

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TÜRKİYE KAYNAKLI DOĞAL KUVARSIN LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİ
VE GERİYE DÖNÜK DOZİMETRİ ÇALIŞMALARINDA KULLANIMI**

Şule KAYA

MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI

ANKARA

2009

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TÜRKİYE KAYNAKLI DOĞAL KUVARSIN LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİ
VE GERİYE DÖNÜK DOZİMETRİ ÇALIŞMALARINDA KULLANIMI**

Şule KAYA

MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI

ANKARA

2009

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Hayriye Yeter GÖKSU danışmanlığında, Şule KAYA tarafından hazırlanan **‘Türkiye Kaynaklı Doğal Kuvarsın Lüminesans Özellikleri ve Geriye Dönük Dozimetri Çalışmalarında Kullanımı’** adlı tez çalışması 8 Aralık 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Medikal Fizik Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Enver BULUR *İmza:*

Üye : Prof. Dr. Doğan BOR *İmza:*

Üye : Prof. Dr . H.Yeter GÖKSU *İmza:*

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr. Doğan BOR
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE KAYNAKLI DOĞAL KUVAR SIN LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİ VE GERİYE DÖNÜK DOZİMETRİ ÇALIŞMALARINDA KULLANIMI

Şule KAYA

Ankara Üniversitesi
Nükleer Bilimler Enstitüsü
Medikal Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hayriye Yeter GÖKSU

Lüminesans yöntemleri ile tarihlendirme veya geriye dönük doz çalışmalarında, bir malzemenin yaşından veya bir radyasyon kazasından dolayı maruz kaldığı radyasyon dozu, ilgili malzemenin laboratuvar ortamında enerjisi bilinen foton kaynaklarıyla ışınlanması sonunda meydana gelen lüminesans şiddetlerinin karşılaştırılmasıyla hesaplanabilir. Bu tür çalışmalarda, radyasyon güvenliği açısından yüksek enerjili foton kaynağının çalışılan ortama kurulması uygun olmadığından genellikle düşük aktiviteli (0.37-1.48GBq) beta kaynakları ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$) kullanılmaktadır. Lüminesans cihazlarına monte edilmiş veya laboratuvar ortamında ışınlama için özel bir düzenek içine yerleştirilmiş beta kaynağından yayılan beta parçacıkları ve onun neden olduğu saçılan fotonların enerjisinin ölçümünün zorluğundan soğrulan doz hesabının yapılması oldukça güçtür. Bu durumda; belirli bir maddenin ışınlanması amacı ile kullanılan beta kaynağının kalibrasyonu enerji dağılımı iyi bilinen bir foton kaynağı ile ışınlanarak elde edilen lüminesans şiddetlerinin karşılaştırılması ile yapılır. Bu çalışmada, lüminesans laboratuvarlarında kullanılan beta kaynaklarının kalibrasyonunun, tarihlendirme ve geriye dönük dozimetrede çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir mineral olan kuvars tanecikleri ile yapılması amaçlanmıştır. Sivrihisar'dan toplanan kuvarsların kalibrasyon malzemesi olarak kullanımındaki uygunluğunun araştırılması için, kuvarslarda bulunan doğal radyonüklit miktarı Germanyum dedektör ile saptanmış ve X-ışını Kırınımı Yöntemi ile de kristal yapıları belirlendikten sonra dozimetrik özellikleri lüminesans yöntemiyle incelenmiştir. Sivrihisar kuvarsları çeşitli ısıtma ve ışınlama işlemleri ile dozimetrik kararlılığa ulaşması sağlanmıştır. Örneklerin, foton kaynağı ile ışınlanması Almanya-Münih'de bulunan Helmholtz Zentrum İkincil Standart Dozimetre Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Bu çalışma sonunda, Türkiye'deki lüminesans laboratuvarlarında bulunan beta kaynaklarının kalibrasyonunda kullanılacak malzeme hazırlanmış olup laboratuvarların hizmetine sunulmak üzere metodoloji geliştirilmiştir.

2009, 68 sayfa

Anahtar Kelimeler: Lüminesans, Termolüminesans, Optik Uyarımlı Lüminesans, Dozimetre, Retrospektif Dozimetre, Kuvars, Beta kaynağı kalibrasyonu.

