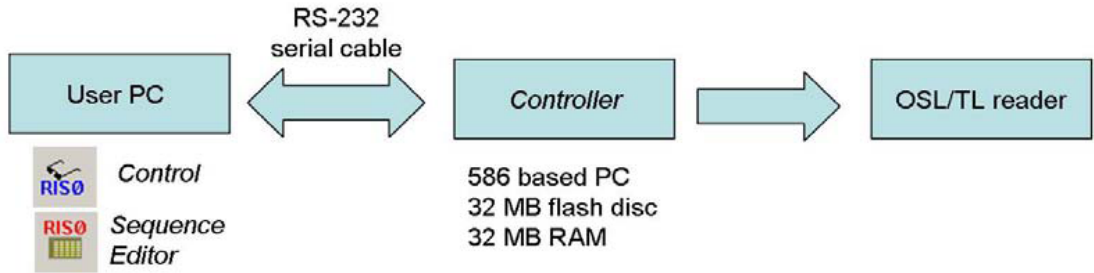


Şekil 3.7 Risø TL/OSL Sistemi

Risø TL/OSL Sistemi iki üniteden oluşur (Şekil 3.7):

- a) *Okuyucu ünitesi:* Şekil 3.7 a'da gösterildiği gibi, örneklerin yerleştirildiği, optik veya termal olarak uyarıldığı, dedekte edildiği ve radyasyon kaynağı ile ışınlandığı ünitidir.

b) *Kontrol ünitesi*: Sistemin elektronik kontrol kısmını oluşturur, programlar ile okuyucu arasında köprü görevi görür (Şekil 3.7b) ve örnekler için hazırlanan ölçüm parametrelerinin uygulanmasını sağlar. Yüksek voltajın uygulanması, vakum ortamının sağlanması, örnek taşıyıcının açılması ve kapanması kontrol ünitesi tarafından yapılmaktadır.



Sistem standart bir bilgisayara kurulan iki program ile çalışır. Bu programlardan ilki cihazın basit testlerini yapılmasını sağlayan CONTROL Programı, diğeri ise ölçüm parametrelerinin her örnek için ayrı ayrı girilebildiği SEQUENCE EDITOR Programıdır.

3.3.1 Örnek taşıyıcı tabla (karusel)

Örnek taşıyıcı tabla (karusel) dönebilen bir motor üzerine yerleştirilmiştir. Dönme, bilgisayar tarafından kontrol edilir. Karuselin altında yer alan ve kızılötesi ışık yayan bir diyot (IR LED) kullanılarak karuselde belli bir noktada yer alan delikten geçen ışığın dedekte edilmesi ile örneklerin yer tespiti yapılır.

Örnekler 9.7 mm çaplı paslanmaz çelik diskler üzerine silikon yağı v.b. maddelerle yapıştırılarak veya yine paslanmaz çelikten yapılmış karusele uygun kaplar (planşet) içine yerleştirilerek kullanılır (şekil 3.8).



Şekil 3.8 Örnek diskleri ve planşetleri (solda), örnek karuseli (sağda)

3.3.2 Işık dedeksiyon sistemi

Işık dedeksiyon sisteminin ana komponentleri fotoçoğaltıcı tüp (PMT) ve uygun optik filtrelerdir. Bu filtrelerin kullanım amacı, saçılan ışığın PMT'e ulaşmasını engellemek ve spektral dedeksiyon penceresi oluşturmaktır.

3.3.2.1 Fotoçoğaltıcı tüp (PMT)

Yayılan ışık PMT ile dedekte edilir. PMT'deki ışığa hassas olan kısım katottur. Katot genellikle, foto-yayıcı madde olan CsSb ve diğer bialkali karışımlardan oluşur.

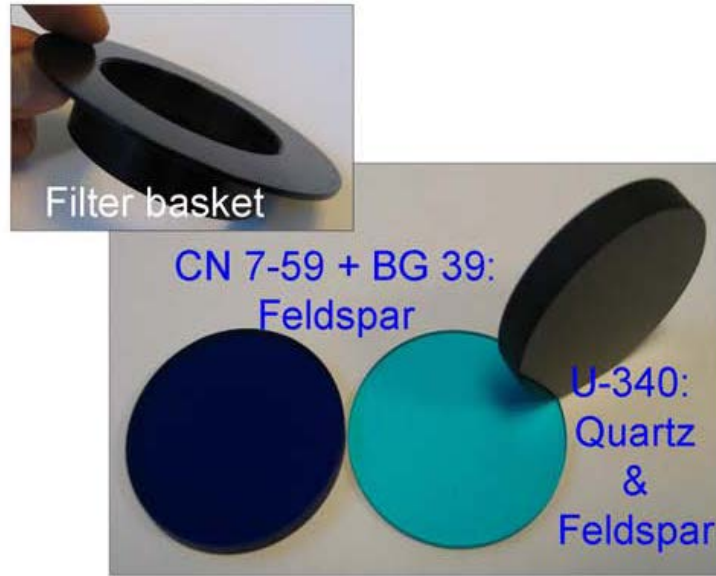
Risø TL/OSL okuyucu içindeki standart PMT'lerde bialkali EMI 9235QB tüp kullanılır ve maksimum dedeksiyon verimi 200 nm ile 400 nm arasındadır. Bu özelliği ile kuvars ve feldspatın lüminesans ölçümleri için uygundur. Sistemde örnek ile katot arasındaki mesafe 55 mm'dir ve dedeksiyon katı açısı yaklaşık 0.4 steradyandır.

3.3.2.2 Optik filtreler

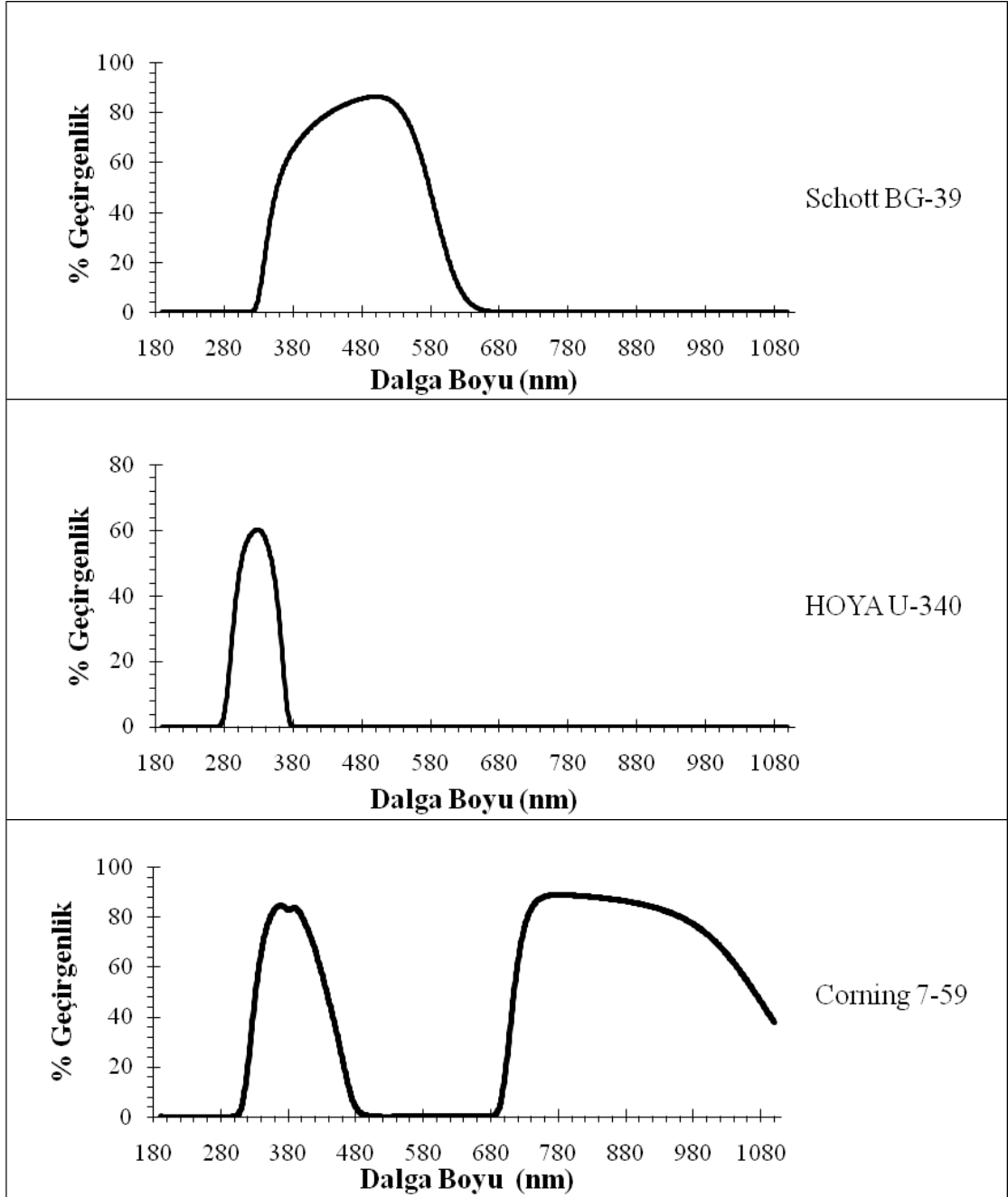
Uyarma ışığının şiddeti yayılan ışığın şiddetinden yaklaşık 10^{18} kat daha büyüktür. Bu nedenle yayılan lüminesansın ölçülebilmesi için, uyarımda kullanılan ışığın PMT'e ulaşımının uygun optik filtrelerle engellenmesi gerekir.

Risø TL/OSL Okuyucuda, aşağıdaki üç tip filtre kullanılmış (şekil 3.9) ve bu filtrelerin geçirgenlik spektrumları Şekil 3.10' da gösterilmiştir.

1. Hoya U-340 (7.5 mm kalınlığında, $\text{Ø} = 45$ mm)
2. Schott BG 39 (2 mm kalınlığında, $\text{Ø} = 45$ mm)
3. Corning 7-59 (4 mm kalınlığında, $\text{Ø} = 45$ mm)



Şekil 3.9 Kullanılan optik filtreler



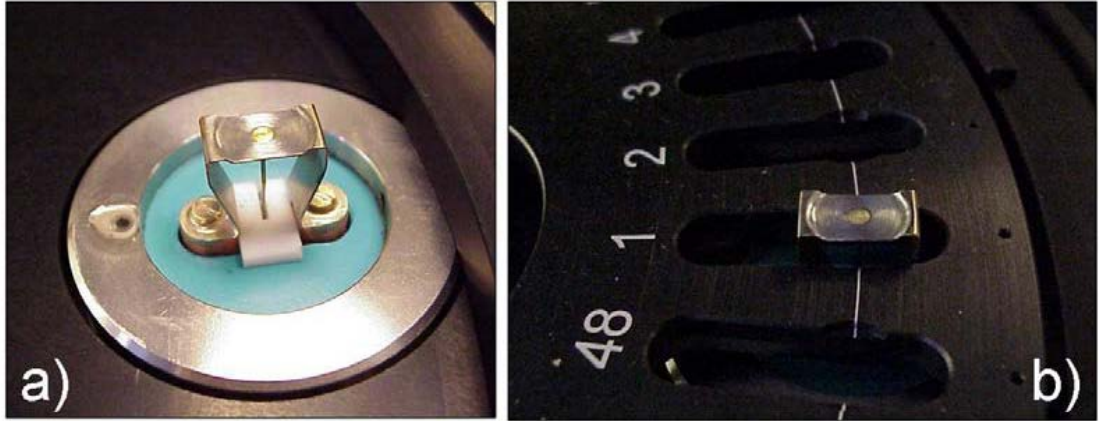
Şekil 3.10 RISØ TL/OSL okuyucuda kullanılan optik filtrelerin geçirgenlik spektrumları (Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü Optik Araştırma Laboratuvarı' ndaki UV-1800 model Shimadzu marka cihaz kullanılarak filtrelerin geçirgenliği 190-1100 nm dalga boyu aralığında incelenmiştir)

3.3.3 Lüminesans uyarım sistemi

Risø TL/OSL okuyucu iki adet lüminesans uyarım sistemine sahiptir: 1. TL ölçümleri için kullanılan ısıtma sistemi, 2. OSL ölçümleri için kullanılan ışık uyarımlı sistemidir. İki sistemde birlikte kullanılabilir, örneğin; OSL ölçümünde örnek sıcaklığını arttırmak mümkündür.

3.3.3.1 Isıtma ile uyarım sistemi

Isıtıcı (şekil 3.11) ve kaldırma mekanizması PMT altında yer alır. Isıtıcının iki fonksiyonu vardır; birincisi örneği ısıtmak, ikincisi ise örneği ölçüm pozisyonuna getirmek. Isıtıcı, örneği 0.1'den 10 K/s'ye kadar ayarlanabilen sabit ısıtma hızlarında 700 °C' ye kadar ısıtır. Isıtıcı azot gazı kullanılarak soğutulur ve aynı zamanda azot akışı ısıtıcıyı yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeden de korumaktadır.

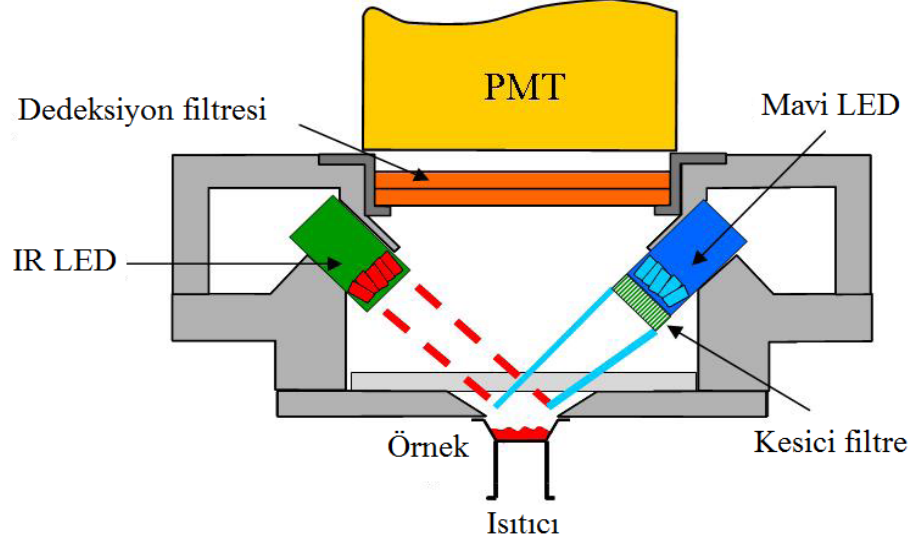


Şekil 3.11 a) Isıtıcının ölçüm pozisyonundaki resmi, b) Karuselinde yerleştirildiği a) ile aynı ısıtıcının resmi

3.3.3.2 Optik uyarım sistemi

Genelde, OSL sistemlerinde örnekler, sabit ışık şiddetiyle uyarılırlar. Elektron tuzaklarının bu şekilde boşaltılmasıyla eksponansiyel azalan sinyal üretilir. Standart Risø TL/OSL okuyucuda (Bøtter-Jensen v.d. 2000) örneğin uyarılması için iki seçenek vardır: 1) IR LED (Işık Yayıcı Diyot): Üç grup halinde toplam 21 adet IR LED bulunmaktadır. Toplam 21 LED'in maksimum gücü örnek pozisyonunda yaklaşık 145

mW/cm^2 'dir ve 870 nm dalga boyunda ışık yayar, 2) Mavi LED: Dört adet grup halinde toplam 28 adet Mavi LED bulunmaktadır. Toplam 28 LED'in maksimum gücü $50 mW/cm^2$ 'dir ve 470 nm dalga boyunda ışık yayar. Bunlar şekil 3.12' de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 OSL birimindeki IR ve mavi LED'i beraber gösteren şematik diyagram

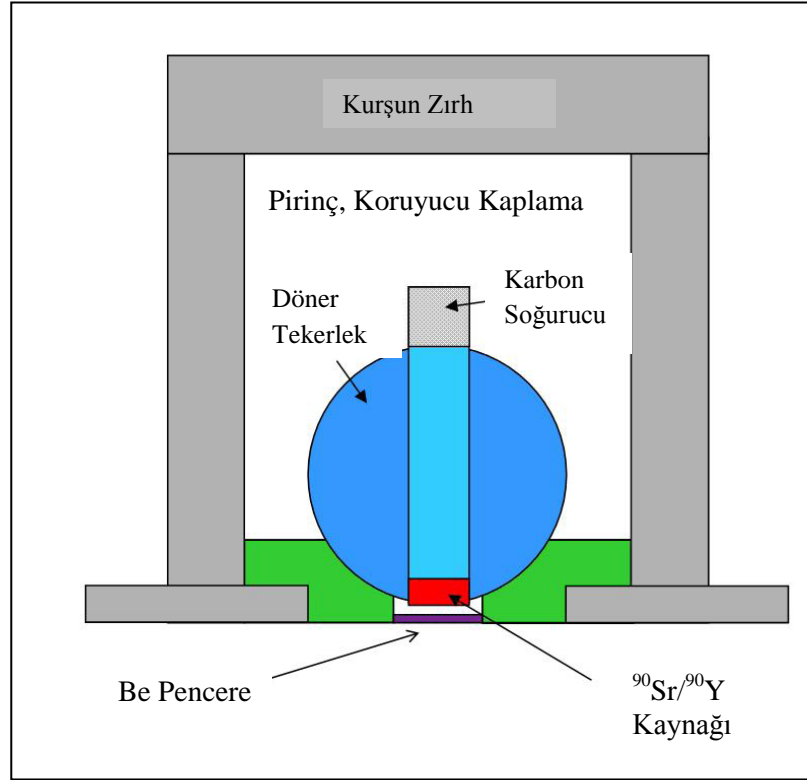
3.3.3.3 Referans ışık kaynağı

470 nm'de mavi ışık yayan bir LED, referans kaynağı olarak okuyucu içine monte edilmiştir. Dedeksiyon sisteminin rutin kontrollerinde kullanılır. Mavi LED, kararlı ışık çıkışı için sıcaklığı sabitlenmiş (± 0.5 °C) alüminyum kaplama içinde yer almaktadır. Referans LED kaynağının iki önemli amacı vardır:

1. Programı çalıştırmadan önce PM tüpün önüne yerleştirilen optik filtrelerin doğruluğunu kontrol etmek,
2. Mavi geçirgen filtre kullanımında dedeksiyon sisteminin uzun süreli kararlılığını kontrol etmektir.

3.3.4 Beta ışınlama kaynağı

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta ışınlayıcı örnek karuselinin üzerinde yer alır (şekil 3.13). Etrafında kurşun zırh bulunmaktadır. Kaynak maksimum enerjisi 2.27 MeV olan beta parçacıkları yayar. Yarı-ömrü 30 yıldır, aktivitesi 1.48 GBq'dir (40 mCi) ve kaynağın altında 7 mm mesafede tutulan bir örneğin aldığı doz saniyede yaklaşık 150 mGy' dir.



Şekil 3.13 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ Beta ışınlayıcı şematik diyagramı

4. BULGULAR

4.1 Kapadokya Örneklerinin Hazırlanması

Büyük parçalar halindeki örnekler, öncelikle mermer havanda dövülerek küçük tanecik boyutlarına getirilmiştir. Kırılan örnekler, farklı boyutlardaki elekler kullanılarak $\mu\text{m}<45$, $90<\mu\text{m}<140$, $140<\mu\text{m}<250$ tanecik boyutlarına ayrılmıştır. Akciğer zarı kanserine sebep olarak $0,2-1 \mu\text{m}$ çapında $2-10 \mu\text{m}$ boyutundaki toz tanecikleri gösterildiği için, deneylerde örnekler elendikten sonra $45 \mu\text{m}$ altında elenen parçacıklar ile ince tanecik tekniği kullanılarak $4-10 \mu\text{m}$ boyutunda hazırlanan örnekler kullanılmıştır.

4.1.1 İnce tanecik tekniği

Bu teknikle parçacık büyüklüğü $4-10 \mu\text{m}$ olan örnekler elde edebilmek için kullanılır. İnce tanecik çalışmalarında elenerek elde edilen $45 \mu\text{m}$ altındaki tanecik boyutuna sahip örneklerden iki büyük tüpe $10'$ ar mg koyulur. Tüplerin üzerine aseton ilave edilir ve iyice çalkalanır. Tüpler ultrasonik banyoda 60 saniye bekletilir. Banyodan çıkarılan örnekler iki dakika bekletilir. İki dakika sonunda tüplerin üzerinde kalan kısım başka iki tüpe alınır. Alınan bu kısımdaki parçacıkların boyutu $10 \mu\text{m}$ 'nin üzerindedir. 20 dakika bekletildikten sonra üstte kalan aseton atılır, tüpün dibinde çökelen kısımdaki parçacık boyutu $4-10 \mu\text{m}$ aralığındadır ve ince tanecik örnekler hazırlamak için bu kısım kullanılmıştır. Eğer altta kalan tanecik miktarı yeterli değilse, işlem madde miktarı yeterli görülünceye kadar tekrar edilir. Yeterli miktara ulaşan tanecikler üzerine tekrar aseton konur ve eşit bir şekilde alüminyum diskler üzerine dağılmaları için eppendorf aleti ile içlerine bir cm çapında alüminyum diskler yerleştirilmiş küçük tüpler içine bölüştürülür. Bu tüpler içindeki asetonun uçması ve taneciklerin diskler üzerine yapışması için 40°C sıcaklıktaki kurutma fırınında bekletilir.

Yapılan ilk deneylerde iğne, köpük ve yaprak görünümlü minerallerin kristal yapılarını bozmamak için hiçbir kimyasal ve fiziksel işlem uygulanmamıştır. Fakat yapılan deneylerin sonuçlardaki tutarsızlıklar nedeni ile birbirine daha yakın örnekler elde etmek için ince tanecikli örnekler hazırlanmıştır. Bu aşamada Sarıhıdır mağarasından toplanan iğne, yaprağımsı ve pamuk yapılı mineraller ayıklanmış bu minerallerden iğnemsı ve pamuk yapılı olanların seyreltik asitte ve saf suda çözüldüğü gözlenmiştir. Ayrıca evlerden toplanan toz örnekleri hiçbir kimyasal ve fiziksel işlem tabi tutulmadan ince tanecik metodu ile örnek hazırlanarak incelenmiştir.

4.2 Doğal ve Yapay Radyonüklit Miktarları

Araziden toplanan ($x < 200 \mu\text{m}$, 6.72 g) fiziksel ve kimyasal yöntemlerle temizlenen örneklerin ($90 < \mu\text{m} < 140$, 7.34 g) içerdiği doğal ve yapay radyonüklit miktarları gama spektroskopisi ile ölçülmüştür. Ölçümler; Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Gama Spektroskopisi Laboratuvarı'nda Canberra marka %44.8 bağıl verimli HPGe kuyu tipi detektör ile yapılmıştır. Araziden toplanan örneklerin içinde ^{210}Pb , ^{214}Pb (^{226}Ra), ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K gibi radyoizotoplar gözlenmiştir ve aktivite değerleri Çizelge 4.1' de verilmektedir (Köse 2010).