ABSTRACT

Masters Thesis

LUMINESCENCE PROPERTIES OF NATURAL QUARTZ ORIGINATING FROM TURKEY AND ITS USAGE IN RETROSPECTIVE DOSIMETRY STUDIES

Şule KAYA

Ankara University
Institute of Nuclear Sciences
Department of Medical Physics

Supervisor: Prof. Dr. Hayriye Yeter GÖKSU

In luminescence dating or retrospective dosimetry, the absorbed dose in relevant material due to its age or radiation accident can only be assessed comparing the luminescence intensities after exposing them to photons with known energy. In this type of studies, the installation of high-energy photon sources is not suitable due to radiation safety in working environment. It is often a weak beta source ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Yr}$) (0.37-1.48GBq) is installed in the laboratory or built-in the luminescence equipment. The absorbed dose in the material exposed to such sources can not be assessed because the energy of betas and scattered photons can not be measured directly. Therefore, for a given material the calibration of beta sources is performed by comparing the luminescence intensities after exposing them to photons with known energy. Quartz is one of the most common mineral used in dating and retrospective dosimetry. Therefore, dosimetric suitability of quartz obtained from Sivrihisar for beta source calibration is investigated. After the measurements of natural radionuclide concentration and crystal structure, the dosimetric properties of quartz using luminescence are investigated in detail. Rather stable dosimetric properties are obtained after application of various heat treatment and irradiation procedure. Quartz samples were irradiated with photons in Secondary Standart Dosimetry Laboratory in Munich (Helmholtz Zentrum). As a result of this study, a material has prepared to be used for beta source calibration in luminescence laboratories in Turkey and measurement protocols were designed to optimize the beta source calibration procedures.

2009, 68 pages

Key Words: Luminescence, Thermoluminescence, Optical Stimulated Luminescence, Dosimeter, Retrospective Dosimeter, Quartz, Beta Source Calibration.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek engin fikirleriyle yetişmeme ve gelişmeme katkıda bulunan danışman hocam Sayın Prof.Dr. H.Yeter GÖKSU'ya, tez çalışmasını yapmam için desteğini esirgemeyen Enstitü Müdürümüz Sayın Prof.Dr. Doğan BOR'a, çalışmalarım süresince desteklerinden dolayı Sayın Yrd. Doç.Dr. Turan OLGAR, Sayın Doç.Dr. Enver Bulur ve Sayın Prof. Dr. Haluk YÜCEL'e, çalışmamın bir parçası olan gama spektroskopik ölçümleri yapan Sayın Uzm. Ayşe Nur SOLMAZ'a, kullandığım örneklerin XRD analizini yapan Sayın Prof.Dr. Yusuf Kaan KADIOĞLU'na, tez çalışmamda yardımlarını ve manevi desteğini hep hissettiğim arkadaşlarım Sayın Esra KÖSE ve Sayın Erkan KELEŞ'e, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan annem Sayın Semra KAYA, babam Sayın İsmail Yalçın KAYA ve kardeşlerim Elvan ve Pınar KAYA'ya sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Şule KAYA

Ankara, Aralık 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1 Basit Termoluminesans Modeli	3
2.2 Birinci, İkinci ve Genel Mertebeden TL Kinetiği	5
2.3 Kinetik Parametrelerin Analiz Yöntemleri.....	11
2.3.1 Başlangıçtaki artış yöntemi.....	11
2.3.2 Maksimum TL şiddetindeki sıcaklığa dayanan yöntem	12
2.3.3 Farklı ısıtma hızlarına dayanan yöntem	13
2.3.4 İzotermal azalım yöntemi	14
2.3.5 Kesikli ışınma eğrisi yöntemi (T_M-T_{STOP}).....	15
2.3.6 Işınma eğrisinin şekline dayanan yöntem.....	15
2.3.7 Bilgisayarlı ışınma eğrisi ayrıştırma yöntemi.....	17
2.4 Isısal Sönümlenme.....	18
2.5 İyi Bir TL Dozimetresinin (TLD) Özellikleri.....	19
2.6 Geriye Dönük (Retrospektif) Dozimetre	23
2.7 Lüminesans Ölçümleri İçin Beta Kaynağının Kalibrasyonu	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1 Sivrihisar Kaynaklı Kuvars Örneği	25
3.2 Örnek Hazırlamada Kullanılan Materyaller	27
3.2.1 Fırın	27
3.2.2 Çeneli kırıcı	27
3.2.3 Elekler.....	28
3.2.4 Ultrasonik banyo	28
3.2.5 Manyetik karıştırıcı	29
3.3 Lüminesans Ölçüm Sistemi	30