Çizelge 4.1 Araziden toplanan örneklerin gama spektroskopisi yöntemi ile elde edilen radyonüklit miktarları.

örnek	^{232}Th		^{238}U		% ^{40}K	
	Bq/kg	ppm-	Bq/kg	ppm	Bq/kg	ppm
İğne yapılı mineral	23±2	5,7±0,5	144±17	11,5±1,4	213±8	0,7±0,03
İğne yapılı minerallerin ana kayası	57±2	14,0±0,5	187±22	14,8±1,8	733±28	2,3±0,1

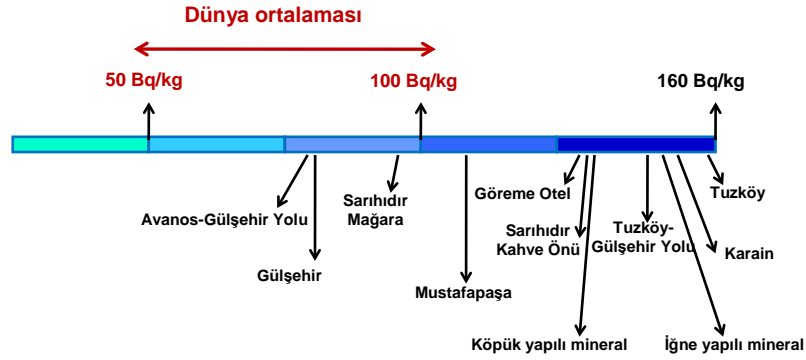
Çizelge 4.2 Araziden toplanan örneklerin XRF yöntemi ile elde edilen radyonüklit miktarları.

örnek	^{232}Th (ppm)	^{238}U (ppm)	% ^{40}K (ppm)
İğne yapılı mineral	2,9	6,2	0,3
İğne yapılı minerallerin ana kayası	14,8±07	16,5±3.9	2,4±0,012

Çizelge 4.2 de verilen sonuçlar Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi' nde XRF yöntemi ile elde edilmiştir.

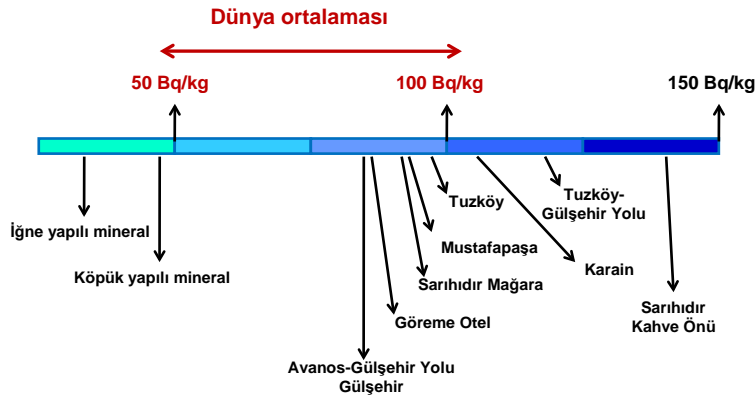
a)

URANYUM (^{238}U) SONUÇLARI

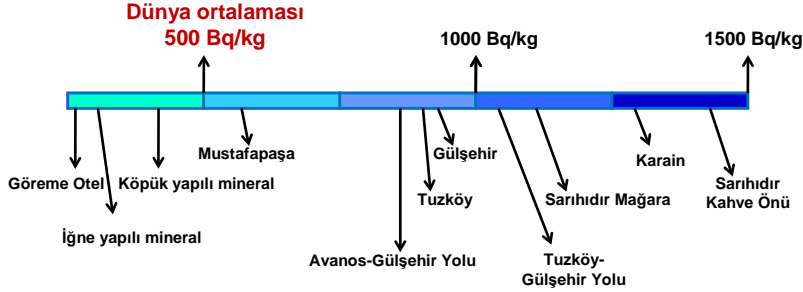


b)

TORYUM (^{232}Th) SONUÇLARI



c)

POTASYUM (⁴⁰K) SONUÇLARI

Şekil 4.1 Kapadokya bölgesinden toplanan örneklerinin içerdiği a) U, b)Th, c) K aktivite miktarlarının dünya ortalaması ile karşılaştırılması.

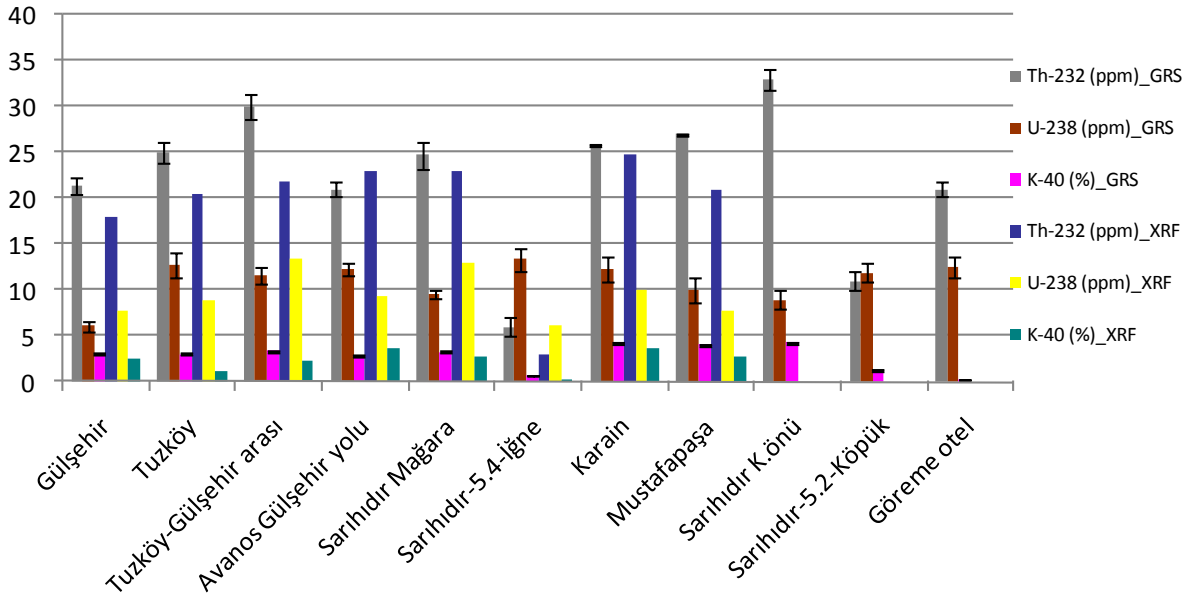
Şekil 4.1' e göre iğne yapılı mineralin içerdiği radyonüklitlerin aktiviteleri dünya ortalamasının altında kalmıştır. Yapılan ölçümlerde bazı bölgelerde aktivite miktarlarının dünya ortalamasının biraz üstünde olsa bile insan sağlığını etkileyecek seviyede olmadığı saptanmıştır.

4.3 Örneklerin X-Işını Kırınımı Analizi

Kapadokya bölgesinden toplanan örneklerin hangi minerale ait olduklarının belirlenmesi için X-ışını kırınımı yöntemi kullanılmıştır. Analizler Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği ICP ve mikroanaliz Laboratuvarı'nda yer alan Inel Equinox-1000 model X-ışını difraktometresi ile yapılmıştır (XRD sistemi Mo tüpe sahiptir, X-ışını demetinin dalga boyu $\lambda = 1,542\text{Å}$ 'dur, tüpe uygulanan voltaj 50kV). Sarıhıdır mağarasından toplanan iğne, yaprakımsı ve pamuk yapılı mineraller ayıklanmış bu minerallerden iğnemsisi ve pamuk yapılı olanlar seyreltik asitte ve saf suda çözüldüğü gözlenmiştir.

İğne, yaprakımsı ve pamuk yapılı mineraller ayıklanmış bu örnekler konfokal Raman Spektrometre, XRD, XRF kimyasal analiz ile incelenerek zeolit grubuna ait eryonit minerallerine rastlanmamıştır. Yapılan incelemeler sonucunda iğnemsisi mineraller epsomit ve yaprakımsı olanlar ise ferronatrit evaporit grubu minerallere ait olduğu ve tıbbi jeoloji açısından zararlı mineral grubuna bağlı olmadığı belirlenmiştir.

GRS ve XRF kimyasal analizinden elde edilen sonuçların karşılaştırıldığı ppm histogramı şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.2 XRD ve gama GRS den elde edilen U, Th, K’a ait ppm histogramı

4.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), elektronları kullanarak örnek yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntü alınmasını sağlayan sistemlerdir. SEM, örnek yüzeyinin üç boyutlu elektron mikroskobu, tungsten, lantan hekza borit katottan veya alan emisyonlu (FEG) gun’dan ortaya çıkan elektronların kullanımı incelenecek malzeme yüzeyine görüntülerinin belirlenmesinde son derece kullanışlı bir yöntemdir.

SEM de genel olarak elektron enerjisi 200-300 eV dan 100 keV a kadar değişebilir. Bir taramalı elektron mikroskobunda görüntü oluşumu temel olarak; elektron demetinin incelenen örneğin yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşmelerin (elastik, elastik olmayan çarpışmalar ve diğerleri) sonucunda ortaya çıkan sinyallerin toplanması ve incelenmesi prensibine dayanır.

Gelen elektron demetindeki elektronların, malzemedeki atomlarla yapmış olduğu elastik olmayan çarpışma sonucu (yani, örnek yüzeyindeki atomlardaki elektronlara enerjilerini transfer ederek) ortaya çıkan ikincil elektronlardır (secondary electrons). Bu elektronlar örnek yüzeyinin yaklaşık 10 nm'lik bir derinliğinden ortaya çıkarlar ve bunların tipik enerjileri en fazla 50 eV civarındadır. İkincil elektronlar fotoçoğaltıcı tüp yardımıyla toplanıp, örneğin tarama sinyali konumuyla ilişkilendirilerek yüzey görüntüsü elde edilir.

Elektron demeti ile incelenen örnek yüzeyindeki malzeme arasındaki etkileşimde ortaya çıkan diğer bir elektron grubu ise geri saçılma elektronları (backscattered electrons) adı verilen elektronlardır (bu elektronlar, yüzeye gelen elektron demeti ile yaklaşık 180° açı yapacak biçimde saçılırlar). Geri saçılma elektronları, yüzeyin derin bölgelerinden (yaklaşık 300 nm'ye kadar) gelen daha yüksek enerjili elektronlardır. Bu enerjideki elektronlar bir fotoçoğaltıcı tüp tarafından tespit edilemeyecek kadar yüksek enerjiye sahip olduklarından, genellikle quadrant foto dedektörlerle (katıhal) yardımıyla tespit edilir. Bilindiği üzere bu tür dedektörler üzerine gelen elektronların indüklediği elektrik akımının şiddetine göre çıkış sinyali verirler. Sonuç olarak ikincil elektronlar incelenen örneğin kompozisyonu hakkında bilgi verir.

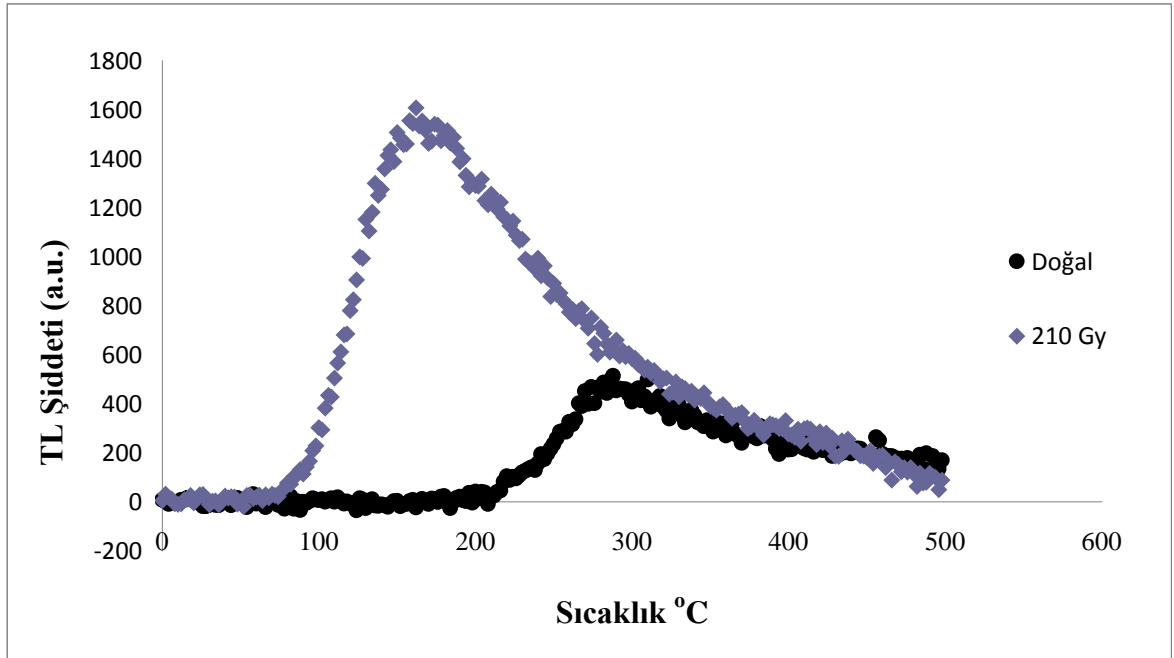
Gelen elektron demetinin incelenen örnek yüzeyi ile yapmış olduğu diğer bir etkileşim ise (yaklaşık 1000 nm derinlik civarında), karakteristik X ışınlarının çıktığı durumdur (enerjileri keV mertebesinde). Bu X ışını mesela 10 mm² çapındaki bir Si (Li) dedektörle algılanır, ortaya çıkan sinyal yükselticiye, oradan çok kanallı analizöre ve daha sonra da SEM sistemin bilgisayarına gönderilir. Sonuçta ortaya çıkan karakteristik X ışını (ki bu ışının enerjisi her atoma özeldir), SEM' de incelenen malzemenin element bakımından muhtevasının nitel ve nicel olarak tespit edilmesine yardımcı olur. Kapadokya bölgesinden toplanan örneklerinin SE ve BSD dedektörleri ile görüntülemeleri yapılmış ve bu görüntülerden bazıları EDX analizi için kullanılmıştır. Elde edilen görüntülerde eriyonit boyutlarında (birkaç µm çapında, yaklaşık 10 µm boyunda) iğne yapılarına rastlanmamıştır (Ankara Üniversitesi Elektron Mikroskobu Biriminde elde edilen SEM görüntüleri Ek-1, Ek-2 de verilmiştir).

4.5 İğne Yapılı Minarelin TL Özelliklerinin İncelenmesi

4.5.1 İğne yapılı minarelin TL ışıma eğrisi

Çelik diskler üzerine yerleştirilen 4–10 µm kalınlığındaki örnekler TL ölçümü için kullanılmıştır. Örnekler laboratuvarında radyasyon dozu verilmeden ve ön ısıtma yapılmadan maksimum 500°C' ye 2°C/s ile ısıtılmış ve doğal ışıma eğrileri elde edilmiştir (Şekil 4.3). Işıma eğrileri Şekil 4.3' de görüldüğü gibi 300 °C' de gözlenen tek bir tepeden ibarettir. Doğal TL ölçümleri alındıktan sonra (500 °C' ye ısıtıldıktan sonra) ışımlanan örnekler (210 Gy) ön ısıtma uygulanmadan TL ışıması kaydedilmiştir. Şekil 4.3' de görüldüğü gibi yapay TL eğrilerinde 180 °C TL tepeleri de gözlenmiştir. Laboratuvarında örneğe 210 Gy doz verilerek ışıma eğrisi elde edilirken ön ısıtma yapılmadığı için 300 °C' deki tepe gölgelemiştir.

Daha sonra yaş tayini amacı ile yapılan deneylerde ısıtma ile örneğin radyasyon hassasiyet değişimini azaltmak için TL ölçümleri 380 °C' nin altında yapılmış ve düşük sıcaklık tepesini yok etmek için 180 °C ön ısıtma uygulanmıştır.

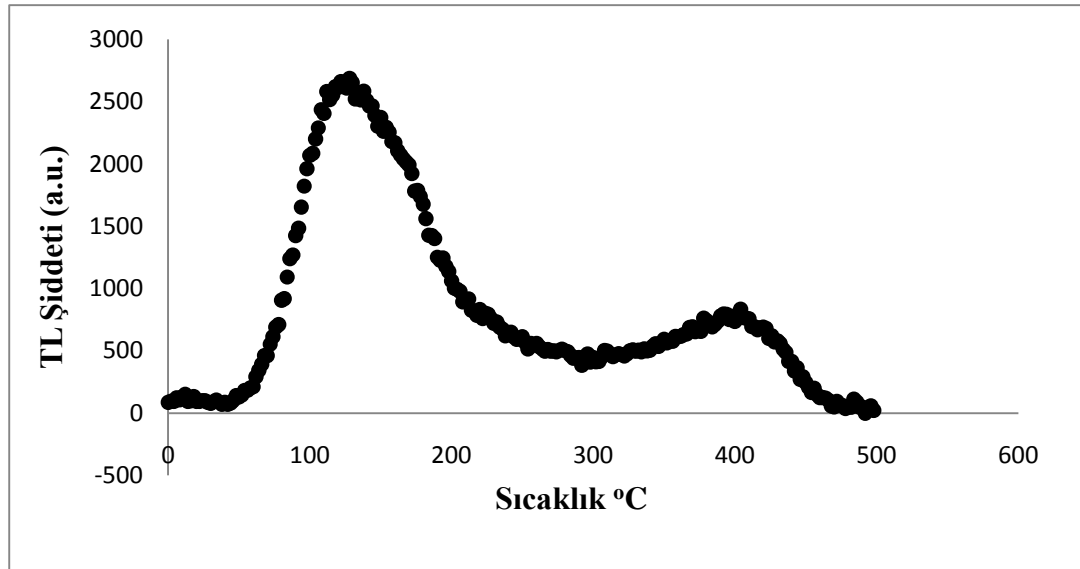


Şekil 4.3 500 °C' ye kadar ısıtılan ince tanecik iğne yapılı mineralin 300 °C' de, tepesinin bulunduğu gözlenmiştir. Daha önce ısıtılmış örneğin tepesi ise 180 °C'dir

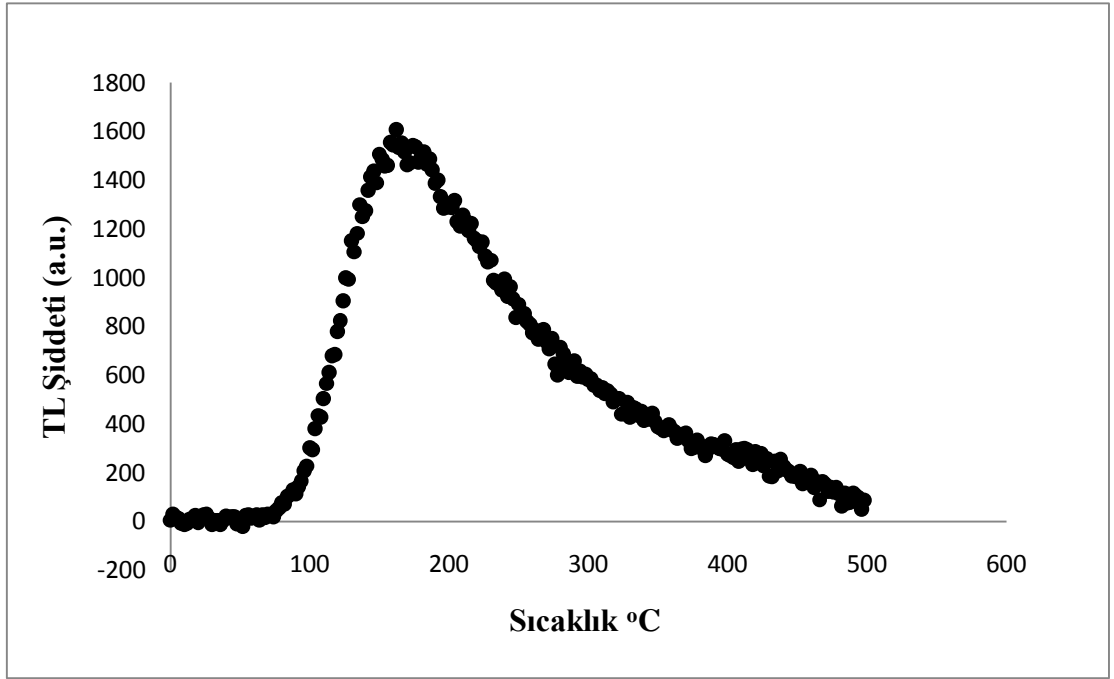
İğne yapılı minarelin örnek hazırlama aşamasında seyreltik asitte ve saf suda çözüldüğü gözlenmiştir. Bu aşamadan sonra iğne yapılı mineral ezerek örnek, iğne şeklindeki kristaller suda çözüldükten sonra dibe çökelen kısım ile ince tanecik örnek ve iğne yapılı mineral ile aseton kullanarak ince tanecikli örnek hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler ile TL ölçümleri yapılmış (şekil 4.4) (şekil 5.5) (şekil 5.6) ve ışımaya eğrilerinin benzerlikleri incelenmiştir. Ölçümler yapılırken örneklere 120 Gy doz verilmiş ve maksimum 500 °C'ye 2 °C/s ısıtma hızıyla ısıtılmıştır.

Çizelge 4.3 İğne yapılı mineralin doğal ışımaya eğrisinin elde edilmesi işlem sırası

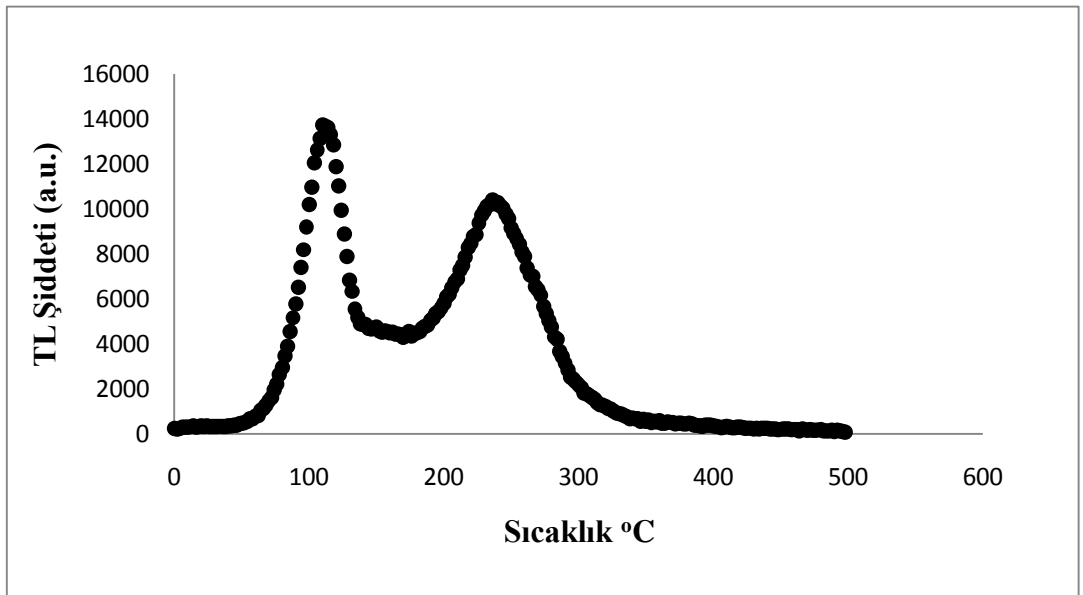
Örnek	Run1
*İğne yapılı mineralin ince tanecik olarak hazırlanması ile elde edilen üç örnek (4–10) µm	500 TL 2 °C/s
	500 sn Beta
	500 TL 2 °C/s
*İğne yapılı mineralin suda çözünmeyen kısmı ile ince tanecik olarak hazırlanan üç örnek (4-10) µm	1000 sn Beta
	500 TL 2 °C/s
	1500 sn Beta
*İğne yapılı minerallerin ezilmesi ile elde edilen üç örnek.	500 TL 2 °C/s



Şekil 4.4 İğne yapılı minerali ezerek hazırlanan örneklerle yapılan ölçümlerden kayıt edilen yapay TL ışımaya eğrisi (örneklere verilen doz 120 Gy)

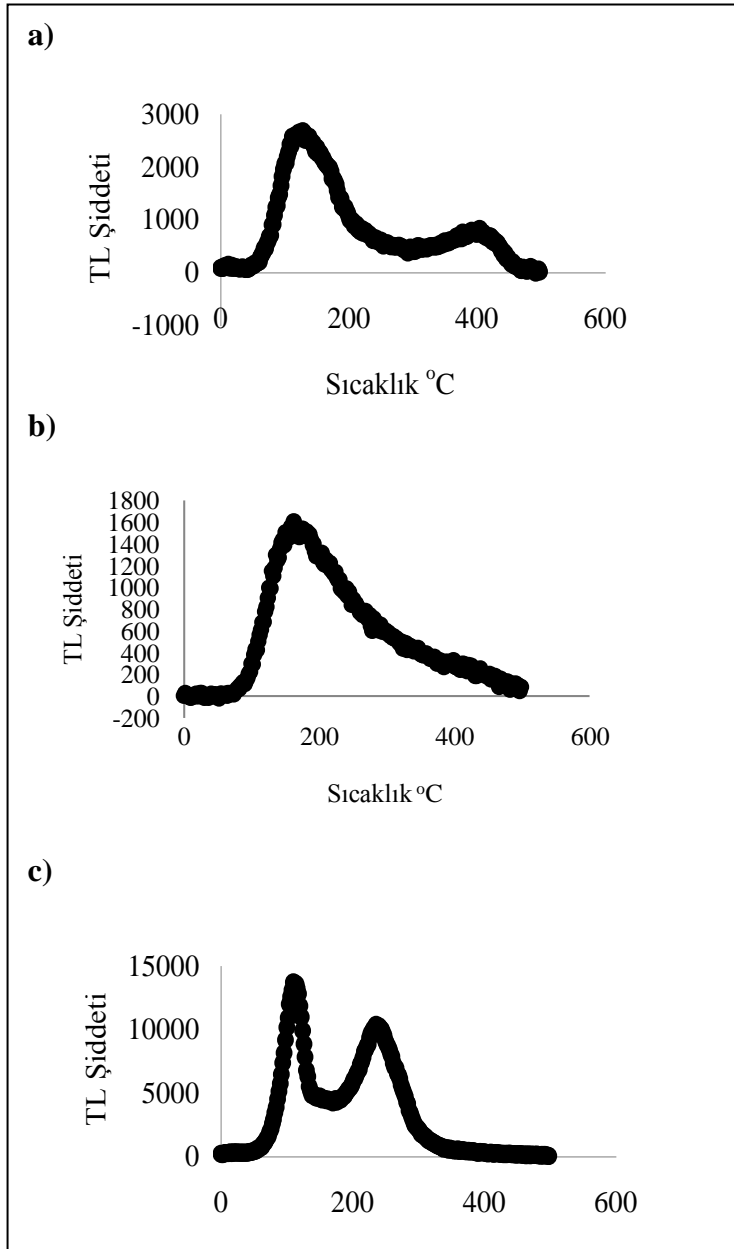


Şekil 4.5 İğne yapılı mineralin ince tanecik tekniği kullanılarak hazırlanması ile yapılan TL ölçümlerinden elde edilen yapay TL ışınma eğrisi (örneklere verilen doz 120 Gy).



Şekil 4.6 İğne yapılı mineral suda çözdürüldükten sonra dibe çökelen kısımla hazırlanan örnekler ile yapılan ölçümlerden kayıt edilen yapay TL ışınma eğrisi (örneklere verilen doz 120 Gy).

Havanda ezilen iğne yapılı minerallerden 10 mg alınarak tanecik büyüklüğü 140- 250 μm olan üç örnek hazırlanmış, suda çözüldükten sonra dibe çökelen kısım ve iğne yapılarla 4-10 μm kalınlığında ince tanecikli üçer örnek hazırlayarak toplamda dokuz örnekle TL ölçümleri yapılmış, ışıma eğrilerinin benzerlikleri incelenmiştir. Ölçümler yapılırken örnekler 120 Gy doz verilmiş ve maksimum 500 $^{\circ}\text{C}$ 'ye 2 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ısıtma hızıyla ısıtılmıştır. Üç farklı şekilde hazırlanarak elde edilen örneklerle yapılan deneyler sonucunda ışıma eğrilerinin farklı olduğu gözlemlenmiştir.

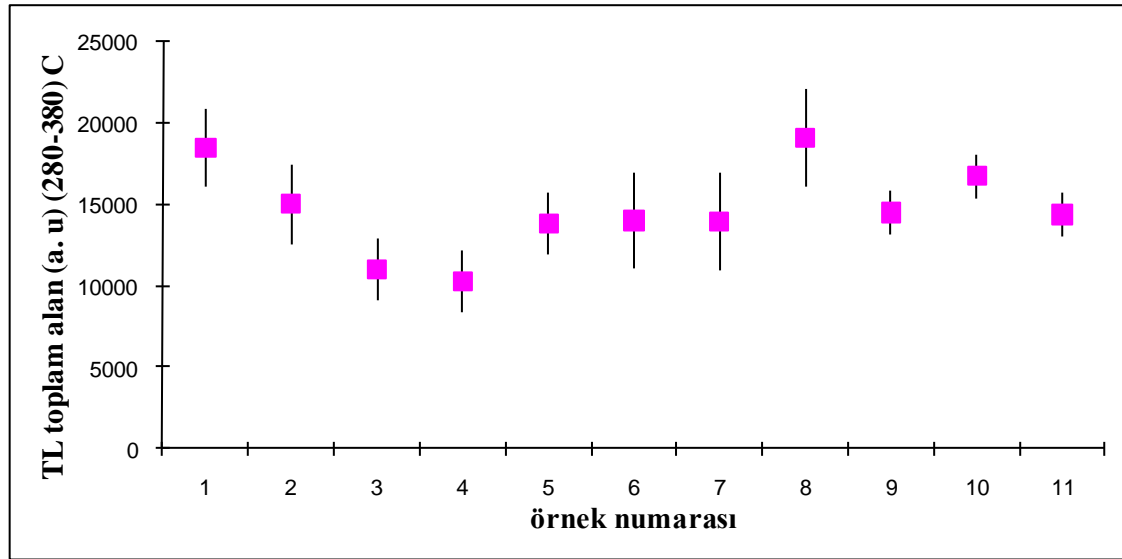


Şekil 4.7 İğne yapılı minerale ait TL ışıma eğrileri

Şekil 4.7' de a) İğne yapılı minerali ezerek hazırlanan örneklerle yapılan ölçümlerden kayıt edilen yapay TL ışımaya eğrisi. b) İğne yapılı mineralin ince tanecik metodu kullanılarak hazırlanması ile yapılan TL ölçümlerinden elde edilen yapay TL ışımaya eğrileri. c) İğne yapılı mineral suda çözdürüldükten sonra dibe çökelen kısım ile hazırlanan örnekler ile yapılan ölçümlerden kayıt edilen yapay TL ışımaya eğrileri (Örneklere verilen radyasyon dozu 120 Gy) görülmektedir. İğne yapılı kristalin üç farklı şekilde hazırlanması ile kayıt edilen TL ışımaya eğrilerinde piklerin farklı sıcaklıklarda olduğu görülmektedir. Buradan bize iğne yapılı kristal ile iğne yapılı kristal suda çözüldükten sonra dibe çökelen kısmın farklı maddeler olduğu sonucu çıkarılabilir.

4.5.2 İğne yapılı mineralin TL hassasiyet değişiminin incelenmesi

İğne yapılı mineral ile ince tanecikli örnek hazırlanmış tekrarlanan ışınlama ve ısıtma sonunda radyasyon hassasiyetinin değişimi incelenmiştir.

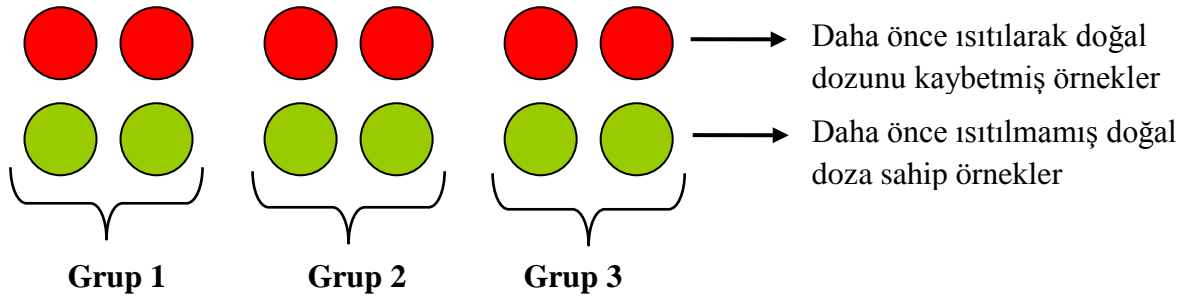


Şekil 4.8 Tekrarlanan ışınlama ve ısıtma sonunda radyasyon hassasiyetinin değişimi

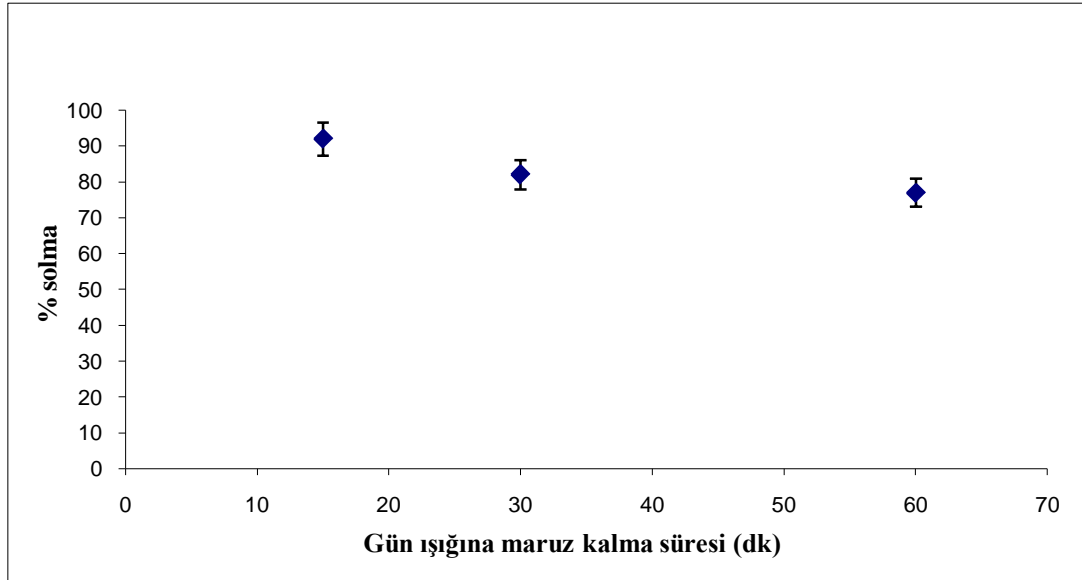
1, 2 numaralı doğal örnekler 1 defa 400 °C ısıtılmıştır. 3, 4, 5 numaralı doğal örnekler 2 defa 400 °C ye ısıtılıp, 2 defa 70 Gy doz verilmiştir. 6, 7, 8 numaralı doğal örnekler ise 2 defa 400 °C ye ısıtılıp, 2 defa 280 Gy doz verilmiştir. Son olarak da bütün örneklerin hepsine 70 Gy doz verilerek şekil 4.8 elde edilmiştir.

Yapılan deney sonucunda tekrar ısıtma ve tekrar radyasyon dozu verilmesi sonucunda radyasyon hassasiyetindeki değişimi hata sınırları içinde kalmış ve TL radyasyon hassasiyetinde değişim gözlemlenmemiştir.

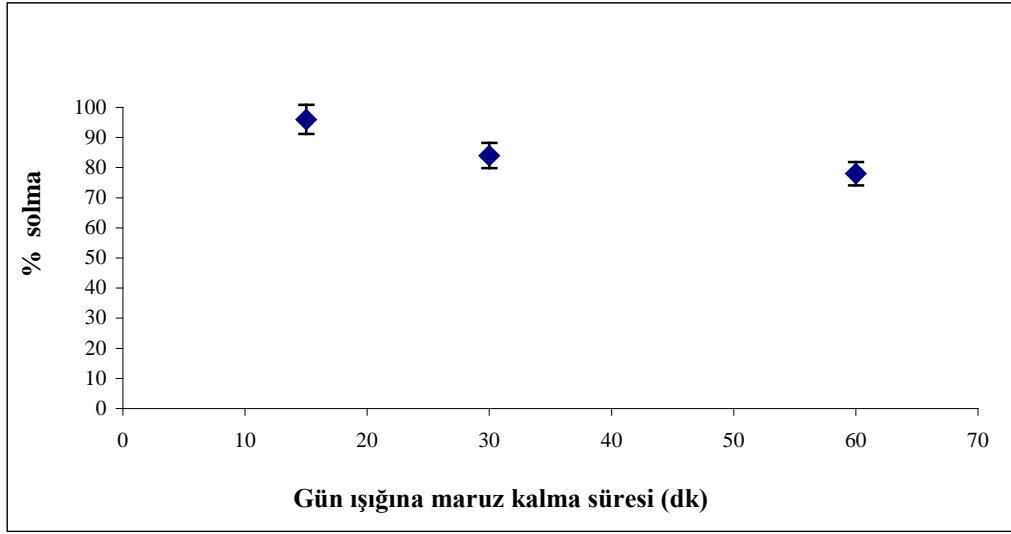
4.5.3 İğne yapılı mineralin gün ışığında solma özelliği



Gün ışığında solma deneyi için 12 tane ince tanecikli örnek kullanılmış ve bu örnekler ile üç grup oluşturulmuştur. Daha önce ısıtılmış örneklerle 70 Gy radyasyon dozu verilmiştir. Grup1 15 dk, grup2 30 dk, grup3 60 dk gün ışığına maruz bırakılmıştır. Daha önce ısıtılmış (şekil 4.9) ve daha önce ısıtılmamış doğal doza sahip örnekler (şekil 4.10) 60 dk sunun da yaklaşık %20 solma özelliği göstermişlerdir.



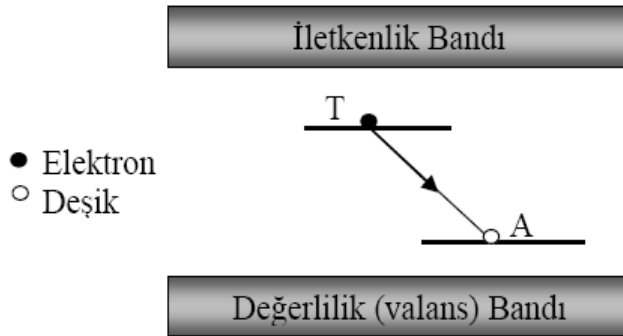
Şekil 4.9 Gün ışığına maruz bırakılan ısıtılmış örneklerin, artan süreye karşı yüzde olarak solmalarını gösteren grafik



Şekil 4.10 Gün ışığına maruz bırakılan ısıtılmamış doğal örneklerin, artan süreye karşı yüzde olarak, solmalarını gösteren grafik

4.5.4 İğne yapılı mineralin anormal solma özelliği

İğne yapılı minerallerin anormal solma özelliği incelenmiştir. Düşük sıcaklık pikleri oda sıcaklığında solma özelliği gösterebilir fakat yüksek sıcaklık pikleri (yaş tayini yapılan bölge) oda sıcaklığında sıcaklıktan dolayı solma özelliği göstermemeleri gerekir. Yüksek sıcaklık piklerinde gözlenen TL şiddetindeki kayıp anormal solma olarak bilinir ve tünelleme olayı ile açıklanır. Bu deney ile yüksek sıcaklık piklerinde anormal solma olayı olup olmadığı saptanmaya çalışılmıştır. Tünelleme olayı kristal yapı içinde tuzaklanan elektronun uyarılmadan deşiklerle yeniden birleşmesidir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Tünelleme olayında elektronların uyarılmadan deşiklerle birleşmesi

Çizelge 4.4 Anormal solma deneyi işlem sırası

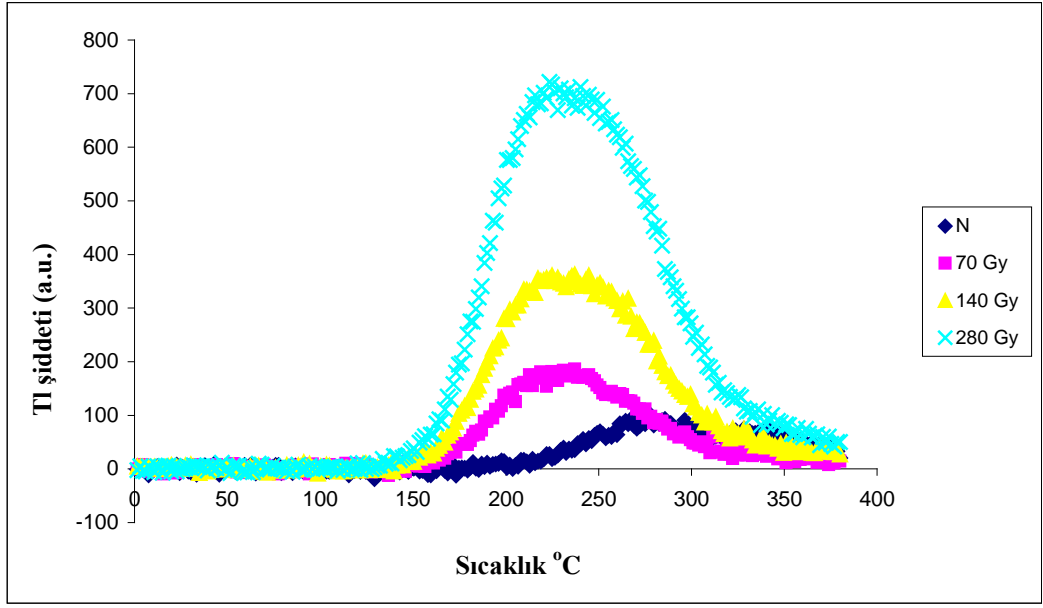
Örnek	Run no	Yapılan işlem
1-9	1	Pre-heat 180 °C TL
1-9	1	380 °C TL, 2 °C/s
1-13	2	70 Gy beta
1-13	2	Pre-heat 180 °C TL
1-13	2	380 °C TL, 2 °C/s

Bu deney için on üç örnek bir ay boyunca karanlıkta bekletilmiştir. Bu örneklerden dokuz tanesi önceden ısıtılarak içindeki doğal dozu kaybetmiş ve laboratuarda 70 Gy radyasyon dozu verilmiş, dört tanesi ise hiç ısıtılmamış doğal örneklerdir. Isıtılmış ve ısıtılmamış örneklerin beraber ölçülmesindeki amaç ısıtmadan dolayı iğne yapılı minerallerde olası radyasyon hassasiyetindeki değişimin saptamasıdır.

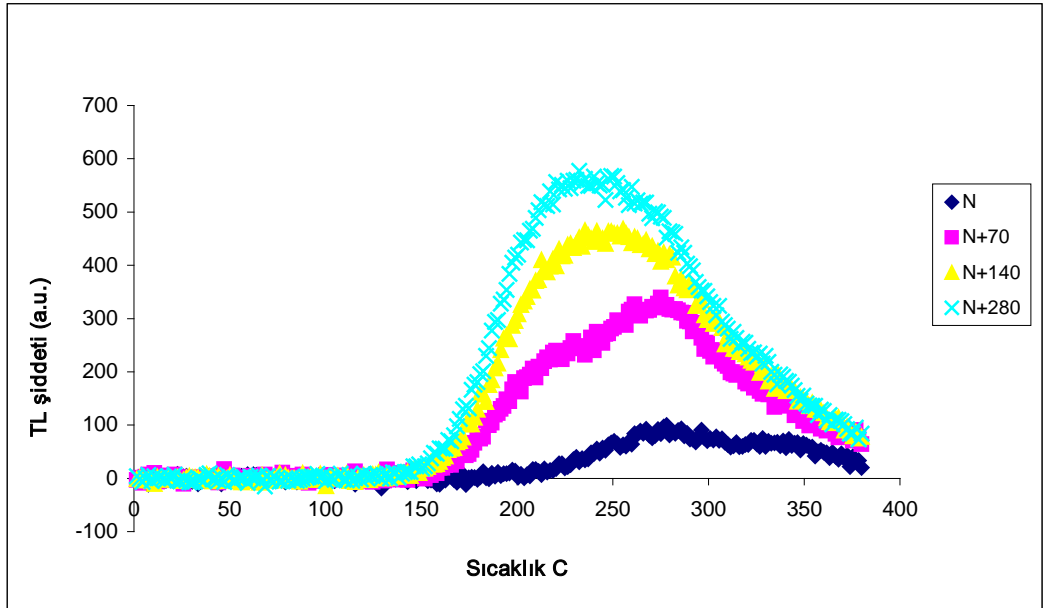
Yapılan hesaplamalar sonunda TL ışımaya eğrisinin (300–350) °C lik kısmında (toplam soğrulan dozun saptandığı pik alanı) 18 ± 7 anormal solma gözlenmiştir. Deneyde kullanılan, daha önce ısıtılmamış dört tane doğal örnekle, daha önce birkaç defa ısıtılmış örneklere ait sonuçlar karşılaştırıldığında tekrar ısıtımlara karşı radyasyon hassasiyetinin değişmediği gözlenmiş ve deney sonuçlarının hassasiyet değişimine karşı düzeltilmesine gerek görülmemiştir.

4.5.5 İğne yapılı mineralin toplam soğrulan dozunun saptanması

İğne yapılı mineralin toplam soğrulan dozunu saptamak amacıyla ilave doz ve yeniden oluşturma teknikleri kullanılarak kayıt edilen TL ışımaya eğrileri Şekil 4.12, şekil 4.13'te görülmektedir. Plato testi yapılarak ışımaya eğrisinin 300- 350 °C lik kısmında toplam soğrulan dozun saptanmasına karar verilmiştir.