3.3.1 Örnek Taşıyıcı (Karusel)	32
3.3.2 Işık Dedeksiyon Sistemi	32
3.3.2.1 Fotoçoğaltıcı Tüp (PMT).....	32
3.3.2.2 Optik Filtreler	33
3.3.3 Lüminesans Uyarım Sistemi	35
3.3.3.1 Isıtma Sistemi	35
3.3.3.2 Optik Uyarım Sistemi.....	35
3.3.3.3 Referans ışık kaynağı	36
3.3.4 Beta Işınlama Kaynağı	37
3.4 Helmholtz Zentrum München (Almanya) ¹³⁷ Cs Foton Işınlama Ünitesi	37
3.5 Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü ¹³⁷ Cs Foton Işınlama Ünitesi	38
3.6 Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü X-ışını Kalibrasyon Sistemi .	39
4. BULGULAR	40
4.1 Sivrihisar Kuvars Örneklerinin Hazırlanması	40
4.2 Doğal ve Yapay Radyonüklit Miktarları	41
4.3 Örneğin X-ışını Kırınımı Analizi.....	42
4.4 Sivrihisar Kuvars Örneğinin Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi	42
4.4.1 Işıma eğrisi	42
4.4.2 Termal aktivasyonunun incelenmesi	44
4.4.3 TL veriminin artırılması	46
4.4.4 Radyasyon dozu cevabı	47
4.4.5 İzotermal azalım yöntemi ile tuzak parametrelerinin belirlenmesi	49
4.4.6 Farklı ısıtma hızlarına dayanan yöntem ile tuzak parametrelerinin belirlenmesi	51
4.5 Değişik Örnek Pozisyonlarında ⁹⁰ Sr Beta Kaynağı Kapalıyken Saçılan Fotonlardan Kaynaklanan Doz Hızının Belirlenmesi	53
4.6 ⁹⁰ Sr Beta Kaynağının Kalibrasyonu.....	55
4.6.1 Sivrihisar kuvarlarının foton kaynağı ile ışınlanması	55
4.6.2 Farklı optik filtreler ile ışıma eğrilerinin elde edilmesi	56
4.6.3 Farklı optik filtreler ile ⁹⁰ Sr beta kaynağının kalibrasyonu	57
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	59
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER DİZİNİ

E	Tuzak derinliği (tuzak enerjisi)
eV	Elektron Volt
k.b.	Keyfi birim
Gy	Gray
MDA	Ölçülebilir En Küçük Aktivite
s	Frekans faktörü
TLD	Termoluminesans Dozimetre
XRD	X-ışını Difraksiyonu
τ	Tuzağın yarı ömrü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Şekil 2.1 Enerji Band Modeli.....	4
Şekil 2.2 Termoluminesans 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 merkezlerindeki deşiklerin konsantrasyonun azalmasını göstermektedir.....	5
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	7
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	8
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.....	9
Şekil 2.6 Eşitlik 2.7 kullanılarak farklı kinetik mertebeye değerleri b için hesaplanan genel mertebeden TL ışımaya eğrisi	10
Şekil 2.7 Termoluminesans ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmı	11
Şekil 2.8 TL ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmına uygulanan başlangıçtaki artış yöntemi	12
Şekil 2.9 TL ışımaya eğrisinde geometrik şeklin parametreleri (τ, δ, ω)	15
Şekil 2.10 Kuvars örneğine ait ışımaya eğrisinin CGCD programı ile ışımaya tepelerinin ayrıştırılması.....	17
Şekil 3.1 Kuvarsın Türkiye'deki dağılımı	26
Şekil 3.2 Fırın	27
Şekil 3.3 Çeneli kırıcı.....	28
Şekil 3.4 Elekler.....	28
Şekil 3.5 Ultrasonik banyo	29
Şekil 3.6 Manyetik karıştırıcı	29
Şekil 3.7 Risø TL/OSL okuyucunun şematik diyagramı	30
Şekil 3.8 Risø TL/OSL Sistemi	31
Şekil 3.9 Örnek diskleri ve planşetleri (solda), örnek karuseli (sağda)	32
Şekil 3.10 Kullanılan optik filtreler	33