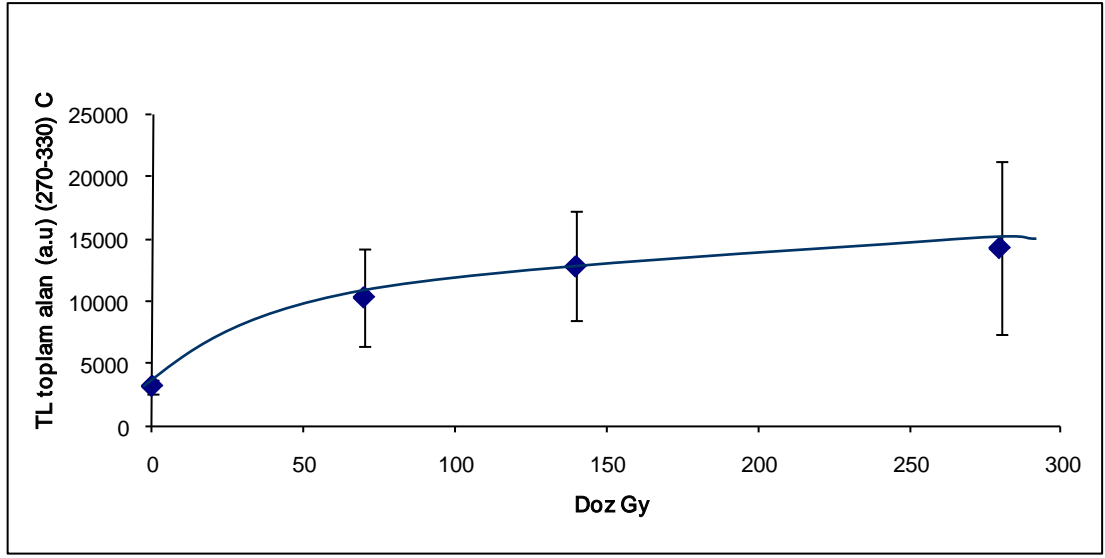


Şekil 4.12 Yeniden oluşturma tekniği ile kayıtlı TL ışımaya eğrileri

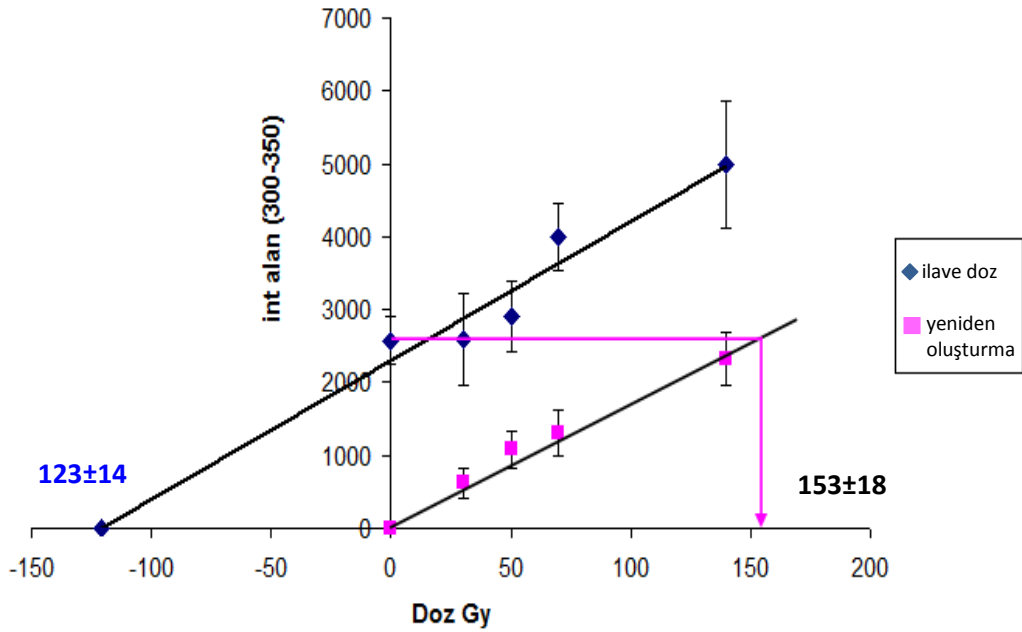


Şekil 4.13 İlave doz tekniği ile elde edilen ışımaya eğrileri

Çizelge 4.5' te verilen ölçüm sırası ve işlemleri kullanılarak ilave doz ve yeniden oluşturma teknikleri ile her örnek için toplam soğrulmuş doz hesap edilmiştir.



Şekil 4.14 İlave doz tekniği ile elde edilen doz cevap eğrisi



Şekil 4.15 İlave doz ve yeniden oluşturma teknikleri kullanılarak elde edilen doz cevap eğrisi

Şekil 2.14' te örneklere 280 Gy'e kadar doz verilmiş fakat örneklerin 140 Gy civarında doyuma ulaştığı gözlenmiş ve en çok 140 Gy doz verilerek toplam soğrulan (TS) dozun saptanması amaçlanmıştır. Şekil 4.15'te 30, 50, 70, 140 Gy dozlar verilerek elde edilen doz cevap eğrisi görülmektedir. İğne yapıllı mineralin ilave doz ve yeniden oluşturma teknikleri kullanılarak toplam soğrulan dozu İlave doz tekniği ile 128 ± 18 Gy, yeniden oluşturma tekniği ile 158 ± 14 Gy olarak hesap edilmiştir.

Çizelge 4.5 İlave doz ve yeniden oluşturma teknikleri ile TS dozun saptanması.

Örnek	Run no	Yapılan işlem
1-5	1	Pre-heat 180 TL 2 C/s
1-5	1	380 TL 2 C/s
6-10	2	30 Gy Beta
6-10	2	Pre-heat 180 TL 2 °C/s
6-10	2	380 TL 2 °C/s
11-15	3	50 Gy Beta
11-15	3	Pre-heat 180 TL 2 °C/s
11-15	3	380 TL 2 °C/s
16-20	4	70 Gy Beta
16-20	4	Pre-heat 180 TL 2 °C/s
16-20	4	380 TL 2 °C/s
21-25	5	140 Gy Beta
21-25	5	Pre-heat 180 TL 2 °C/s
21-25	5	380 TL 2 °C/s
1-5	6	30 Gy Beta
1-5	6	Pre-heat 180 TL 2 °C/s
1-5	6	380 TL 2 °C/s
1-5	7	50 Gy Beta
1-5	7	Pre-heat 180 TL 2 °C/s
1-5	7	380 TL 2 °C/s
1-5	8	70 Gy Beta
1-5	8	Pre-heat 180 TL 2 °C/s
1-5	8	380 TL 2 °C/s
1-5	9	140 Gy Beta
1-5	9	Pre-heat 180 TL 2 °C/s
1-5	9	380 TL 2 C/s

4.5.6 İğne yapılı mineralin yıllık dozunun ve yaşının saptanması

İğne yapılı mineralin doğal olarak soğurduğu toplam doz, örnek içindeki radyoaktif maddelerden, çevresinden ve kozmik ışınlardan kaynaklanmaktadır. Örneğin içinde ve çevresinde ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K gibi izotoplar bulunur. Diğer radyoaktif elementlerin iğne yapılı mineralin toplam dozuna katkıları ihmal edilebilecek kadar düşüktür. İğne yapılı minerallerinin kalınlıklarının birkaç yüz mikron olduğunu düşünürsek yıllık doz iğne yapılı mineralin ihtiva ettiği ^{232}Th , ^{238}U un bozunmasından ileri gelen alfalardan (α) kaynaklanan iç doz ve iğne yapılı minerallerin ana kayasından yayılan gammalardan (γ) kaynaklanan dış dozdan oluşmaktadır.

Çizelge 4.6 Örneklerin ihtiva ettiği radyoizotopların XRD yöntemi ile elde edilen konsantrasyonu

Örnek	(ppm)		
	Th	U	%K
İğne yapılı mineral	2,9	6,2	0,3
İğne yapılı minerallerin ana kayası	14,8±0.7	16,5±3.9	2,4±0,012

Çizelge 4.7 Yıllık doz hızı dönüştürme katsayıları

Yıllık doz hızı dönüştürme katsayıları				
	Aktivite konsantrasyonu	α (a-value=1)	β	Γ
U	Bq/kg ppm	2,78/12,9 =0,215 2,78	0,146/12,9 =0,0113 0,146	0,113/12,9 =0,00875 0,113
Th	Bq/kg ppm	0,732/4,06 =0,18 0,732	0,0273/4,06 =0,0067 0,0273	0,0476/4,006 =0,0117 0,0476
K	Bq/kg ppm		0,782/300 =0,002607 0,782	0,243/300 =0,00081 0,243
K	1%		0,782	0,243

Çizelge 4.8 İğne yapılı mineralin toplam radyasyon dozu

Örnek	İç doz (mGy/yıl)		Dış doz(mGy/yıl)	Toplam doz (mGy/yıl)	Yaş (mGy/yıl)	
	D α	D β				
İğne yapılı mineral	K=0,1	1,93	1,22	2,38	5,53±0,51*	2,17x10 ⁴
	K=0,2	3,87			7,29±0,58*	1,60x10 ⁴
	K=0,3	5,81			9,41±1,03*	1,28x10 ⁴
İğne yapılı mineralleri taşıyan kaya				D γ	Dc	
				**3,26 (2,2)	0,18	

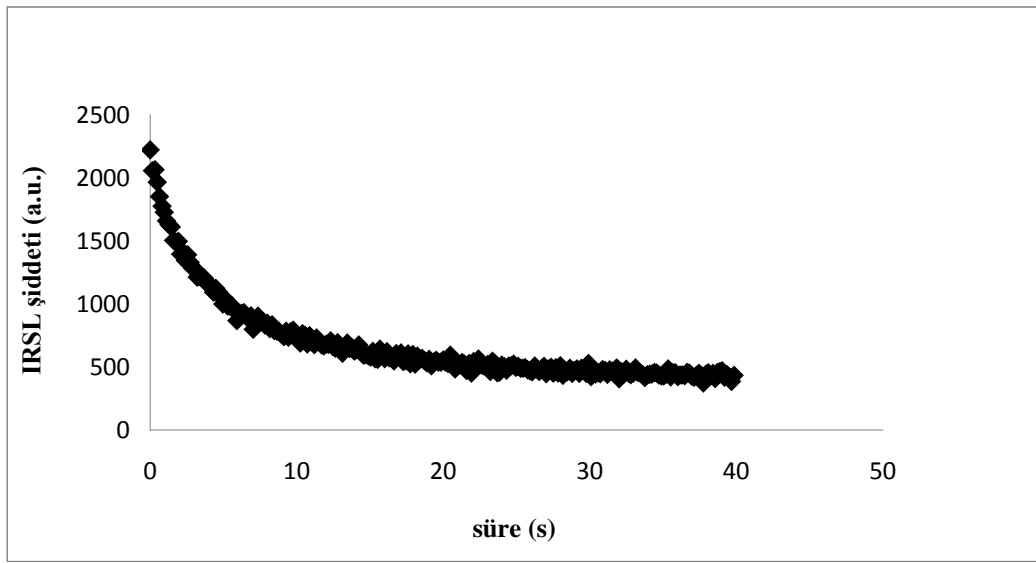
* İğne yapılı kristallerin iç doz hesaplarında sadece U²³⁸,Th²³², un parçalanması sonunda çıkan α ve β parçacıkların dozu göz önüne alınmıştır. Alfa dozu hesabında alfa parçacıklarının radyasyon doz verimi üç değer için hesaplanmıştır (k=0,1, 0,2, 0,3). Gamaların (γ) iğne yapılı kristalde bıraktıkları doz ihmal edilmiştir.

** İğne yapılı kristal üç tarafı kapalı bir tarafı açık mağara içinde oluşmuştur. Mağara kayalarının ihtiva ettiği radyo izotoplardan kaynaklanan dış dozun üçte ikisi iğne yapılı kristal tarafından soğurulan yıllık toplam dış doz olarak kabul edilmiştir. D γ 2,2 mGy/yıl olarak alınmıştır.

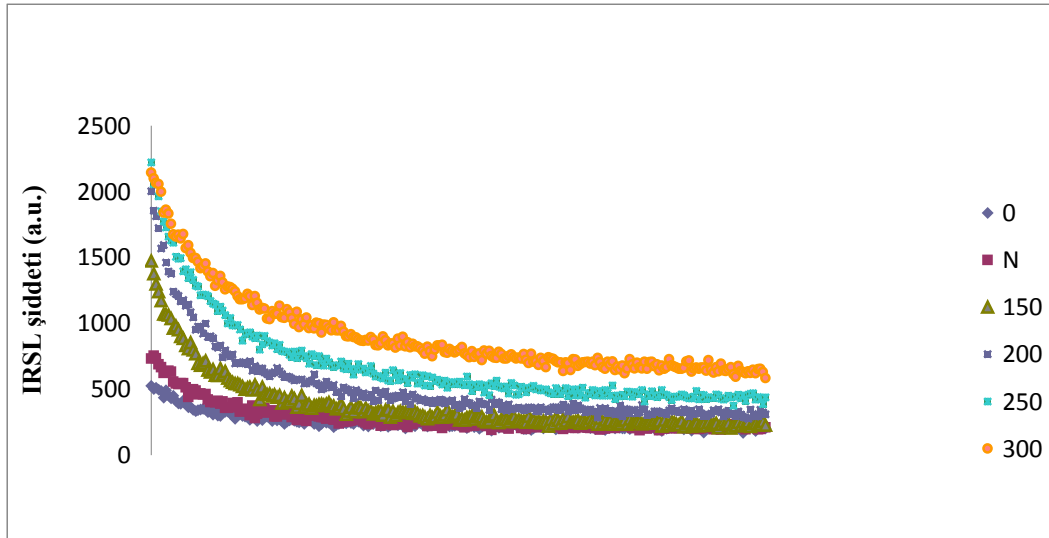
İğne yapılı mineralin kendi içinden kaynaklanan ve bulunduğu çevreden aldığı toplam doz hızları 5,53±0,51 mGy/y ile 9,41±1,03 mGy/y arasında değişirken, oluşum yaşlarının 2,17x10⁴±1307 yıl, 1,28x10⁴±768 yıl arasında olabileceği hesap edilmiştir.

4.6 İğne Yapılı Mineralin OSL Özellikleri

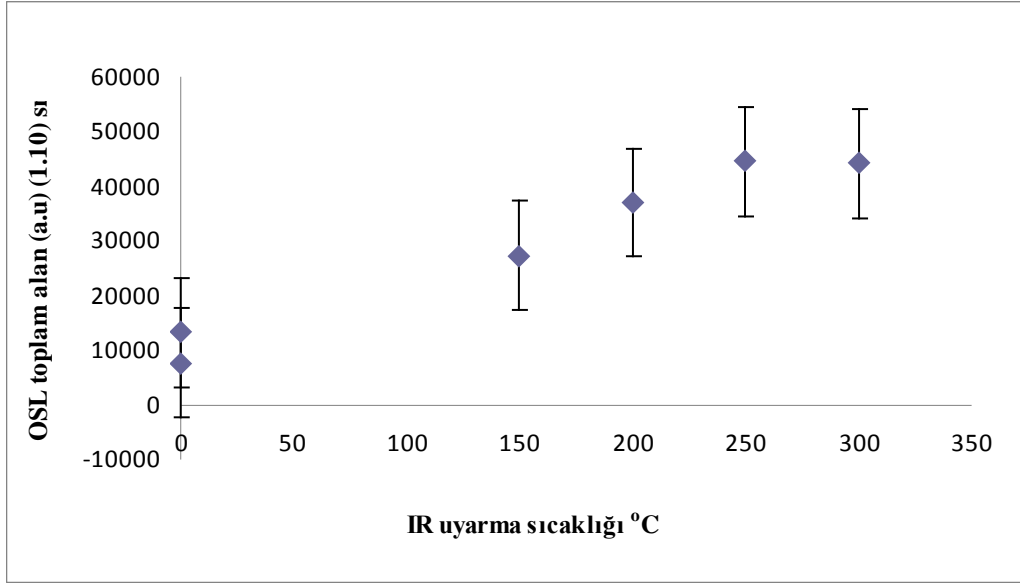
İğne yapılı mineralin ışık ile uyarıldığında lüminesans sinyali verip vermeyeceğini görmek için kızıl ötesi dalga boyunda ışık kaynağı ile 40 sn boyunca uyarılmış ve IR-OSL sinyali gözlemlenmiştir. IR-OSL sinyali şiddetinin uyarım sırasındaki örneğin sıcaklığına bağlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle en uygun OSL uyarma sıcaklığının saptanması amacıyla örnekler uyarılma süresince farklı sıcaklarında tutulmuştur. Uyarma sıcaklığı olarak 250 °C'ye karar verilmiştir. Lüminesans emisyonları BG- 39 ve 7- 59 optik filtreleri kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 4.16 İğne yapılı mineralin natürel OSL ışıma eğrisi



Şekil 4.17 OSL uyarma sıcaklığına bağlı olarak IR-OSL ışıma eğrisindeki değişim



Şekil 4.18 OSL uyarma sıcaklığına bağlı olarak OSL radyasyon verimindeki değişim

Şekil 4.16, şekil 4.17, şekil 4.18 çizelge 4.9' da verilen ölçüm sırasına göre yapılan deney sonucunda elde edilmiştir. İlk olarak 125 °C uyarma sıcaklığında IR-OSL ölçümü alınarak iğne yapılı mineralin doğal OSL ışımaya eğrisi kayıt edilmiştir (Şekil 4.16). Daha sonra çeşitli OSL uyarma sıcaklıklarında ölçüm alınarak OSL ışımaya eğrisi kayıt edilmiştir. Şekil 4.17 de OSL uyarma sıcaklığına bağlı olarak IR-OSL ışımaya eğrisindeki değişimi görülmektedir. OSL ışımaya eğrisinin 1-10 sn lik bölgesindeki toplam alan alınarak elde edilen grafikten de görüldüğü gibi 250 °C den sonra radyasyon verimi değişmemektedir (şekil 4.18). Radyasyon veriminin en yüksek olduğu 250 °C' ye en uygun OSL uyarma sıcaklığı olarak karar verilmiştir.

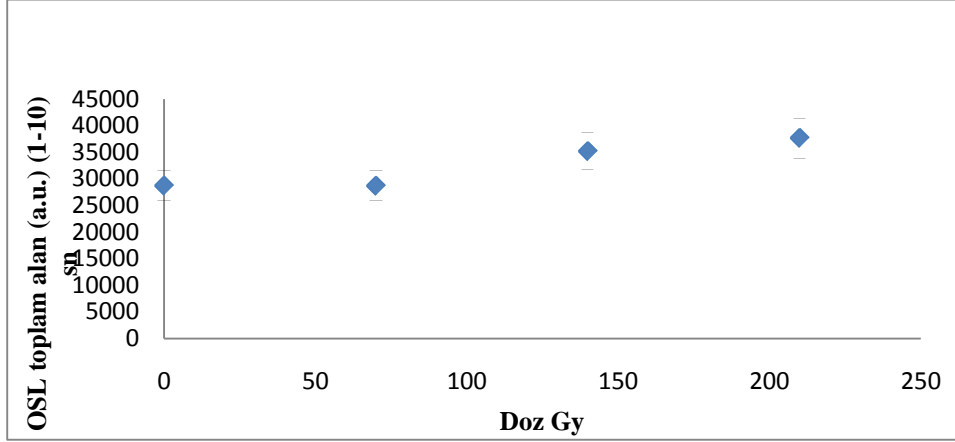
Çizelge 4.9 IR-OSL uyarma sıcaklığının saptanması amacıyla izlenen işlem sırası

Örnek	Run no	Yapılan işlem
1-9	1	260 °C TL, 5 °C/s
1-9	1	IR-OSL, 125 °C
1-13	2	143 Gy beta
1-13	2	260 °C TL, 5 °C/s
1-13	2	IR-OSL, 0 °C
1-13	3	143 Gy beta
1-13	3	260 °C TL, 5 °C/s
1-13	3	IR-OSL, 150 °C
1-13	4	143 Gy beta
1-13	4	260 °C TL, 5 °C/s
1-13	4	IR-OSL, 200 °C
1-13	5	143 Gy beta
1-13	5	260 °C TL, 5 °C/s
1-13	5	IR-OSL, 250 °C
1-13	6	143 Gy beta
1-13	6	260 °C TL, 5 °C/s
1-13	6	IR-OSL, 300 °C

4.6.1 İğne yapılı mineralin IR-OSL ile toplam soğrulan dozunun saptanması.

İğne, yapılı kristaller ile hazırlanan ince tanecikli örneklerden üçer tane alınarak dört grup oluşturulmuş ve çizelge 4.10'da verilen ölçüm sırasına göre yeniden oluşturma ve ilave doz teknikleri kullanılarak ölçüm alınmıştır. Birinci gruba doz verilmeden doğal ışımaya eğrileri kayıt edilmiş. 2. gruba 71 Gy, 3.gruba 143 Gy, 4. gruba 210 Gy doz verilerek ilave doz ışımaya eğrileri kayıt edilmiş, bütün örneklerle 71, 143, 210 Gy doz verilerek yeniden oluşturma ışımaya eğrileri kayıt edilmiştir.

- İlave doz tekniği ile toplam soğrulan dozun saptanması.

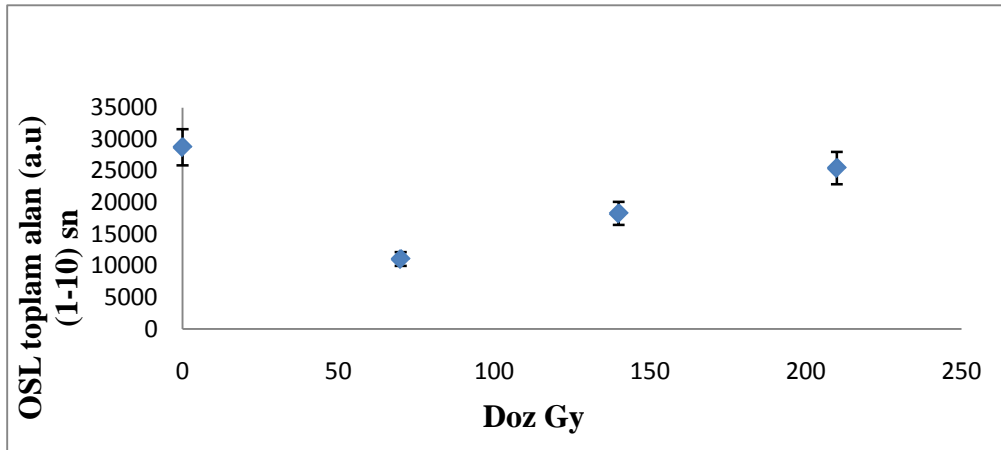


Şekil 4.19 İlave doz tekniği doz cevap eğrisi

4.19’da ilave doz cevap eğrisi görölmektedir. Bu eğriye göre ilave doz tekniğinde örneklerin doyum dozuna çok yaklaştığı görölmektedir. Bu nedenle iğne yapılı mineralin toplam soğrulan dozunun yeniden oluşturma tekniği ile saptanmasına karar verilmiştir.

- Yeniden oluşturma tekniği ile toplam soğrulan dozun saptanması.

Şekil 4.20’ de iğne yapılı mineralin yeniden oluşturma tekniği ile elde edilen doz cevap eğrisi görölmektedir. Şekle göre toplam soğrulan doz 250 Gy in üzerindedir.



Şekil 4.20 Yeniden oluşturma tekniği doz cevap eğrisi

IR-OSL metodu ile İğne yapılı mineralin toplam soğrulan dozunun 248 ± 6 ‘den daha fazla yaşı ise 8×10^4 yıldan daha büyük olduğu saptanmıştır.

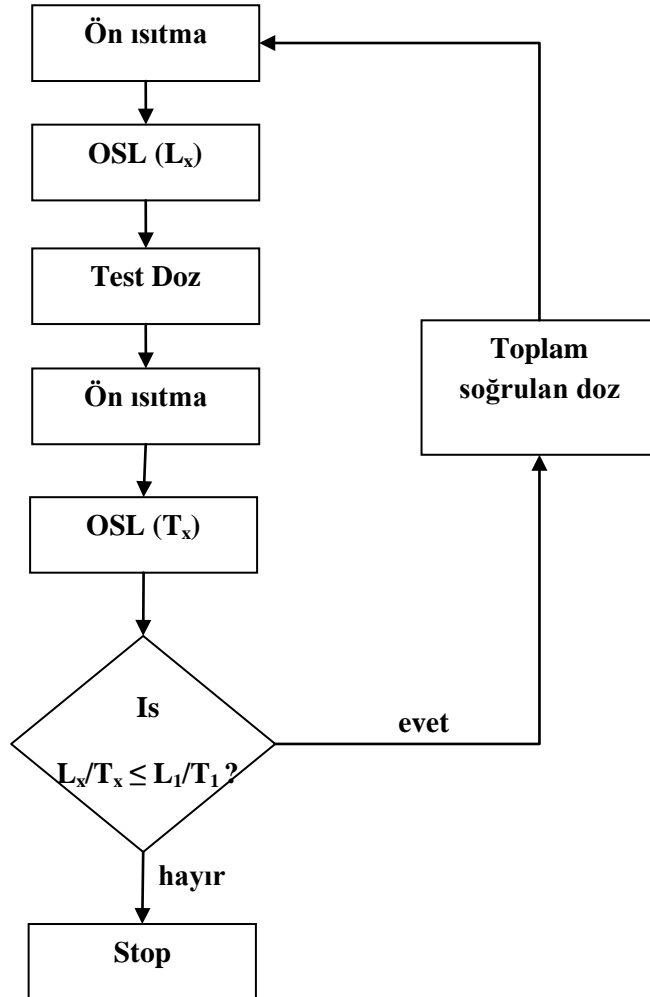
Çizelge 4.10 IR-OSL metodu ile ilave doz ve yeniden oluşturma teknikleri kullanılarak TSD hesap edilmesi için izlenen ölçüm sırası

Örnek	Run no	Yapılan işlem
1-3	1	260 °C TL, 5 °C/s
1-3	1	IR-OSL, 250 °C
1-3	1	14,3 Gy beta
1-3	1	260 °C TL, 5 °C/s
1-3	1	IR-OSL, 250 °C
1-3	1	IR-OSL, 250 °C
4-6	2	71 Gy beta
4-6	2	260 °C TL, 5 °C/s
4-6	2	IR-OSL, 250 °C
4-6	2	14,3 Gy beta
4-6	2	260 °C TL, 5 °C/s
4-6	2	IR-OSL, 250 °C
4-6	2	IR-OSL, 250 °C
7-9	3	143 Gy beta
7-9	3	260 °C TL, 5 °C/s
7-9	3	IR-OSL, 250 °C
7-9	3	14,3 Gy beta
7-9	3	260 °C TL, 5 °C/s
7-9	3	IR-OSL, 250 °C
7-9	3	IR-OSL, 250 °C
10-12	4	210 Gy beta
10-12	4	260 °C TL, 5 °C/s
10-12	4	IR-OSL, 250 °C
10-12	4	14,3 Gy beta
10-12	4	260 °C TL, 5 °C/s
10-12	4	IR-OSL, 250 °C
10-12	4	IR-OSL, 250 °C
1-12	5, 6,7	70, 140, 210 Gy beta
1-12	5, 6,7	260 °C TL, 5 °C/s
1-12	5, 6,7	IR-OSL, 250 °C
1-12	5, 6,7	14,3 Gy beta
1-12	5, 6,7	260 °C TL, 5 °C/s
1-12	5, 6,7	IR-OSL, 250 °C
1-12	5, 6, 7	IR-OSL, 250 °C

4.6.2 SAR tekniği ile iğne yapılı mineralin toplam soğrulan dozunun saptanması

4.6.2.1 Tek Tablet Yeniden Oluşturma Metodu (SAR)

Laboratuarda radyasyona maruz bırakılmış örnekler kararsız bileşenler içerir. Bu yüzden doğal OSL sinyali ile laboratuarda yeniden oluşturulan OSL sinyalini karşılaştırmak için OSL sinyalinde görülen kararsız bileşenleri kaldırmak gerekir. Bunu yapmanın bir yolu materyale ön ısıtma uygulamaktır. Fakat materyalin ısıtılması radyasyona karşı duyarlılığını artırır ve bu durum doz tahminini karmaşık hale getirir. Tek örnek yeniden oluşturma metodunda (SAR) duyarlılık değişiminin olumsuz etkisinden kurtulmak için bir test dozu uygulanılarak duyarlılık değişiminin düzeltilmesini sağlanır.



şekil 4.21 SAR tekniği ile toplam soğrulan dozun saptanma şeması

Bir mineralin oluşumundan itibaren tarihi boyunca doğal çevresinden soğurduğu toplam radyasyon miktarı, başka ifadeyle maddenin kristalleşmesinden bu yana biriktirdiği radyasyon miktarı doğal radyasyon paleo doz (PD) ile tanımlanır. Laboratuarda materyal belli bir sıcaklıkta ön ısıtma yapılarak daha sonra optik uyarımla doğal OSL sinyali PS ölçülür. Küçük bir test dozu Dt materyale verilir. Materyal belli bir sıcaklıkta ön ısıtma yapılır ve test dozuyla üretilen OSL sinyali TS ölçülür.

SAR tekniğindeki ikinci ölçüm döngüsü, ilk yeniden oluşturma dozu D1 vermekle başlar. Radyasyon verilmiş materyal önceki döngüde olduğu gibi ön ısıtma yapılır ve yeniden oluşturulan sinyal P1 ölçülür. Bu işlem tekrarlanarak doz cevap eğrisi elde edilir. Tek tablet metodunun bazı avantajları vardır, bunlar a) az bir numunenin yeterli olması, b) çok tablette olduğu gibi tabletler arası farklılık olmayacağı için normalizasyona ihtiyaç olmaması, c) çok tablet hazırlamak için harcanan zamandan daha az zamana ihtiyaç duyulmasıdır. Çizelge 4.11' de verilen ölçüm sırası kullanılarak SAR tekniğine ile toplam soğrulan doz TSD 182 ± 99 olarak hesap edilmiştir.

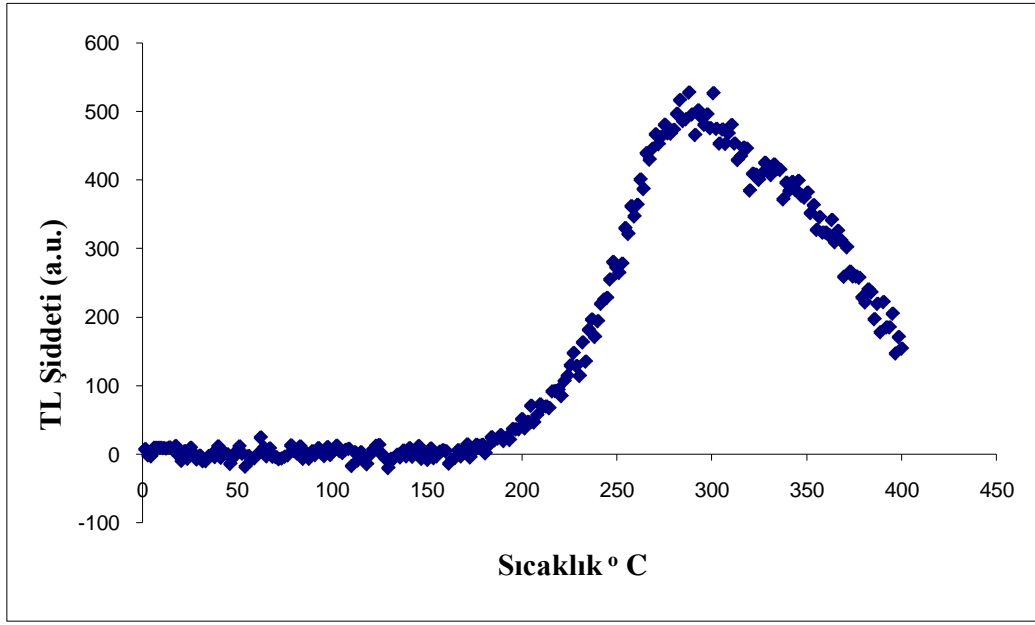
Çizelge 4.11 SAR tekniği ölçüm prosedürü

Örnek	Run no	Yapılan işlem
1-6	1	Ön ısıtma 180 °C, 5 °C/s
		IR-OSL 250 °C, 5 °C/s
		Beta 70 sn.
		Ön ısıtma 180 °C, 5 °C/s
		IR-OSL 250 °C, 5 °C/s
		LED ile ışınlama
1-6	2	Beta 3497 s Run 1 tekrar et
1-6	3	Beta 6993 s Run 1 tekrar et
1-6	4	Beta 1090 s Run 1 tekrar et
1-6	5	Beta 0 s Run 1 tekrar et
1-6	6	Beta 3497 s Run 1 tekrar et

4.7 Evlerden Toplanan Toz Örneklerinin İncelenmesi

4.7.1 Karain toz örneğinin natürel TL ışımaya eğrisi

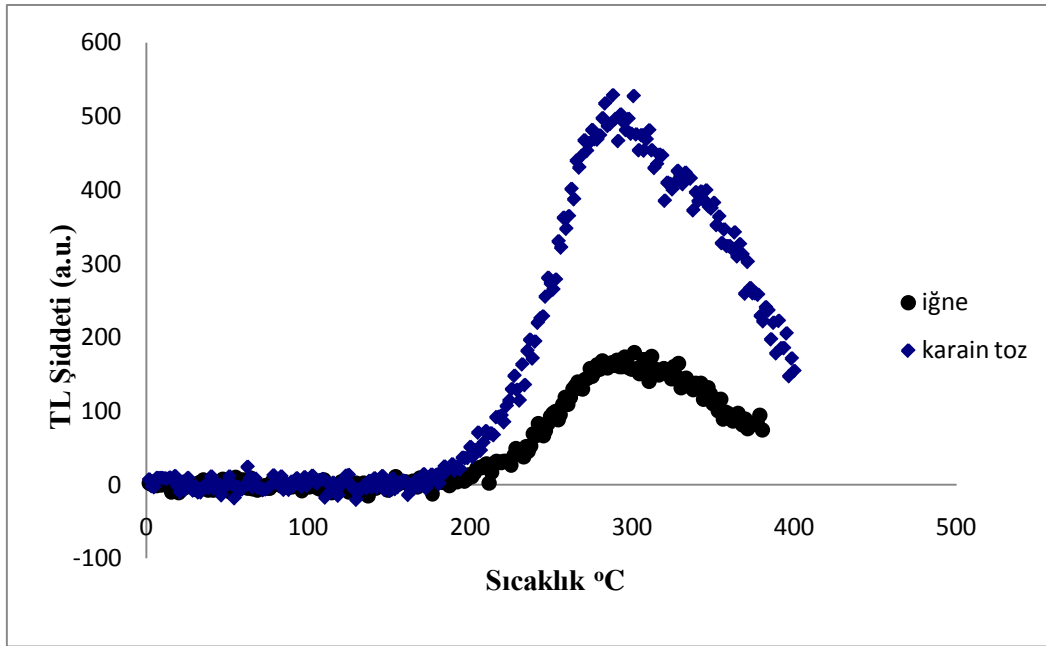
Evlerden toplanan tozların termoluminesans ölçümleri yapılarak ışımaya eğrisinin elde edilmesi amacıyla ince tanecik yöntemiyle hazırlanan 4-10 µm kalınlığında örnekler çelik disk üzerine yoğunlaştırılarak ölçülmüştür. Örnekler 400°C'ye 2°C/s ile ısıtılarak doğal ışımaya eğrileri elde edilmiştir Şekil 4.23'te görüldüğü gibi 300 °C'de tepe gözlenmiştir.



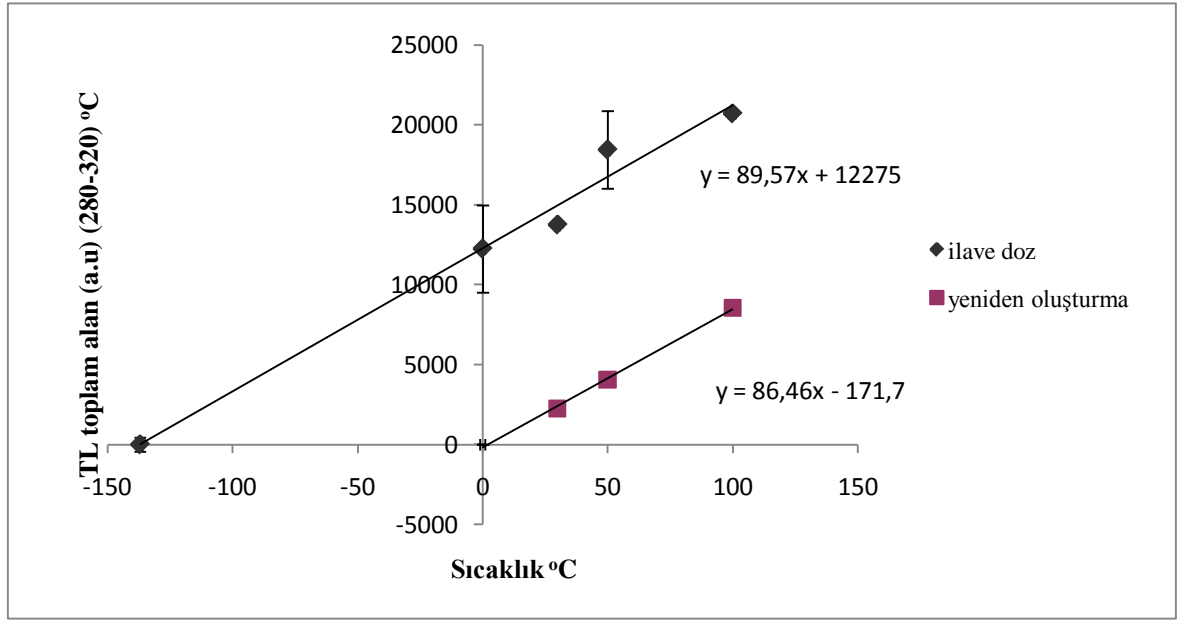
Şekil 4.23 Karain köyündeki evlerde toplanan toz örneğinin TL ışıma eğrisi

4.7.2 Karain toz örneğinin toplam soğurulan dozunun saptanması

Toz örnekleri ve iğne yapılı mineralin ışıma eğrilerinin ve toplam soğurulan dozlarının benzerlikleri incelenmeye çalışılmıştır. Yapılan ölçümlerde elde edilen iğne yapılı mineral ve Karain toz örneğine ait TL ışıma eğrilerinin üst üste çizilmiş hali şekil 4.24'te gösterilmiştir.



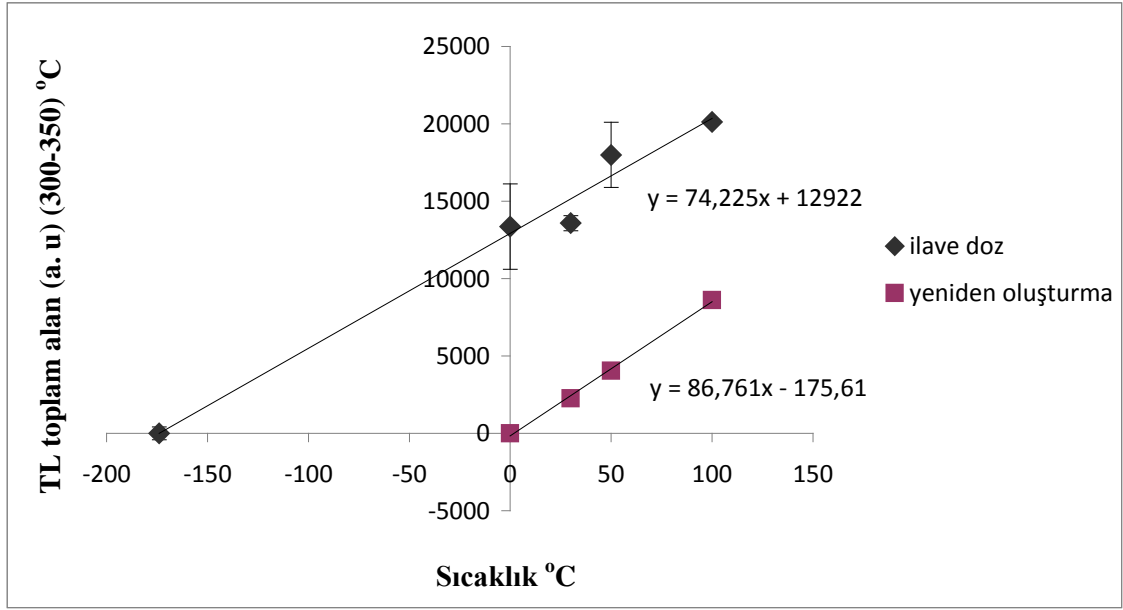
Şekil 4.24 Karain toz örneği ile iğne yapılı mineralin ışıma eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.25 İlave doz ve yeniden oluşturma teknikleri kullanılarak elde edilen grafik

Plato testi yapılarak integral olan olarak 280- 320 °C aralığı olarak karar verilmiştir. Şekil 4.25' ya göre Yeniden oluşturma tekniği ile toplam soğrulan doz 142 ± 22 Gy, ilave doz tekniği ile toplam soğrulan doz 137 ± 28 Gy olarak saptanmıştır.

İğne yapılı mineralin toplam soğrulan dozunu TL ışımaya eğrisinin 300- 350 °C lik kısmı kullanılarak saptanmıştır. Karain toz örneği ile iğne yapılı mineralin toplam soğrulan dozunun (TSD) karşılaştırılması amacıyla aynı integral alan alınarak toz örneklerinin TS dozu saptanmıştır. (şekil 4.26)' de iğne yapılı mineral ve Karain toz örneğinin TS dozları karşılaştırılmıştır. Karain toz örneğinin ilave doz tekniği ile TSD değeri 174 ± 32 Gy, Yeniden oluşturma tekniği ile TSD değeri 157 ± 24 Gy bulunmuştur. Bu sonuç iğne yapılı mineral ile uyumludur. Bu değerlerden bölgeden elde edilen materyallerin evlerin yapım malzemesi olarak kullanıldığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.26 İğne yapılı mineralin TL ışına eğrisinde toplam soğurulan dozun saptandığı pik alanı ile aynı integral alan alınarak elde edilen Karain toz örneğine ait doz cevap eğrisi

Şekil 4.26 Karain toz örneğinin İlave doz tekniği ile toplam soğurulan doz 174 ± 32 Gy, Yeniden oluşturma tekniği ile toplam soğurulan doz 157 ± 24 Gy bulunmuştur. Bu sonuç iğne yapılı mineralininki ile uyumludur. Buradan çıkarılacak sonuç evlerde bölgeden elde edilen materyaller kullanılmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan tez çalışmasının ilk aşamasında, Kapadokya bölgesinde Sarıhıdır köyündeki bir mağaradan volkanik kayaçların ayrışması sonunda oluşan iğne yapılı minerallerin lüminesans özellikleri incelenerek, ev tozlarında da aynı özelliklerin aranmasına başlanmıştır ancak tez çalışmasının başlamasından kısa bir süre sonra eriyonit olduğu sanılan bu mineralin eponit olduğu gözlenmiştir. Bu aşamada tez çalışmasının yönü değiştirilerek Sarıhıdır mağarasında bulunan iğne, yaprak ve pamuk gibi oluşumların oluşum yaşı saptanmaya çalışılmıştır.

2°C/s ısıtma hızı ile 500 °C'ye kadar ısıtılan örneklerin termolüminesans ışımaya eğrileri Şekil 4.1' te gösterildiği gibi 300 °C de bir tepeden oluşmuştur. Isıtılmış örneğe laboratuarda 210 Gy doz verildikten sonra elde edilen ışımaya eğrisinde ise 180 °C de TL tepesinin gözlemlenmiştir. Laboratuarda örneğe doz verilip ölçüm alındığında ön ısıtma yapılmadığı için 180 °C TL tepesinin şiddetinin çok yüksek olması nedeni ile 300 °C' deki tepe gölgelenmiştir. Ön incelemelerden sonra ısıtma ile örneğin radyasyon hassasiyet değişiminin az olması için 380 °C den fazla ısıtılmamasına yapılmasına ve düşük sıcaklık tepesinin etkisini yok etmek için 180 °C ön ısıtma uygulanmasına karar verilmiştir.

İğne yapılı minarelin örnek hazırlama aşamasında seyreltik asitte ve saf suda çözüldüğü gözlenmiştir. Bu aşamadan sonra iğne yapılı mineraller, suda çözüldükten sonra dibe çökelen tanecikler üzerinde TL ölçümleri yapılmış ve ışımaya eğrilerinin benzerlikleri incelenmiştir. Ölçümler yapılırken 120 Gy doz verilmiş ve 2 °C/s ısıtma hızıyla 500 °C' ye kadar ısıtılmıştır. Üç farklı şekilde hazırlanarak elde edilen örneklerle yapılan deneyler sonucunda ışımaya eğrilerinin farklı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda iğne yapıların suda çözüldükten sonra dibe çökelen kısmın iğne yapılı kristaller büyürken, kristalleri oluşturan eriyik içinde askıda kalan killere ait olduğu belirlenmiştir. Bununla ilgili ayrıntılı bilgi ek de verilmiştir.

İğne yapılı minerallere hiçbir kimyasal ve fiziksel işlem uygulanmadan ince tanecikli örnek hazırlanmış tekrarlanan ışınlama ve ısıtma sonunda radyasyon hassasiyetinin değişimi incelenmiştir. Tekrar ısıtma ve tekrar doz vermeler sonucunda radyasyon hassasiyetindeki değişim hata sınırları içinde kalmış ve hassasiyet değişimi olmamıştır.

İğne yapılı mineralin gün ışığında solma özelliği incelenmiş ve bu amaçla ince tanecik yöntemiyle hazırlanan doğal ve ısınmış örnekler farklı sürelerde gün ışığına maruz bırakılmıştır. Daha önce ısınmış ve natürel örnekler 60 dk sunun da yaklaşık %20 solma özelliği göstermişlerdir. İğne yapılı mineralin oda sıcaklığında karanlıkta anormal solma özelliği incelenmiştir. Yapılan deney sonucunda, TL ışıma eğrisinin toplam soğrulan dozun saptandığı bölgesine (300- 350 °C alındığı) % 18±7 anormal solma gözlenmiştir.