Şekil 3.11 RISØ TL/OSL okuyucuda kullanılan optik filtrelerin geçirgenlik spektrumları	34
Şekil 3.12 a) Isıtıcının ölçüm pozisyonundaki resmi, b) Karuselinde yerleştirildiği a) ile aynı ısıtıcının resmi	35
Şekil 3.13 OSL birimindeki IR ve mavi LED'i beraber gösteren şematik diyagram	36
Şekil 3.14 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ Beta ışınlayıcı şematik diyagramı	37
Şekil 3.15 Helmholtz Zentrum München (Almanya) İkincil Standart Dozimetre Laboratuvarında (SSDL) bulunan ^{137}Cs foton kaynağı ışınlama sisteminin görünümü.	38
Şekil 3.16 Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde kurulmuş olan ^{137}Cs foton kaynağı ışınlama sistemi	38
Şekil 3.17 Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde kurulmuş olan X-ışını kalibrasyon sistemi	39
Şekil 4.1 (a) hazırlanmadan önce Sivrihisar kuvarısı (kirli örnek), (b) hazırlandıktan sonra Sivrihisar kuvarısı (temiz örnek).....	41
Şekil 4.3 5 Gy radyasyon dozu verilen Sivrihisar kuvarısının 500°C 'ye $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ile ısıtılarak elde edilen ışınma eğrisi	43
Şekil 4.4 500 mGy radyasyon dozu verilen Sivrihisar kuvarısının 280°C 'ye $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ile ısıtılarak elde edilen ışınma eğrisi	43
Şekil 4.5 500 mGy radyasyon dozu verilen Sivrihisar kuvarısının 280°C 'ye $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ile ısıtılarak elde edilen TL ışınma eğrisi	44
Şekil 4.6 Farklı ısıtma sıcaklıklarında elde edilen TL şiddetinin ilk okumaya göre oranı	45
Şekil 4.7 Art arda 10 kez 500°C 'ye ısıtma ile elde edilen ışınma eğrileri	47
Şekil 4.8 Ardarda 10 kez 500°C 'ye ısıtma ile elde edilen TL şiddetinin değişimi.....	47
Şekil 4.9 Sivrihisar kuvars örneklerinin farklı radyasyon dozları ile ışınlanması sonucu elde edilen ışınma eğrileri.....	48
Şekil 4.10 Sivrihisar kuvarısının 170°C ve 210°C gözlenen piklerinin farklı radyasyon dozları ile ışınlanmasının ardından elde edilen TL şiddetlerindeki değişim	48
Şekil 4.11 Sivrihisar kuvarısının 180°C , 190°C ve 200°C 'de farklı sürelerde bekletilerek elde edilen TL şiddetindeki eksponansiyel azalım ve 10 s, 20 s ve 40 s bekletilmesi ile elde edilen değerlerden hesaplanan eğri denklemleri	51
Şekil 4.12 Farklı bekleme sıcaklıkları ve süreleri ile elde edilen denklem eğimlerinin (m_1) logaritmik değişiminden elde edilen eğiminin hesaplanması	51
Şekil 4.13 Farklı ısıtma hızları kullanılarak elde edilen ışınma eğrileri	53

Şekil 4.14 Farklı ısıtma hızları kullanılarak farklı sıcaklık tepeleri için elde edilen grafikteki denklemlerin eğimi ile aktivasyon enerjisinin hesaplanması	53
Şekil 4.15 ⁹⁰ Sr beta kaynağı kapalı durumdayken saçılan fotonlardan kaynaklanan doz hızının saptanması	54
Şekil 4.16 Sistem kapalı durumdayken karuseldeki farklı örnek konumlarına yerleştirilen kuvars örneklerinden edilen doz hızı değerleri	55
Şekil 4.17 Örneklerin foton kaynağı ile ışınlanmasında kurulan düzenek.....	56
Şekil 4.18 Sivrihisar kuvarsının farklı optik filtreler kullanılarak elde edilen ışınma eğrileri	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Araziden toplanan örneklere ait doğal ve yapay radyonüklit miktarları	41
Çizelge 4.2 Termal aktivasyonun incelenmesinde uygulanan işlemler	45
Çizelge 4.3 Örneklerin TL veriminin artırılması için uygulanan işlemler.....	46
Çizelge 4.4 İzotermal bozunum yöntemiyle tuzak parametrelerinin belirlenmesi için uygulanan ölçüm işlemlerinin sırası.....	49
Çizelge 4.5 Farklı ısıtma hızları ile tuzak parametrelerinin belirlenmesi için uygulanan ölçüm işlemlerinin sırası.....	52
Çizelge 4.6 ⁹⁰ Sr beta kaynak kalibrasyonunda kullanılan ölçüm protokolü	57
Çizelge 4.7 ⁹⁰ Sr beta kaynağının kalibrasyonu sonucu elde edilen doz hızı değerleri	58
Çizelge 5.1 Farklı yöntemlerle belirlenen tuzak parametreleri	62