İnce tanecik metodu ile hazırlanan iğne yapılı mineralin ilave doz ve yeniden oluşturma teknikleri kullanılarak TL toplam soğrulan dozu saptanmıştır. Örneklerin paleo dozu İlave doz tekniği ile 128±18 Gy, yeniden oluşturma tekniği ile 158 ± 14 Gy bulunmuştur. İğne yapılı mineralin kendi içinden kaynaklanan ve bulunduğu çevreden aldığı toplam doz hızları 5,53±0,51 mGy/y ile 9,41±1,03 mGy/y olduğu, oluşum yaşlarının 2,17x10⁴±1307 ile 1,28x10⁴±768 yıl arasında olabileceği çizelge 4.8' de gösterilmiştir.

İnce tanecik metodu ile hazırlanan iğne yapılı mineralin OSL özellikleri incelenmiştir. Kırmızı ötesi (750nm < λ < 1 mm) ışık bölgesinde ışık ile uyarıldığında OSL sinyali gözlemlenmiş ve en uygun uyarma sıcaklığı olarak 250 °C karar verilmiştir. Yeniden oluşturma tekniği ile toplam soğrulan doz 248±6 Gy olarak saptanmıştır. SAR tekniği ile toplam soğrulan doz 182±99 Gy bulunmuştur.

Karain toz örneği incelenmiş ve iğne yapılı mineralinki ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. İlave doz tekniği ile toplam soğrulan doz 174 ± 32 Gy, Yeniden oluşturma tekniği ile toplam soğrulan doz 157 ± 24 Gy bulunmuştur. Bu sonuç iğne yapılı mineralin suda çözünmeyen bileşeni ile uyumludur. Bu değerlerden evlerin yapımında bölgeden edilen yapı malzemeleri kullanıldığı sonucu çıkarılabilir.

Ankara üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)' de toplanan kaya örneklerinden mikroskop altında incelemek üzere ince kesitler hazırlanmıştır. Hem kaya hem de toz örneklerinde hangi elementlerin bulunduğunu belirlemek için X ışını Floresans (XRF) yöntemi kullanılmıştır. Aynı örneklerde birincil ve ikincil mineralojik bileşimleri belirlemek için Konfokal Raman Spektroskopisi (KRS) ve X ışını kırınımı (XRD) yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca elektron mikroskopu (SEM) ile mikroskopik boyutta analiz yapılmıştır. Yapılan KRS, XRD ve SEM incelemeleri sonucunda örneklerin hiç birinde zeolit grubuna ait eriyonit minerallerine rastlanmamıştır. Bunun yanında Sarıhıdır mağarasından toplanan iğnemsî görünümdeki minerallerin insan sağlığına zararlı olmayan ve suda çözünebilir ve halk arasında İngiliz tuzu olarak bilinen 'epsonit' olduğu saptamıştır. Ayrıca gerek kaya gerekse toz örneklerinde bulunan diğer minerallerin de tıbbi jeoloji açısından zararlı mineral grubuna girmediği belirlenmiştir.

Nükleer Bilimler Enstitümüzde ise Gama-Işını Spektroskopisi (GRS) yöntemi ile toplanan örneklerin radyonüklit analizi yapılmış, toz ve mineral örneklerde potasyum (^{40}K), kurşun (^{210}Pb), uranyum (^{238}U), radyum (^{226}Ra) ve toryum (^{232}Th) dan kaynaklanabilecek radyoaktivite değerleri belirlenmiştir. Tüm yöreyi temsil edecek şekilde toplanan örneklerde ölçülen uranyum, toryum aktiviteleri dünya ortalamasının bir miktar üstünde olmasına rağmen insan sağlığına zararlı etkisinin gözlenebileceği bir seviyede değildir.

Yöreden toplanan su örneklerinde ise toplam alfa ve beta ölçümleri yapılmıştır. Sularda elde edilen aktivite sonuçları, yine sular için izin verilen sınır değerlerin (Toplam alfa aktivitesi=0,1 Bq/litre ve toplam beta aktivitesi= 1Bq/litre) altında olduğu belirlenmiştir

KAYNAKLAR

- Adamiec G., Aitken M. 1998 Dose-rate conversion factors: update. *Ancient TL* vol 16 No.2
- Aitken, M.J. 1985. *Thermoluminescence dating*. Academic Press, 359, London.
- Armando E. F., Greenberg D., Spjut H. J., Dodson F., Williams G., Lach-Pasko E. ve Roggli V. L. 1997;111;1375-1380. DOI 10.1378/chest.111.5.1375
- Barış, Y. I., 1975, Pleural mesotheliomas and asbestos pleuritis due to environmental asbestos exposure in Turkey, An analysis of 120 cases, *Hacettepe Bull. Medicine /Surgery* 8, 167-185.
- Barış, Y. I., 1977, Environmental asbestos related diseases in Turkey, unpublished report, School of Medicine, Hacettepe University, 19 p.
- Bulur, E., Bøtter-Jensen, L., Murray, A.S. 2001. Frequency modulated pulsing in optically stimulated luminescence. *Nucl. Instrum. Meth., B* 179, 151-159.
- Bøtter-Jensen, L., Bulur, E., Duller, G.A.T., Murray, A.S. 2000. Advances in Luminescence Instrument Systems. *Radiat. Meas.*, 32, 523-528.
- Carbone M., Emri S, Dogan A. U., Steele I., Tuncer M, Pass H. I., Baris Y. I., 2007 A mesothelioma epidemic in Cappadocia: scientific developments and unexpected social outcomes. *Nature Publishing Group* volume7
- Chen, R. 1969 a. Glow Curves with General Order Kinetics. *J. Electrochem. Soc.*, 116, 1254-1257
- Chen, R. 1969 b. On the Calculation of Activation Energies and Frequency Factors from Glow Curves. *J. Appl. Phys.*, 40, 570-585.
- Chen, R. ve Winner, S.A.A. 1970. Effects of Various Heating Rates on Glow Curves. *J. Appl. Phys.*, 41, 5227-5232.
- Chen, R. ve McKeever, S.W.S. 1997. *Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena*. World Scientific, 304, Singapore.
- Chen, R. 2001. Advantages and Disadvantages in the Utilisation of Thermoluminescence (TL) and Optically Stimulated Luminescence (OSL) for Radiation Dosimetry. *IRPA Regional Congress on Radiation in Central Europe Dubrovnik, Croatia*.

- Dogan U., 2003 Mesothelioma in Cappadocian Villages. **12**: 6367-375
- Dogan U., 2003 Zeolite mineralogy and Cappadocian Erionite. *Indoor Built Environ*,
- Dogan U., Bariş Y. I., Dogan M., Emri S., Steele I., Elmishad A. G., Carbone M. 2006 Genetic Predisposition to Fiber Carcinogenesis Causes a Mesothelioma Epidemic in Turkey *Cancer Res* 66: (10).
- Dogan U., Dogan M. 2008 Re-evaluation and re-classification of erionite series minerals. *Environ Geochem Health*. **30**:355- 366.
12:337-342. DOI: 10.1177/142032603036408
- Emri S., Demir A., Dogan M., Akay H., Bozkurt B., Carbone M., Baris I. 2002 Lung diseases due to environmental exposures to erionite and asbestos in Turkey. *Toxicology Letters* **127**: 251–257
- Fraire E. A., Greenberg S. A., Spjut J. H., Dodson F. R., Williams G., Lach-Pasko E., Roggli L. V. 1997 Effect of erionite on the Pleural Mesothelium of the Fischer 344 Rat *Chest* ;111;1375-1380.
- Furetta, C. 2003. *Handbook of Thermoluminescence*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore.
- Garlic, G.F.J. ve Gibson, A.F. 1948. The Electron Trap Mechanism of Luminescence in Sulphide and Silicate Phosphors. *Proc. Phys. Soc.*, 60, 574-590.
- Göksu, H.Y., Bailiff, I.K. and Mikhailik, V.B. 2003. New approaches to retrospective dosimetry using cementitious building materials. *Radiation Measurements*, 37, 323-327.
- Göksu, H.Y. ve Bailiff, I.K. 2006. Luminescence Dosimetry using building materials and personal objects. *Radiat. Prot. Dosim.* 119/ 1-4: 413-420
- Grossweiner, L.I. 1953. A Note on the Analysis of First-Order Glow Curves. *J. Appl. Phys.*, **24**, 1306-1307.
- Hammady R. I., Jennifer Siegel, Salih Emri, Joseph R Testa, Michele Carbone 2001, Genetic-Susceptibility factor and malignant mesothelioma in the Cappadocian region of Turkey, *The Lancet*, Vol 357
- Haning Y., Testa R. J., Carbone M. 2008 Mesothelioma epidemiology, carcinogenesis, pathogenesis. *Current Treatment Options in oncology* 9: 147-157
- Hillerdal G., Bariş Y. I. 1983, Radiological study of pleural changes in relation to mesothelioma in Turkey. *Thorax* **38**: 443-448

- Horowitz, Y. 1984. Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry. C.R.C. Press, Florida.
- Karakoca Y., Emri S., Bağcı T., Demir A., Erdem Y., Barış E., Sahin A. A. Environmentally-induced malignant pleural mesothelioma and HLA distribution in Turkey 1998 Int J Tuberc Lung Dis. **12**: 1017- 22.
- Köse E. 2010. Gama Spektrometri Yöntemi İle Toryumca Zengin Malzemelerdeki Ra-226 ve U-238 Aktivite Ölçümlerinde Kullanılan Analitik Piklere Spektral Girişim Yapan Gama Işınlarnın İncelenmesi.
- May, C.E. ve Partridge, J.A. 1964. Thermoluminescence Kinetics of Alpha-Irradiated Alkali Halides. J. Chem. Soc., 40, 1401-1409.
- McKeever, S.W.S. 1985. Thermoluminescence of solids. Cambridge University Press, 218-220, Cambridge.
- Metintaş M. Hillerdal G. Metintaş S. 1999 Malignanat mesothelioma due to environmental exposure to erioite: follow-up of a Turkish emigrant cohort. 13: 523-526
- Mott, N. F. 1948. Slip at Grain Boundaries and Grain Growth in Metals. H. H. Wills Physical Laboratory, Bristol.
- Nambi K. S. V., Aitken M. J. 1986 Annual dose conversion factors TL and ESR dating. Archaeometry 28: 202- 205
- Niedermayer, M., Göksu, H.Y., Dalheimer, A., Bayer, A. 2000. Infrared stimulated luminescence from modern bricks for retrospective dosimetry. Radiat. Meas., 32, 825-832.
- Prescott J. R., Clay R. W., 2000 Cosmic ray dose rates for luminescence and ESR dating: measured with a scintillation counter. Ancient TL vol 18 No.1
- Randall, J.T. ve Wilkins, M.H.F. 1945. Phosphorescence and Electron Traps I. The Study of Trap Distributions. Proc. R. Soc. A, 184, 365-389.
- Richter, D., Zink, A.J.C., Ptzigietka, G.O., Cadoso, M.A., Gouveia and Prudêncio 2003. Source calibration and blind test results from the new Luminescence Dating Laboratory at the Instituto Tecnologia e Nuclear Sacavem, Portugal, Ancient TL 21/1: 43
- Seitz, F. 1940. Modern Theory of Solids, McGraw-Hill Book Company, Inc., London.
- Sebastien, P., Gaudichet, A., Bignon, J., and Barış, Y. I., 1981a, Zeolite bodies in human lungs from Turkey, Lab. Invest. 44: 420.

- Sebastien, P., Gaudichet, A., Bignon, J., and Barış, Y. I., 1981b, Zeolite bodies in human lungs from Turkey, *Lab. Invest.* 44: 420.
- Wagner J. C., Skidmore J. C, Hill R. J., Griffiths D. M. 1985 Erionite exposure and mesothelioma in rats. *Br. J. Cancer* 51: 727-730

EKLER

EK 1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analiz sonuçları

EK 2 Kapadokya bölgesinden toplanan tüm örneklere ait aktivite sonuçları

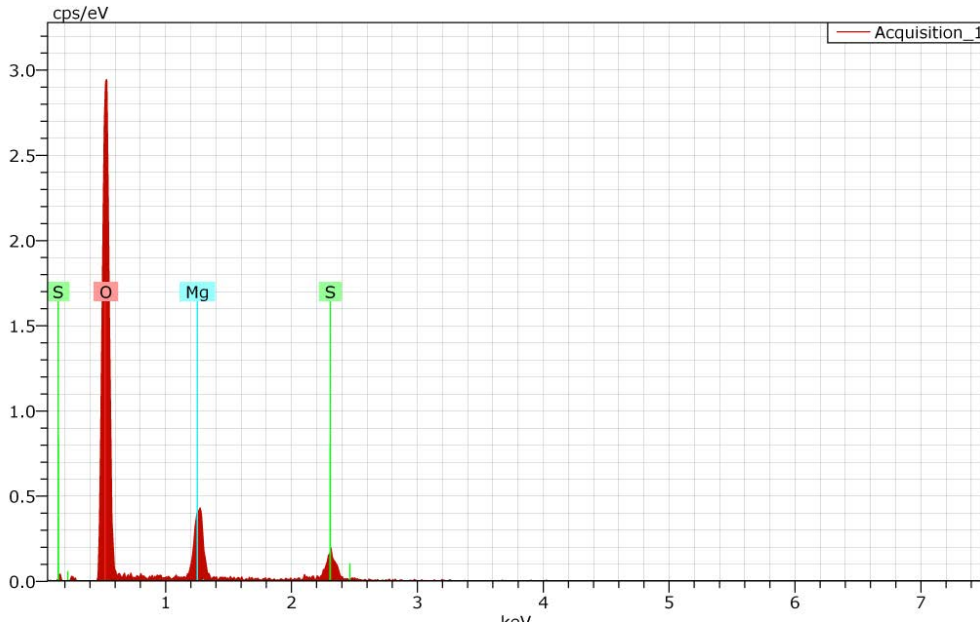
EK-3 Kapadokya bölgesinden toplanan tüm örneklere ait aktivite sonuçlarının ortalaması

EK-4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları

EK 1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları (sonuçlar A.Ü. mikroskop biriminde Yeşim Moğolkoç Tarafından elde edilmiştir.)



Şekil 1.1 İğne (5.4) minerale ait geri saçılmış detektörü (BSD) ile alınmış SEM görüntüsü, yeşil noktadan)X-ışını analizi yapılmıştır.

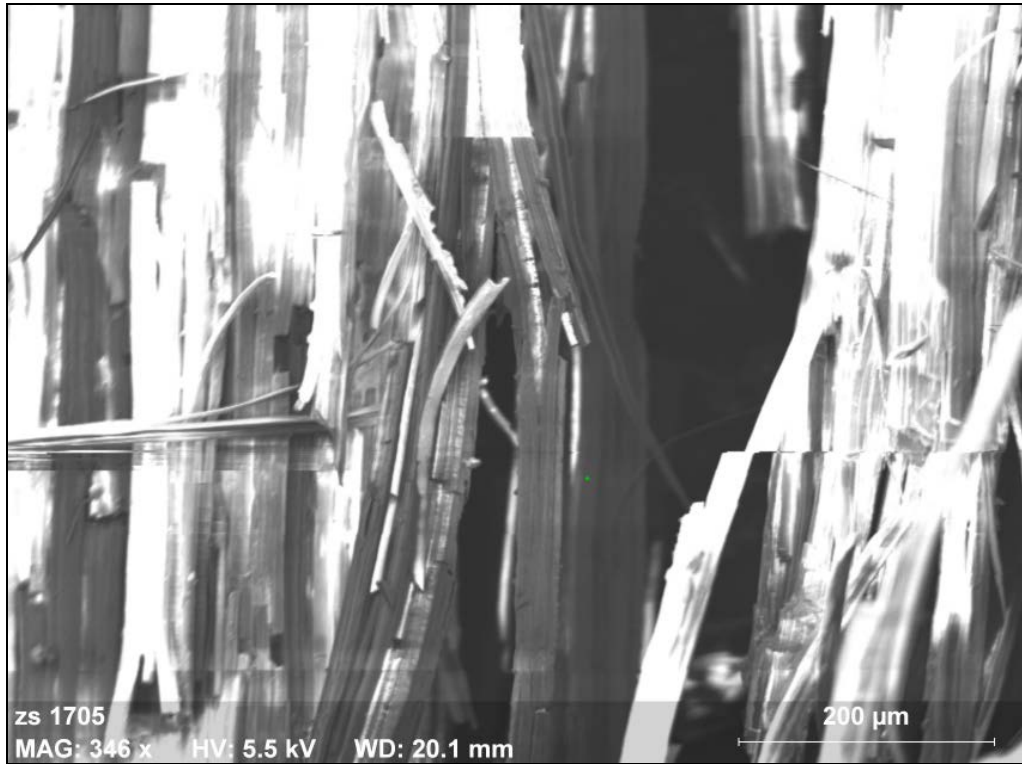


Şekil 1.2 İğne yapılı minerale (5.4) ait X-ışını difraktogramı.

EK 1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları (devam)

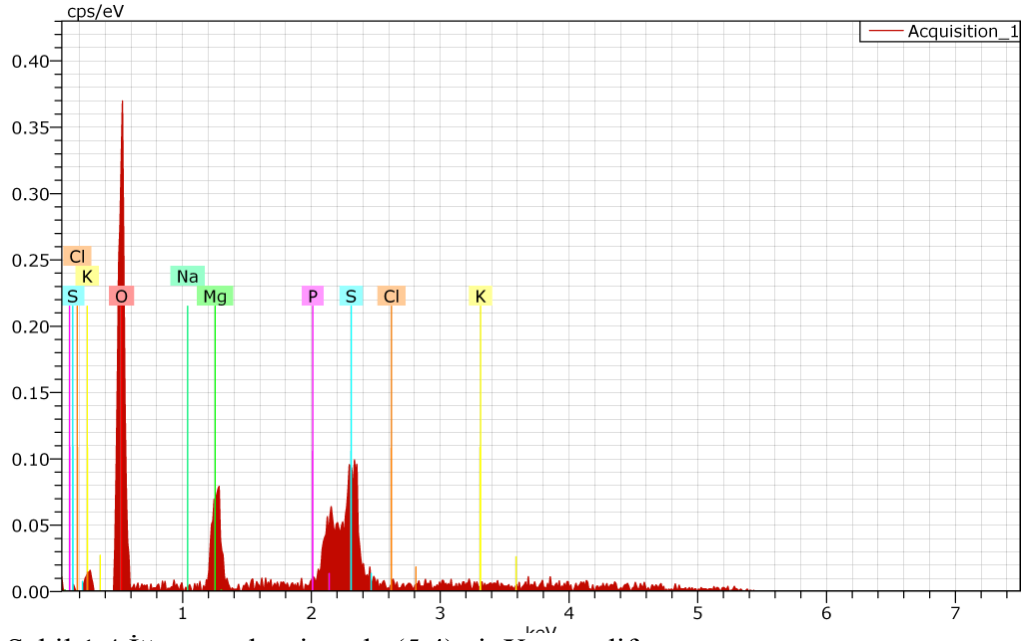
Çizelge1 İğne yapılı minerale ait X-ışını analizi sonucu

Spectrum: Acquisition_1							
Element	Series	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oxide	Oxid. C [wt.-%]	Error [%]
Sulfur	K-series	16.32	12.61	6.95	SO3	67.38	1.1
Magnesium	K-series	11.90	9.20	6.69	MgO	32.62	0.8
Oxygen	K-series	101.18	78.19	86.36	O	113.95	14.5
Total:		129.40	100.00	100.00			



Şekil 1.3 İğne (5.4) minerale ait geri saçılmış detektörü (BSD) ile alınmış SEM görüntüsü, yeşil noktadan)X-ışını analizi yapılmıştır.

EK 1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları (devam)

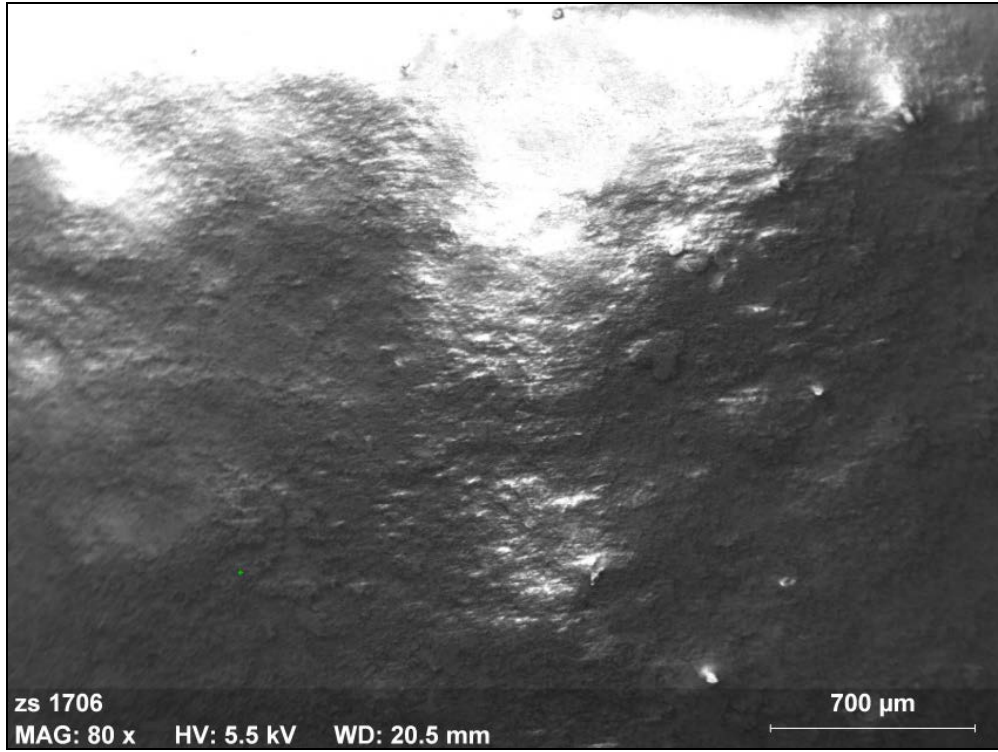


Şekil 1.4 İğne yapılı minerale (5.4) ait X-ışını difraktogramı.

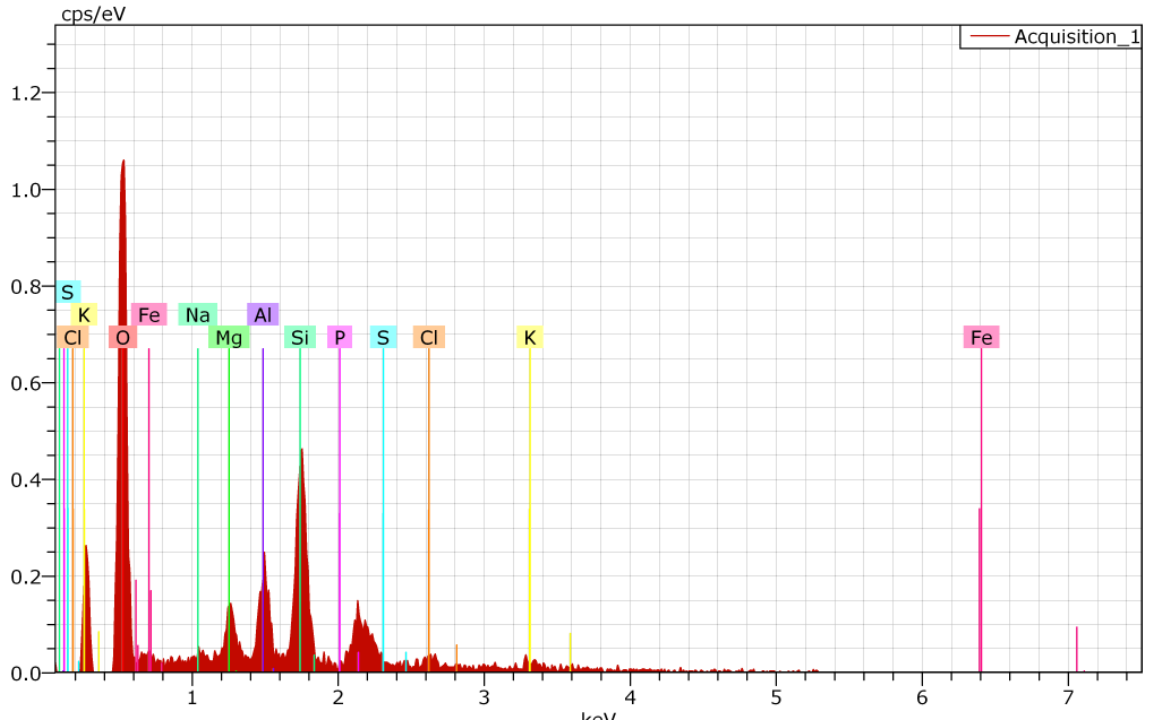
Çizelge 2 İğne yapılı minerale ait X-ışını analizi sonucu

Spectrum: Acquisition_1							
Element	Series	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oxide	Oxid. C [wt.-%]	Error [%]
Magnesium	K-series	7.92	11.21	8.78	MgO	24.04	0.6
Sulfur	K-series	11.12	15.75	9.35	SO3	50.84	0.7
Phosphorus	K-series	5.86	8.29	5.09	P2O5	24.56	0.4
Potassium	K-series	0.19	0.26	0.13	K2O	0.41	0.1
Chlorine	K-series	0.02	0.03	0.02	Cl	0.04	0.0
Sodium	K-series	0.05	0.06	0.05	Na2O	0.11	0.1
Oxygen	K-series	45.47	64.39	76.58	O	29.28	8.6
Total:		70.62	100.00	100.00			

EK 1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları (devam)



Şekil 1.5 Yaprak yapılı minerale ait geri saçılmış detektörü (BSD) ile alınmış SEM görüntüsü alınmış, yeşil noktadan X-ışını analizi yapılmıştır.

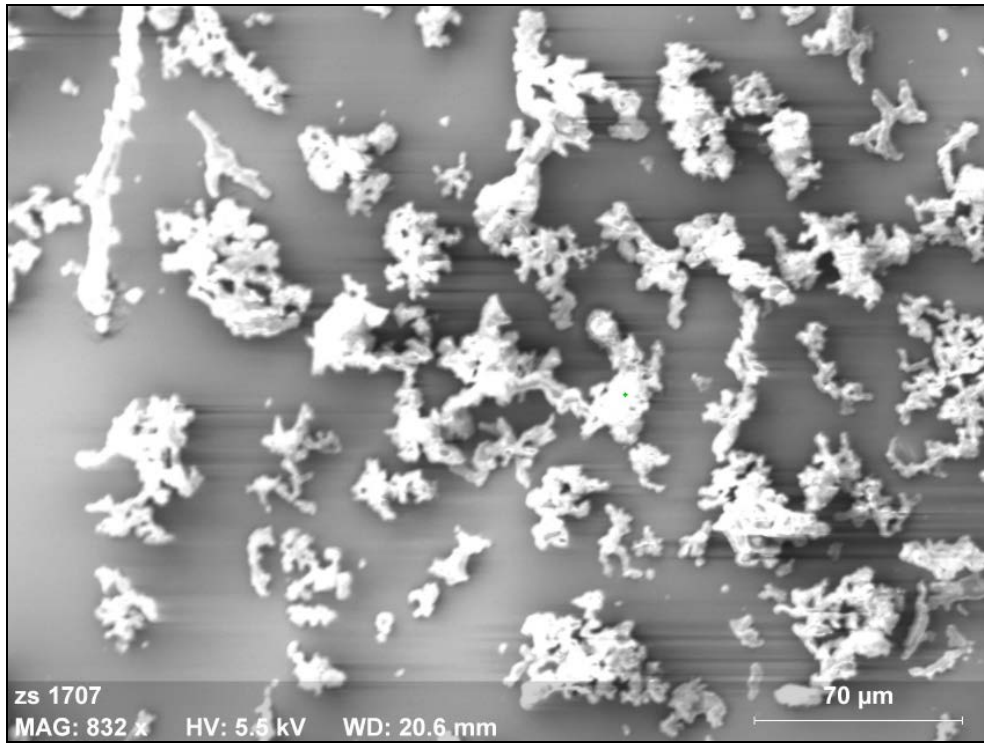


Şekil 1.6 Yaprak yapılı minerale (5.4) ait X-ışını difragtogramı.

EK 1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analiz sonuçları (devam)

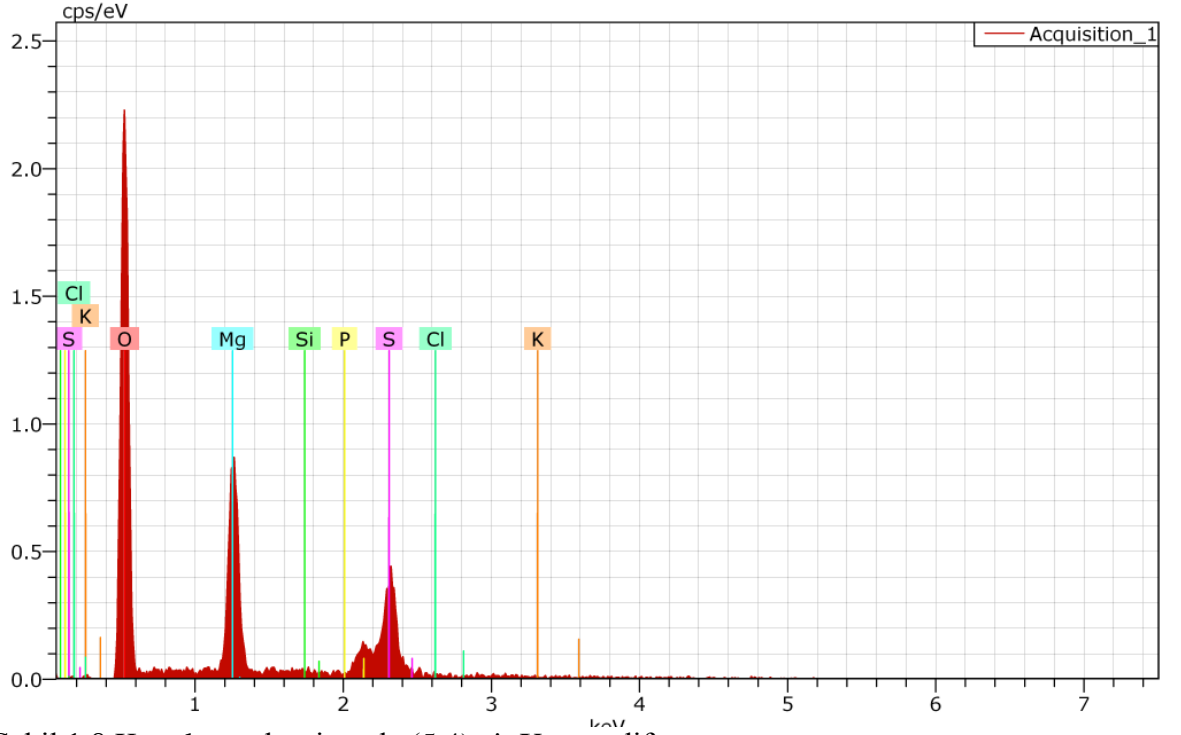
Çizelge 3 Yaprak yapılı minerale ait X-ışını analizi sonucu

Spectrum: Acquisition_1							
Element	Series	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oxide	Oxid. C [wt.-%]	Error [%]
Magnesium	K-series	0.61	0.61	0.44	MgO	2.77	0.1
Phosphorus	K-series	2.06	2.06	1.16	P2O5	13.04	0.2
Aluminium	K-series	1.70	1.70	1.10	Al2O3	8.84	0.1
Iron	L-series	0.00	0.00	0.00	FeO	0.01	0.1
Chlorine	K-series	0.54	0.54	0.27	Cl	1.50	0.1
Sodium	K-series	0.00	0.00	0.00	Na2O	0.00	0.0
Potassium	K-series	2.15	2.15	0.96	K2O	7.16	0.3
Silicon	K-series	10.27	10.27	6.38	SiO2	60.66	0.6
Sulfur	K-series	0.87	0.87	0.48	SO3	6.02	0.1
Oxygen	K-series	81.79	81.79	89.22	O	176.01	28.7
Total:		100.00	100.00	100.00			



Şekil 1.7 Köpük yapılı minerale ait geri saçılmış detektörü (BSD) ile alınmış SEM görüntüsü alınmış, yeşil noktadan X-ışını analizi yapılmıştır.

EK 1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları (devam)



Şekil 1.8 Köpük yapılı minerale (5.4) ait X-ışını difragrogramı.

Çizelge 4 Köpük yapılı minerale ait X-ışını analizi sonucu

Spectrum: Acquisition_1							
Element	Series	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oxide	Oxid. C [wt.-%]	Error [%]
Magnesium	K-series	19.32	19.23	15.75	MgO	33.75	1.1
Sulfur	K-series	19.56	19.46	12.08	SO3	51.44	1.1
Phosphorus	K-series	4.47	4.44	2.86	P2O5	10.78	0.3
Silicon	K-series	1.17	1.16	0.83	SiO2	2.64	0.2
Potassium	K-series	0.72	0.71	0.36	K2O	0.91	0.2
Chlorine	K-series	0.45	0.45	0.25	Cl	0.48	0.1
Oxygen	K-series	54.80	54.54	67.87	O	5.87	8.0
Total:		100.48	100.00	100.00			

EK 2 Kapadokya bölgesinden toplanan tüm örneklerle ait aktivite sonuçları (Ölçümler A. Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü Gama Spektroskopisi Laboratuvarında Esra KÖSE tarafından yapılmıştır).

Region	²³² Th			²³⁸ U			⁴⁰ K			²²⁶ Ra
	Bq/kg	ppm-GRS	ppm-XRF	Bq/kg	ppm-GRS	ppm-XRF	Bq/kg	%-GRS	%-XRF	Bq/kg
Gülşehir-1	71±3	17,5±0,7	18,9	71±8	5,3±0,6	7,4	794±30	2,5±0,1	2,5	53±2
Gülşehir-2.1	48±2	11,8±0,5	11,8	44±6	3,3±0,5	8,2	513±20	1,6±0,1	1,2	38±1
Gülşehir-2.2	141±6	34,8±1,5	23,4	131±5	9,8±0,4	7,5	1567±54	5,0±0,2	3,6	109±4
Tuzköy-3.1	69±3	17,0±0,7	19,4	108±13	8,4±1,1	11,1	584±23	1,9±0,1	2,0	60±2
Tuzköy-3.2	133±6	32,8±1,5	21,4	223±20	17,3±1,6	6,4	1307±46	4,2±0,2	0,3	84±3
Tuzköy-Gülşehir arası-3.3	82±4	20,2±1,0	15,7	115±10	8,8±0,8	16,7	545±18	1,7±0,1	1,2	99±4
Tuzköy-Gülşehir arası-3.4	162±7	39,9±1,7	27,8	185±12	14,1±1,0	10,2	1580±55	5,0±0,2	3,5	136±5
Avanos-Gülşehir arası-4	85±4	20,9±1,0	22,9	81±10	6,1±0,8	9,3	864±33	2,8±0,1	3,6	74±3
Sarıhıdır-5.1-Kahve özü	143±6	35,2±1,5		123±5	9,2±0,4		1324±46	4,2±0,2		74±3
Sarıhıdır-5.2-Kahve özü	127±6	31,3±1,5		134±5	10,1±0,4		1350±47	4,3±0,2		83±3
Sarıhıdır-5.2-Köpük yapılı mineral	43±2	10,6±0,5		130±16	10,3±1,3		385±15	1,2±0,1		79±3
Sarıhıdır-5.4-İğne yapılı mineral	23±2	5,7±0,5	2,9	144±17	11,5±1,4	6,2	213±8	0,7±0,03	0,3	42±2
Sarıhıdır-5.1-Mağara	141±6	34,8±1,5	39,6	217±26	16,8±2,1	23,4	641±21	2,0±0,1	2,1	162±5
Sarıhıdır-5.5	99±4	24,4±1,0	18,4	71±11	5,2±0,9	8,3	1154±40	3,7±0,1	2,6	38±1
Sarıhıdır-5.6	102±4	25,1±1,0	17,4	39±7	2,6±0,6	7,0	1319±46	4,2±0,2	3,2	23±1

Sarıhıdır-5.7	96±4	24,4±1,0	27,1	117±15	8,9±1,2	9,0	928±35	3,0±0,1	2,9	49±2
Sarıhıdır-5.8	57±2	14,0±0,5	14,8	187±22	14,8±1,8	16,5	733±28	2,3±0,1	2,4	186±6
Sarıhıdır-5.9	107±5	26,4±1,2	20,7	90±11	6,7±0,9	12,9	1275±44	4,1±0,1	2,9	65±2
Karain-6.1	112±5	27,6±1,2	23,9	214±11	16,7±0,9	18,4	1562±58	5,0±0,2	3,7	98±3
Karain-6.2	92±4	22,7±1,0	25,0	199±9	15,6±0,7	17,5	1615±47	5,2±0,2	3,8	77±3
Karain-6.3	114±5	28,1±1,2	21,7	137±5	10,4±0,4	7,3	1905±62	6,1±0,2	4,4	87±3
Karain-6.4	102±4	25,1±1,0	28,7	141±16	10,8±1,3	10,0	1055±32	3,4±0,1	3,7	68±2
Karain-6.5	38±2	9,4±0,5	11,2	93±11	7,3±0,9	7,0	503±16	1,6±0,1	1,8	33±1
Karain-6.6	184±8	45,3±2,0	30,5	172±12	12,9±1,0	7,7	1593±55	5,1±0,2	3,5	120±4
Karain-6.7	66±3	16,3±0,7	32,1	93±11	7,2±0,9	6,5	606±23	1,9±0,1	3,7	87±3
Karain-6.8	130±6	32,0±1,5	24,7	154±17	11,7±1,4	6,5	1529±53	4,9±0,2	3,6	103±4
Mustafapaşa-7.1	96±4	23,7±1,0		81±10	6,0±0,8		1007±38	3,2±0,1		88±3
Mustafapaşa-7.3	64±3	15,8±0,7		180±22	14,2±1,8		763±29	2,4±0,1		452±15
Mustafapaşa-7.4	123±5	30,3±1,2	20,9	149±13	11,4±1,1	7,7	1371±47	4,4±0,2	2,8	119±4
Mustafapaşa-7.5	89±4	21,9±1,0	22,8	70±9	5,2±0,7	11,9	72±4	0,2±0,01	0,2	71±3
Mustafapaşa-7.6	90±4	22,2±1,0	23,8	85±11	6,4±0,9	5,4	70±4	0,2±0,01	0,2	73±3
Göreme Otel-8	86±4	21,2±1,0		128±16	9,9±1,3		58±4	0,2±0,01		57±2

EK 3 Kapadokya bölgesinden toplanan tüm örneklerle ait aktivite sonuçlarının ortalaması

Region	²³² Th			²³⁸ U			⁴⁰ K			²²⁶ Ra
	Bq/kg	ppm-GRS	ppm-XRF	Bq/kg	ppm-GRS	ppm-XRF	Bq/kg	%-GRS	%-XRF	Bq/kg
Gülşehir	87±4	21,3±0,9	18	76±8	6,1±0,6	7,7	950±35	3,06±0,12	2,45	67±2
Tuzköy	101±4	25±1,1	20,4	158±17	12,8±1,4	8,8	936±35	3,02±0,12	1,16	72±2
Tuzköy-Gülşehir arası	122±6	30±1,4	21,8	141±11	11,5±0,9	13,5	1051±36	3,39±0,12	2,36	118±5
Avanos-Gülşehir yolu	85±5	21±0,8	22,9	73±9	12,3±0,7	9,3	856±33	2,76±0,11	3,56	74±3
Sarıhıdır-K.önü	135±6	33±1,5		119±5	9,6±0,4		1324±46	4,27±0,16		79±4
Sarıhıdır Mağara	100±4	24,7±1	23	113±5	13,3±1,2	12,9	999±35	3,22±0,12	2,70	87±3
Sarıhıdır-5.2-Köpük	43±5	11±0,2		126±16	12,3±1,3		381±15	1,23±0,05		79±3
Sarıhıdır-5.4-İğne	23±9	6±0,1	2,9	142±17	11,8±1,4	6,2	211±8	0,68±0,03	0,30	42±2
Karain	105±5	25,8±1,2	24,7	143±13	8,9±1,0	10,1	1286±43	4,15±0,15	3,52	73±2
Mustafapasa	92±4	22,8±1	22,5	107±13	11,9±1,0	8,3	648±28	2,09±0,09	1,06	161±6
Göreme Hotel	86±5	21±0,8		120±15	12,5±1,2		50±3	0,16±0,01		57±2

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (Sonuçlar Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi' nde Prof. Dr. Y. Kağan Kadioğlu tarafından elde edilmiştir.)

Element	% Na	% Mg	% Al	% Si	% P	% S
Gülşehir yolu 1	0,81±0,11	1,009±0,026	6,919±0,026	31,43±0,05	0,01429±0,00061	0,01958±0,00035
Gülşehir 2.1	2,28±0,2	0,282±0,025	3,141±0,019	15,18±0,03	0,0176±0,0015	0,2361±0,0018
Gülşehir 2.2	2,53±0,15	0,911±0,027	5,389±0,024	28,51±0,05	0,0065±0,00036	0,4935±0,0027
Tuzköy 3.1	1,03±0,11	0,874±0,024	5,974±0,024	31,31±0,05	0,00818±0,00041	0,1282±0,0012
Tuzköy 3.2	0,089±0,07	0,014±0	13,81±0,04	29,74±0,05	0,02438±0,0005	0,4261±0,0023
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.3	0,055±0,012	1,987±0,031	4,341±0,021	19,86±0,04	0,0234±0,0015	0,06103±0,00078
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.4	3,05±0,12	0,18±0,018	6,388±0,025	34,53±0,05	0,00459±0,00024	0,02531±0,00043
Avanos yolu (hacıbektaş) 4	1,76±0,11	0,436±0,02	5,922±0,024	33,23±0,05	0,00603±0,00034	0,01715±0,0003
Sarıhıdır 5.1	0,45±0,12	2,60±0,034	2,891±0,017	28,26±0,05	0,0231±0,0011	0,1364±0,0013
Sarıhıdır 5.3 yaprak	4,62	10,5	5,601	26,72	0,0034	16,09
Sarıhıdır 5.4 iğne	0,15	17	0,835	6,112	0,01759	36,46
Sarıhıdır 5.5	0,77±0,14	1,396±0,03	5,345±0,024	30,21±0,05	0,00863±0,00043	0,4537±0,0027
Sarıhıdır 5.6	1,14±0,11	0,544±0,021	5,801±0,023	32,54±0,05	0,01456±0,00056	0,08351±0,00095
Sarıhıdır 5.7	0,85±0,12	1,295±0,028	5,389±0,024	28,95±0,05	0,0264±0,001	1,387±0,005
Sarıhıdır 5.8	0,051±0	5,548±±0,046	4,742±0,021	17,09±0,03	0,01042±0,00094	0,5222±0,0024
Sarıhıdır 5.9	0,8±0,11	0,656±0,023	5,759±0,024	31,87±0,05	0,0208±0,001	0,0936±0,0011
Karain 6.1	1,3±0,11	0,732±0,023	6,008±0,024	32,52±0,05	0,01681±0,00074	0,198±0,0016
Karain 6.2	1,56±0,12	0,735±0,023	5,829±0,024	31,68±0,05	0,02499±0,00089	0,08103±0,00095
Karain 6.3	2,03±0,17	0,893±0,028	4,456±0,022	24,92±0,04	0,0651±0,0015	1,12±0,004
Karain 6.4	2,72±0,13	0,383±0,021	5,893±0,024	31,94±0,05	0,01689±0,00068	0,1011±0,0011
Karain 6.5	1,41±0,12	1,27±0,028	7,304±0,028	30,74±0,05	0,0505±0,0013	0,02557±0,00044
Karain 6.6	2,97±0,13	0,23±0,019	5,99±0,025	34,07±0,05	0,0461±0,0012	0,03439±0,00056

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (devam)

Karain 6.7	1,72±0,11	0,331±0,019	5,262±0,022	32,22±0,05	0,1056±0,0016	0,02376±0,00038
Karain 6.8	1,42±0,11	0,576±0,022	6,023±0,024	33,08±0,05	0,01291±0,0006	0,01933±0,00035
Mustafapaşa 7.4	0,88±0,11	0,275±0,019	4,088±0,02	35,53±0,06	0,0012±0	0,2913±0,002
Mustafapaşa 7.5	0,085±0,077	0,039±0,016	10,38±0,03	33,74±0,05	0,00068±0	0,02372±0,00036
Mustafapaşa 7.6	0,04±0,024	0,014±0	9,821±0,03	34,75±0,05	0,00067±0	0,02115±0,00034

Element	% K	% Ca	% Ti	% V	% Cl
Gülşehir yolu 1	2,524±0,013	1,118±0,008	0,2028±0,0023	0,0043±0,00082	0,0297±0,00034
Gülşehir 2.1	1,236±0,01	13,01±0,03	0,0978±0,0017	0,00264±0,00074	2,437±0,005
Gülşehir 2.2	3,602±0,017	1,022±0,008	0,0874±0,0017	0,0014±0,0011	1,661±0,004
Tuzköy 3.1	2,037±0,012	1,649±0,009	0,139±0,0019	0,00288±0,00072	0,0145±50,00019
Tuzköy 3.2	0,2919±0,0048	0,0914±0,002	0,1405±0,0017	0,00352±0,00065	0,002
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.3	1,22±0,009	13,8±0,03	0,1676±0,0023	0,00615±0,00094	0,0683±0,0006
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.4	3,501±0,016	0,929±0,0077	0,0712±0,0013	0,0013±0	0,06871±0,00059
Avanos yolu (hacıbektaş) 4	2,953±0,014	1,142±0,008	0,0833±0,0016	0,00239±0,0007	0,06222±0,00054
Sarıhıdır 5.1	2,144±0,012	6,182±0,018	0,0938±0,0017	0,00247±0,00072	0,6548±0,0023
Sarıhıdır 5.3 yaprak	2,875	1,476	0,265	0,0165	1,254
Sarıhıdır 5.4 iğne	0,3628	1,3	0,1049	0,0017	0,0899
Sarıhıdır 5.5	2,632±0,015	1,231±0,009	0,1394±0,002	0,00227±0,00078	1,731±0,004
Sarıhıdır 5.6	3,164±0,015	0,6399±0,0064	0,1536±0,002	0,00645±0,00083	0,0002±0