1. GİRİŞ

Zirkon, feldspar, kuvars gibi mineraller ısı ve optik uyarımlı lüminesans (TL/OSL) yöntemleri ile tarihlendirme veya geriye dönük dozimetri uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Bu mineraller kiremit, tuğla, fayans gibi bina malzemelerinde veya arkeolojik seramikler içinde bulunurlar. Bina malzemeleri içinde bulunan her bir mineralin maruz kaldığı radyasyon doz alanı farklı olup mineraller gerek kendi yapılarında bulunan gerekse onları çevreleyen kil içerisinde yer alan radyoizotoplardan dolayı alfa, beta parçacıkları ve fotonlara maruz kalmaktadırlar.

Çernobil kazasından sonra lüminesans yöntemleri ile geriye dönük radyasyon dozu ölçüm çalışmalarında, özellikle düşük radyasyon dozlarının ölçümünde en önemli hata, beta kaynakların doğru kalibre edilmemesinden kaynaklandığı gözlenmiştir. Bu nedenle uygun lüminesans özelliklerinden dolayı kuvars minerallerinin bu amaçla kullanılmasına ve laboratuvarlar arası kalibrasyon işlemlerinin belirli aralıklarla yapılmasına başlanmıştır (Haskell 1987, Göksu *vd.* 1995). Daha sonra bazı laboratuvarların kuvars yerine feldspar minerallerini (yüksek radyasyon dozlarının kullanımında) tercih etmeleri halinde de feldsparlar için yeni ölçüm ve örnek hazırlama protokolleri geliştirilmiştir (Niedermayer 2000). Ancak kuvars, özellikle iz elementleri açısından fakir olmasından dolayı düşük radyasyon dozlarında tercih edilen mineral olmuştur (Göksu *vd.* 2003, 2006). Her ne kadar $Al_2O_3:C$ ve CaF_2 gibi bazı yapay kristaller bu amaçla incelenmişse de, bu minerallerin verimlerinin foton enerjisine bağımlı olmasından dolayı kalibrasyon işlemlerine uygun olmadığı saptanmıştır (Bos *vd.* 2006, Erfurt *vd.* 2000, Erfurt *vd.* 2001, Olko *vd.* 2006).

Kuvars minerallerinde soğrulan toplam doz, mineralin kompozisyonuna, büyüklüğüne ve gelen fotonun enerjisine bağlıdır. Bu nedenle, ışınlamalarda kullanılan kaynağın kalibrasyonu bu çalışmaların en önemli parçasıdır. Kalibrasyon işlemi yüksek enerjili bir foton kaynağı ile yapılırsa, ancak bir kaç mm kalınlığında bir maddede düzgün bir doz dağılımı elde edilir. Örneğin; 5 mm kalınlığındaki bir kuvars örneğinde derinliğe bağlı radyasyon doz azalması %2'dir (www.nist.gov). Ancak yüksek enerjili foton kaynağının çalışılan ortama kurulması radyasyon güvenliği açısından uygun olmadığı

için $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynakları laboratuvar ortamında tercih edilir ve çoğu kez TL/OSL aletleri üzerine monte edilmiştir. Bir beta kaynağından yayılan beta parçacıkları ve onun neden olduğu saçılan fotonların enerjisinin ölçümü zor olduğundan soğurulan radyasyon dozu hesaplarının yapılması da oldukça güçtür. Bu nedenle, kullanılan beta kaynaklarının kalibrasyonu, enerji dağılımı iyi bilinen bir foton kaynağı ile ışınlanmış bir maddenin lüminesans şiddetlerinin karşılaştırılması ile yapılmaktadır.

1995 yılından buyana tarihlendirme ve geriye dönük dozimetre laboratuvarlarında MERCK firmasının piyasaya sürdüğü Brezilya kaynaklı olduğu düşünülen kuvars minerallerinin kullanımı önerilmiştir (Göksu *vd.* 1995). Ancak, firmanın her yıl piyasaya sürdüğü kuvarsların lüminesans özelliklerinin her zaman kalibrasyon işlemlerine uygun olmadığı hatta firmanın 2000 ve 2001 yıllarından sonra piyasaya sürdüğü kuvarsların lüminesans özelliklerinin beta kaynak kalibrasyonuna uygun olmadığı gözlenmiştir (Goedicke 2007, Richter 2003, Veronese *vd.* 2004 a,b).

Bu çalışmada, Eskişehir-Sivrihisar bölgesinden toplanan kuvarsların lüminesans özellikleri (radyasyon dozuna bağımlılığı, hassasiyeti kararlılığı, tuzak parametreleri) incelenerek retrospektif dozimetre ve yaş tayini çalışmaları için düşük dozlarda beta kaynak kalibrasyonunda kullanılabilirlik olanakları incelenmiştir. Lüminesans özellikleri uygun bulunan Sivrihisar kaynaklı kuvars mineralleri ile beta kaynak kalibrasyonunun $\pm 4\%$ hata sınırları içinde yapılabilirliği gösterilmiştir. Çalışmanın diğer aşamasında ise, her laboratuvarın beta kaynak kalibrasyonunun yılda en az bir kez yapması gerektiği vurgulanarak, kolay ve her kullanıcıya uygun ölçüm protokolleri geliştirilmiştir. Türkiye’de lüminesans yöntemleri ile tarihlendirme ve geriye dönük dozimetre konusunda araştırma yapan laboratuvarların acil bir gereksinimi olan kalibrasyon malzemesi laboratuvarların hizmetine sunulmak üzere hazır hale getirilmiştir.

Yapılan bu çalışma, Türkiye’deki lüminesans laboratuvarları arasında yapılacak laboratuvarlar arası kalibrasyon ölçümlerinin doğruluğunu ve güvenilir olmasını sağlayacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

Termolüminesans (TL) yalıtkan veya yarı-iletken maddelerin daha önce ışınlama ile soğurdukları enerjinin ısıtıldığında ışık olarak yayılması olarak tanımlanır. TL işlemi sırasında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yayılan ışık miktarını gösteren grafik “TL ışımaya eğrisi” olarak bilinir.

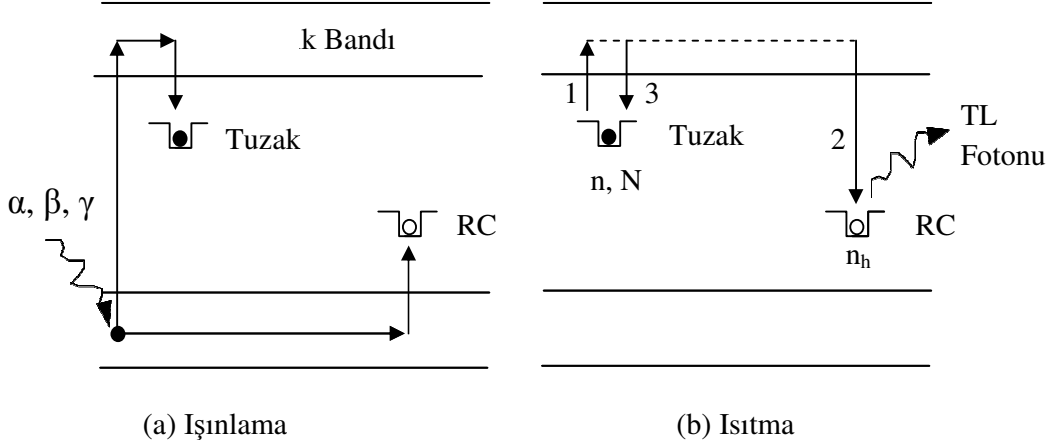
Bir maddede gözlenen termolüminesans ışımaya eğrileri, lüminesans ölçüm öncesi örneğe uygulanan işlemlere bağlı olarak değişir. Örneğin, maddeye uygulanan radyasyon dozuna ve ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak tuzaklardaki elektron sayıları değişeceğinden TL ışımaya eğrilerinin biçimi de değişir. Genellikle, TL ışımaya eğrilerinin ölçümü ve analizindeki asıl amaç madde içindeki TL sürecini tanımlayan parametrelerin çıkarılmasıdır. Örneğin, elektronların bulunduğu yarı kararlı enerji seviyeleri olup 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.