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (devam)

Sarıhıdır 5.7	2,909±0,015	1,656±0,01	0,1147±0,0018	0,00694±0,00088	0,2906±0,0015
Sarıhıdır 5.8	2,392±0,012	8,09±0,019	0,2201±0,0022	0,01075±0,00087	0,02203±0,00031
Sarıhıdır 5.9	2,943±0,015	1,338±0,009	0,1064±0,0019	0,00387±0,00077	0,03913±0,00042
Karain 6.1	3,714±0,016	0,8775±0,0075	0,0955±0,0017	0,00381±0,00075	0,1227±0,0009
Karain 6.2	3,783±0,016	0,8764±0,0075	0,0903±0,0016	0,00327±0,00073	0,4411±0,0018
Karain 6.3	4,447±0,019	1,763±0,011	0,0888±0,0017	0,0031±0,00078	2,082±0,005
Karain 6.4	3,71±0,016	1,607±0,009	0,1063±0,0018	0,00354±0,00076	0,3212±0,0015
Karain 6.5	1,797±0,011	2,451±0,011	0,2542±0,0024	0,00669±0,00088	0,09222±0,00074
Karain 6.6	3,519±0,016	1,063±0,008	0,1237±0,0019	0,00339±0,00081	0,5917±0,0022
Karain 6.7	3,657±0,016	1,036±0,008	0,1182±0,0017	0,00393±0,00074	0,02011±0,00023
Karain 6.8	3,571±0,016	0,706±0,0069	0,0912±0,0016	0,00482±0,00077	0,1494±0,001
Mustafapaşa 7.4	2,752±0,014	0,5928±0,0062	0,1216±0,0019	0,00375±0,0008	0,1375±0,0009
Mustafapaşa 7.5	0,2229±0,0044	0,0875±0,002	0,11±0,0014	0,00399±0,00057	0,0002±0
Mustafapaşa 7.6	0,1971±0,0044	0,0657±0,0018	0,097±0,0015	0,00335±0,0006	0,0002±0

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (devam)

Element	% Fe	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (Ppm)	% Cr	% Mn
Gülşehir yolu 1	2,245±0,006	22,5±5	12,5±1	9,9±0,8	48,4±1,3	0,00167±0,00025	0,0458±0,001
Gülşehir 2.1	1,108±0,004	24±5,3	6,7±0,7	3,9±0,5	22±0,9	0,00516±0,00056	0,0284±0,00086
Gülşehir 2.2	0,7296±0,0031	23,8±4,5	2,5±0,4	7,3±0,7	32,±21,1	0,00092±0	0,04676±0,00097
Tuzköy 3.1	1,732±0,005	20,4±4,8	7,9±0,9	11±0,8	33,5±1,1	0,00124±0,00024	0,0483±0,001
Tuzköy 3.2	0,9832±0,0036	13,5±3,9	11±0,9	1,2±0,3	8,2±0,6	0,00096±0	0,00167±0,00034
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.3	2,142±0,006	20±1,7	16,8±1,2	10,6±0,9	41±1,3	0,00309±0,00043	0,0399±0,0011
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.4	1,014±0,004	22,2±4,9	3,6±0,6	1,3±0	42,6±1,3	0,00093±0	0,0496±0,001
Avanos yolu (hacıbektaş) 4	0,9273±0,0035	18,4±4,5	4±0,6	2,1±0,3	32±1,1	0,00202±0,00039	0,04416±0,00098
Sarıhıdır 5.1	0,8548±0,0035	18,1±4,7	11,5±0,9	6,9±0,7	20,9±0,9	0,00102±0,00028	0,0823±0,0013
Sarıhıdır 5.3 yaprak	2,081	21,2	45	15,9	47	0,00568	0,02056
Sarıhıdır 5.4 iğne	0,4472	6,7	6,7	2,5	6,6	0,00283	0,00958
Sarıhıdır 5.5	1,019±0,	24,6±5,1	4,6±0,6	6,4±0,6	19,6±0,9	0,00091±0,00025	0,00965±0,00057
Sarıhıdır 5.6	1,113±0,004004	13±10	6,3±0,7	5,2±0,6	22,2±0,9	0,00149±0,0003	0,0073±0,00052
Sarıhıdır 5.7	1,961±0,006	18±13	8,1±0,8	4,7±0,6	52,7±1,4	0,0012±0	0,11±0,0015
Sarıhıdır 5.8	2,283±0,006	19±17	33,3±1,6	20±1,1	57,2±1,4	0,00541±0,0005	0,0579±0,0011
Sarıhıdır 5.9	2,243±0,006	24,2±5,3	6±0,8	4,7±0,6	60,6±1,5	0,001±0	0,03924±0,00096
Karain 6.1	1,188±0,004	13±7,7	5,6±0,6	3,7±0,5	33,5±1,1	0,00123±0,00027	0,0496±0,001
Karain 6.2	1,129±0,004	20,3±4,6	3,8±0,5	5,1±0,6	32,4±1,1	0,00092±0,00046	0,03912±0,0009
Karain 6.3	1,022±0,004	14,6±4,1	5,4±0,6	4,3±0,5	31,2±1,1	0,00109±0,00025	0,04102±0,00091
Karain 6.4	1,004±0,004	21,2±4,8	7±0,7	2±0,3	25,5±1	0,00382±0,00051	0,02317±0,00075

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (devam)

Karain 6.5	2,494±0,006	25,5±5,3	7±0,8	12,1±0,9	51,5±1,4	0,00095±0,00021	0,04537±0,00099
Karain 6.6	1,067±0,004	25,5±5,2	3,7±0,5	1,5±0,3	189,3±2,5	0,00385±0,0005	0,01278±0,00063
Karain 6.7	0,9509±0,0035	19±4,4	4,4±0,5	5±0,5	28,8±0,9	0,00143±0,00032	0,03197±0,00082
Karain 6.8	1,156±0,004	20,9±4,7	4±0,6	5,4±0,6	34,7±1,1	0,00132±0,00029	0,04552±0,00097
Mustafapaşa 7.4	0,8757±0,0034	15,4±4,1	5,4±0,7	1,2±0,2	30,3±1,1	0,00106±0,00028	0,04228±0,00096
Mustafapaşa 7.5	0,8679±0,0033	14,8±4	1,8±0,3	1,1±0,2	26,4±1	0,00088±0	0,0052±0,00042
Mustafapaşa 7.6	0,945±0,0035	12±4	2,1±0,4	3,6±0,4	27,5±1	0,00085±	0,1065±0,0014

Element	Ga (ppm)	Ge (Ppm)	As (ppm)	Se (Ppm)	Br (Ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)
Gülşehir yolu 1	16±0,8	1,3±0,5	4,7±0,7	0,5	1,4±0,2	114±0,8	218,3±1
Gülşehir 2.1	13,4±0,8	1,1±0,4	4,4±0,5	0,6	6,3±0,3	53,3±0,6	419,8±1,4
Gülşehir 2.2	13,3±0,7	1±0,4	2,5±0,6	0,7	3,9±0,2	115,8±0,8	168,2±0,8
Tuzköy 3.1	13,8±0,7	0, 8±0,4	12,6±0,7	0,9±0,4	1,2±0,2	88,3±0,7	289,4±1,1
Tuzköy 3.2	20,5±0,8	2,5±0,5	62,6±1,2	0,5	1,3±0,3	14,3±0,3	288,3±1,1
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.3	12,2±0,8	1,4±0,5	8,5±0,7	0,5	3,7±0,3	69,5±0,7	1273±3
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.4	17,5±0,8	1,8±0	5,2±0,7	0,7±0.2	2,6±0,2	165,3±0,9	91±0,6
Avanos yolu (hacıbektaş) 4	16,2±0,7	1,6±0	4,8±0,6	0,7	0,8±0,2	132,9±0,8	238,6±1
Sarıhıdır 5.1	6,6±0,6	0,5±0,3	36,7±0,9	0,6	2,5±0,3	61,7±0,6	670,9±1,8
Sarıhıdır 5.3 yaprak	8,2	1,4	15,6	0,5	8,4	100,2	180,4
Sarıhıdır 5.4 iğne	1,4	0,4	5,9	0,3	0,8	20	149,3
Sarıhıdır 5.5	13,2±0,7	1±0,4	4,2±0,5	0,5	6±0,3	109,4±0,8	369,8±1,3
Sarıhıdır 5.6	14,6±0,7	1,1±0	6,7±0,6	0,5	0,9±0,2	117,3±0,8	394,6±1,3
Sarıhıdır 5.7	11,7±0,7	0,9±0	9,5±0,8	0,5±0,3	2±0,2	107,8±0,8	523,5±1,6

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (devam)

Sarıhıdır 5.8	13,4±0,8	2±0,4	19,1±0,8	0,5±0,3	0,6±0,2	118,3±0,9	735,4±2
Sarıhıdır 5.9	13±0,8	1,4±	7,5±0,7	0,6	1±0,2	118,2±0,8	389±1,3
Karain 6.1	14±0,7	2,9±0,6	3,1±0,6	0,6±0,2	1,9±0,2	157,5±0,9	96,2±0,6
Karain 6.2	12,4±0,7	1,3±0	3,6±0,6	0,6±0,2	2,9±0,2	160,7±0,9	104,7±0,6
Karain 6.3	11,3±0,7	1,3±0,5	7,1±0,6	0,6	7,9±0,3	146,1±0,9	128,1±0,7
Karain 6.4	11,8±0,7	1,2±0	3,4±0,6	0,6	3,1±0,2	140,8±0,8	186±0,9
Karain 6.5	16±0,8	1,2±0	3,2±0,6	0,6	2,4±0,2	65,1±0,6	241,7±1
Karain 6.6	11±0,7	1,9±0,5	6,4±0,7	0,6	1,1±0,2	150,6±0,9	155,5±0,8
Karain 6.7	12,4±0,7	0,6±0,2	10,4±0,7	0,4	2,4±0,2	149,1±09	120,2±0,7
Karain 6.8	13,8±0,7	1,3±0,5	3,7±0,7	0,6±0,3	1,4±0,2	163,1±0,9	91,9±0,6
Mustafapaşa 7.4	12±0,7	1,3±0	77,9±1,1	0,6	2,5±0,3	125±0,8	103,6±0,6
Mustafapaşa 7.5	16,7±0,7	1,3±0,5	25,8±0,8	0,5	0,3±0	9±0,3	50,5±0,5
Mustafapaşa 7.6	16,6±0,7	1,2±0,4	17,5±0,7	0,6±0,4	0,4±0,2	6,9±0,3	68,9±0,5

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (devam)

Element	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Mo (ppm)	Cd (ppm)	Sn (ppm)	Sb (ppm)	Te (ppm)
Gülşehir yolu 1	14,9±0,6	129,3±4,6	15,3±1,8	3,7±1,3	0,7	0,9±0	0,9	1,2
Gülşehir 2.1	6,6±0,5	91,1±5,4	3,4±0	2,8±1,3	0,9	0,5±0,3	1	1,3
Gülşehir 2.2	9,6±0,5	126,7±4,3	10,8±1,6	4,8±1,3	0,8	1,4±0,4	0,9	1,2
Tuzköy 3.1	10,1±0,5	104,7±4,8	9,5±1,8	3,4±0	0,8	0,9±0	0,6±0,2	1,3
Tuzköy 3.2	11,9±0,4	161,3±4,9	12,9±1,6	2,6±1,8	0,7	0,9±0	6±0,5	1,2
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.3	12,3±0,6	104,1±7,1	10,3±2	3,5±0	0,8±0,5	1,1±0	0,5±0,2	1,3
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.4	21,9±0,6	158,9±4,2	16±1,7	7,2±1,3	0,7	3,6±0,5	0,8	1,2
Avanos yolu (hacıbektaş) 4	10,5±0,6	109,3±4,5	16±1,7	2,9±0	0,8	0,9	0,9	1,3
Sarıhıdır 5.1	12,4±0,5	44,5±4,7	7,2±1,6	2,9±0	0,5±0,4	0,8	0,9	1,1
Sarıhıdır 5.3 yaprak	5,1	38,6	7,8	4,8	0,7	1,5	0,9	1,2
Sarıhıdır 5.4 iğne	1,6	12,5	2,1	55,7	0,6	0,8	0,8	1,1
Sarıhıdır 5.5	10,5±0,6	84,9±4,4	12,2±1,6	2,5±0,6	0,8	2,1±0,4	0,9	1,2
Sarıhıdır 5.6	6±0,5	93,6±4,7	12±1,7	2,9±1,3	0,8	0,9	0,9	1,2
Sarıhıdır 5.7	12,6±0,6	83,8±4,5	8,5±1,5	2,7±0	0,8	0,8	0,9	0,5±0,5
Sarıhıdır 5.8	8,7±0,6	85,3±5,9	8,5±1,9	15,7±2	0,8	0,6±0,3	0,9	1,3
Sarıhıdır 5.9	8,6±0,6	102,8±4,5	12,7±1,7	2,8±0	0,8±0,4	1,1±0,4	0,8	1,2
Kararin 6.1	14,2±0,6	100,1±4,1	17,1±2	11,2±1,8	0,8±0,4	1	0,6±0,2	0,6±0,6

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (devam)

Karain 6.2	12,6±0,6	92,1±3,8	14,9±1,8	14,1±1,8	0,6±0,4	1,9±0,4	0,9	1,3
Karain 6.3	11,8±0,6	75,8±4	8,9±1,7	3,1±0	0,8	1,6±0,4	0,9±0,2	1,3
Karain 6.4	6,8±0,6	129,4±4,5	13,2±1,7	2,7±0	0,8	0,8±0,3	0,9	1,2
Karain 6.5	13,7±0,5	134,8±4,5	8±1,6	2±1	0,8	0,9	0,9	1,2
Karain 6.6	8,7±0,6	128,9±4,5	12,5±1,8	2,6±1,2	0,8	0,8	0,9	1,3
Karain 6.7	9,4±0,6	176,5±4,9	14,7±1,8	5,9±1,4	0,8	1,5±0,4	0,9	1,2
Karain 6.8	14,2±0,6	86,2±3,7	14,1±1,7	3±0	0,7	1,5±0,4	0,5±0,2	1,2
Mustafapaşa 7.4	14,8±0,6	171,1±4,7	14,1±1,7	8,2±1,5	0,8	2±0,4	0,8±0,3	0,8±0,6
Mustafapaşa 7.5	12,8±0,4	106±3,4	13,8±1,5	4,5±1,2	1,2±0,4	1,7±0,4	8,6±0,5	1,6±0,7
Mustafapaşa 7.6	13±0,4	101,7±3,5	15,2±1,5	2,4±0	0,7	0,8	6,2±0,5	1,1

88

Element	I (ppm)	Cs (ppm)	Ba (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Hf (ppm)
Gülşehir yolu 1	2,3±1,5	6,3±1,5	694,5±4,9	34,8±4,4	49±5,9	4,7±1,4
Gülşehir 2.1	2,3±1,5	7,4±1,9	413,1±4,4	32±4,6	34,8±6,1	3,3±1,2
Gülşehir 2.2	2,3±1,5	7,1±1,5	842,4±5,1	35,3±4,4	50,3±5,8	3,6±0,9
Tuzköy 3.1	2,3	28,2±2	584,2±4,8	64,5±4,5	96,1±6,1	3,6±0,9
Tuzköy 3.2	3,6±1,3	9,2±1,8	527,4±4,4	34,1±4,4	54,9±5,9	4,1±1,1
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.3	2,8±1,3	3,2±1,3	563,2±4,7	18,5±4,5	36±5,9	4,7±2,1
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.4	2,1±0,7	9,5±1,8	403,6±4	31,5±4,3	52,8±5,7	3±0,6
Avanos yolu (hacıbektaş) 4	2,6±1,3	11,7±1,7	915,7±5,3	36,4±4,4	56,7±5,8	2,7±0,8
Sarıhıdır 5.1	2,1±	11±1,8	468,8±4,2	36,6±4,2	44,2±5,7	3,4
Sarıhıdır 5.3 yaprak	2,1	3,6	91,4	17,8	15,5	3,6
Sarıhıdır 5.4 iğne	2	5,4	23,2	9,2	10,8	2,6
Sarıhıdır 5.5	2,3	5,5±1,3	849,1±5,1	25,9±4,4	40,1±5,6	3,4

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (devam)

Sarıhıdır 5.6	2,2	3,8	691,6±4,8	25,7±4,3	49,5±5,7	3,7±1,2
Sarıhıdır 5.7	2,3	7,4±1,3	1357±6	42,9±4,3	46,8±5,5	2,6±1,1
Sarıhıdır 5.8	2,2	12,6±2	304,1±4	22,2±4,5	32,8±6	3,7±2
Sarıhıdır 5.9	2,2±1,3	6±1,4	824,5±5	32±4,3	44,6±5,6	3,8±0,9
Karain 6.1	3,8±1,4	10,7±1,8	684,4±4,9	37,9±4,5	54±5,9	3,4±0,9
Karain 6.2	2,3	11,5±1,8	671,7±4,8	37,5±4,5	51,2±5,9	3,4±0,9
Karain 6.3	2,4	9,7±1,8	643,5±4,9	29,5±4,6	44,2±6	3±1,8
Karain 6.4	2,3	12,1±1,8	671,7±4,8	38,7±4,5	52,8±5,9	3,7±1,1
Karain 6.5	1,9±1,2	9,3±1,8	376,4±4,1	22±4,3	33,9±5,8	2,8±1
Karain 6.6	2,2	9,7±1,7	698±4,9	37,3±4,5	47,7±5,9	3,8±1
Karain 6.7	3±1,3	10,2±1,8	661,6±4,8	36,6±4,5	50±5,9	4,2±1,5
Karain 6.8	2,2	8,6±1,6	707,7±4,8	33,2±4,4	40,9±5,7	3,5±0,9
Mustafapaşa 7.4	2,3	10,3±1,6	947,6±5,4	34,1±4,5	61,3±5,8	4,2±0,9
Mustafapaşa 7.5	2,1	9,1±1,9	242,9±3,6	47,3±4,3	63,8±5,9	1,7±0,6
Mustafapaşa 7.6	2±1,2	9,5±1,8	464±4,2	46,9±4,3	64,1±5,8	2,7±1,9

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (devam)

Element	Ta (ppm)	W (ppm)	Pb (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
Gülşehir yolu 1	3,8	70,5±3	20,8±0,9	18,9±0,7	7,4±1,1
Gülşehir 2.1	3,5±1,4	100,2±3,5	11,5±0,8	11,8±0,6	8,2±1,1
Gülşehir 2.2	3,5±1,8	198,9±4,3	21,4±0,9	23,4±0,7	7,5±2,8
Tuzköy 3.1	3,9	133,8±3,7	15,8±0,8	19,4±0,7	11,1±4
Tuzköy 3.2	4,8±1,5	54,3±2,5	36,8±1	21,4±0,7	6,4±1,1
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.3	4,5	25,9±2,5	19,7±1	15,7±0,8	16,7±4,6
Tuzköy-Gülşehir yolu 3.4	2,7±1,1	280,7±4,9	26,5±0,9	27,8±0,8	10,2±2,9
Avanos yolu (hacıbektaş) 4	3,2	213±4,4	20±0,9	22,9±0,8	9,3±3,5
Sarıhıdır 5.1	3,8±2,6	52,8±2,7	14,3±0,9	39,6±0,9	23,4±3,8
Sarıhıdır 5.3 yaprak	4,3	3,7	15,8	9,1	6,2
Sarıhıdır 5.4 iğne	2,5	2,4	2,8	2,9	6,2
Sarıhıdır 5.5	2,8±1,7	67,7±2,8	12,6±0,8	18,4±0,7	8,3±3,1
Sarıhıdır 5.6	3,2±1,5	81,9±2,9	11,8±0,8	17,4±0,7	7±1
Sarıhıdır 5.7	3,4	48,5±2,7	28,6±1,1	27,1±0,8	9±3
Sarıhıdır 5.8	4,9	16,7±2,2	20,5±1	14,8±0,7	16,5±3,9
Sarıhıdır 5.9	6,1±1,8	115,7±3,7	17,8±0,9	20,7±0,8	12,9±3,6

EK 4 X-Işınları Flüoresans (XRF) yöntemi analiz sonuçları (devam)

Karain 6.1	3,1±1,5	123,5±3,5	22,7±0,9	23,9±0,8	18,4±4,2
Karain 6.2	3,2±1,4	166,7±3,9	22,2±0,9	25±0,8	17,5±3,8
Karain 6.3	2,7±1,4	104,6±3,3	19,1±0,8	21,7±0,7	7,3±3,6
Karain 6.4	5,9±1,7	133±3,7	21,5±0,9	28,7±0,8	10±3,5
Karain 6.5	4±2,1	114±3,5	18,2±0,9	11,2±0,6	7±3,1
Karain 6.6	7±1,7	160,2±4,4	21,9±0,9	30,5±0,8	7,7±0,3
Karain 6.7	4,1±1,7	3,4±0,9	26,1±0,9	32,1±0,8	6,5±0,3
Karain 6.8	4±1,6	148,1±3,9	23,3±0,9	24,7±0,8	6,5±3,1
Mustafapaşa 7.4	3,6±1,4	153,3±3,7	16,8±0,8	20,9±0,7	7,7±3
Mustafapaşa 7.5	2,1±1,2	110,4±3,2	18,9±0,8	22,8±0,6	11,9±3,3
Mustafapaşa 7.6	3	149,2±3,7	13,9±0,7	23,8±0,7	5,4±0,2

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burcu GÜNAY KOZANLILAR
Doğum Yeri : Afyonkarahisar
Doğum Tarihi : 28 / 01 / 1984
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu:

Lise :Kırıkkale Anadolu Lisesi, (1998-2002)
Lisans :Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, (2002- 2007)
Yüksek Lisans :Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Medikal Fizik Anabilim Dalı (Eylül 2009-Aralık 2011)

Yayınları (SCI ve diğer)

Bilimsel Toplantılarda Sözlü Sunumlar:

- 20-22.09.2010 IV. Ulusal Lüminesans Dozimetri Kongresi
“Kapadokya Volkanik Kompleksindeki Minerallerin Optik ve Termal Uyarımlı Lüminesans Özellikleri”, Gaziantap
- 14-17.09.2010 Türk Fizik Derneği 27. Uluslararası Fizik Kongresi
“Ayrışmış Volkanik Kayaçların Optik ve Termal Uyarımlı Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi”, İstanbul
- 22-24.10.2009 XII. Ulusal Medikal Fizik Kongresi
“Sentetik Ve Doğal Kalsiyum Floritlerin Lüminesans Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Ölçüm Protokolünün Hazırlanması ”, Ankara.
- 28-30.09.2009 III. Ulusal Lüminesans Dozimetri Kongresi
“Yapay Ve Doğal Kalsiyum Floritlerin Termolüminesans Özellikleri ”, Bodrum-Muğla