2.1 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), tek yeniden birleşme merkezinin (RC) olduğu ifade edilir (One Trap-One Recombination Centre, OTOR). 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 termolüminesans ölçümü sırasında örneklerin $500^{\circ}C$ ’ye lineer artan bir hızla ($\beta=dT/dt$) ısıtılarak sıcaklığın artırılması tuzaklardan iletim bandına geçen elektronların sayısını da arttırır (geçiş 1). Yarı iletkenlerde iletim bandına geçen elektronlar ya yeniden birleşme merkezi (RC) ile birleşebilir (geçiş 2) ya da tekrar

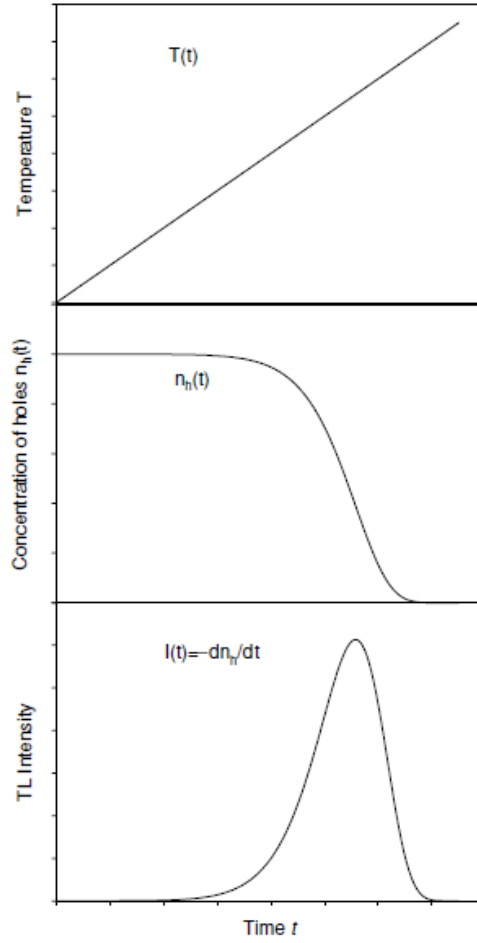
tuzaklanabilirler (geçiş 3), (Şekil 2.1). Bu durumda yayılan ışığın şiddeti (I_t) aşağıdaki şekilde ifade edilir (Eşitlik 2.1):

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



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 yayınlaması

Şekil 2.2 artan örnek sıcaklığına (T) göre, eşzamanlı ışık yayılımını (I_t) ve yeniden birleşme merkezlerindeki deşik konsantrasyonundaki (n_h) azalmayı göstermektedir.



Şekil 2.2 Termoluminesans 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 azalmasını göstermektedir

2.2 Birinci, İkinci ve Genel Mertebeden TL Kinetiği

Termoluminesans 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:

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

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

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

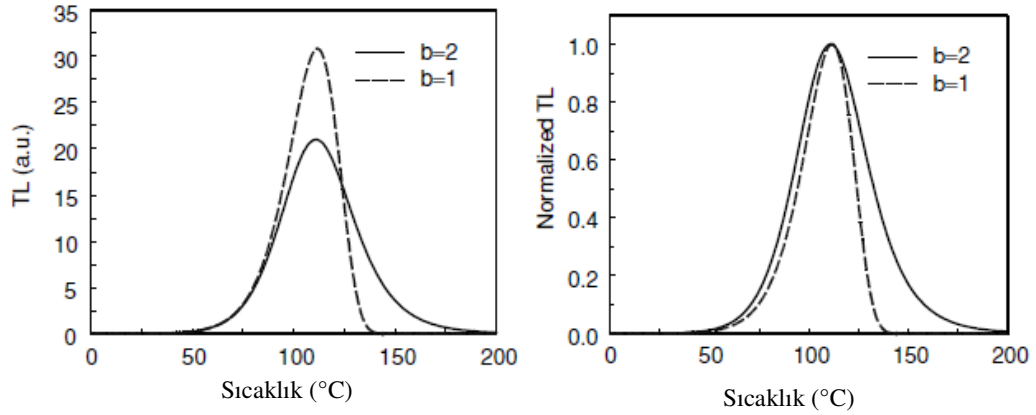
Yukarıdaki eşitliklerde, eklenen parametreler:

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})

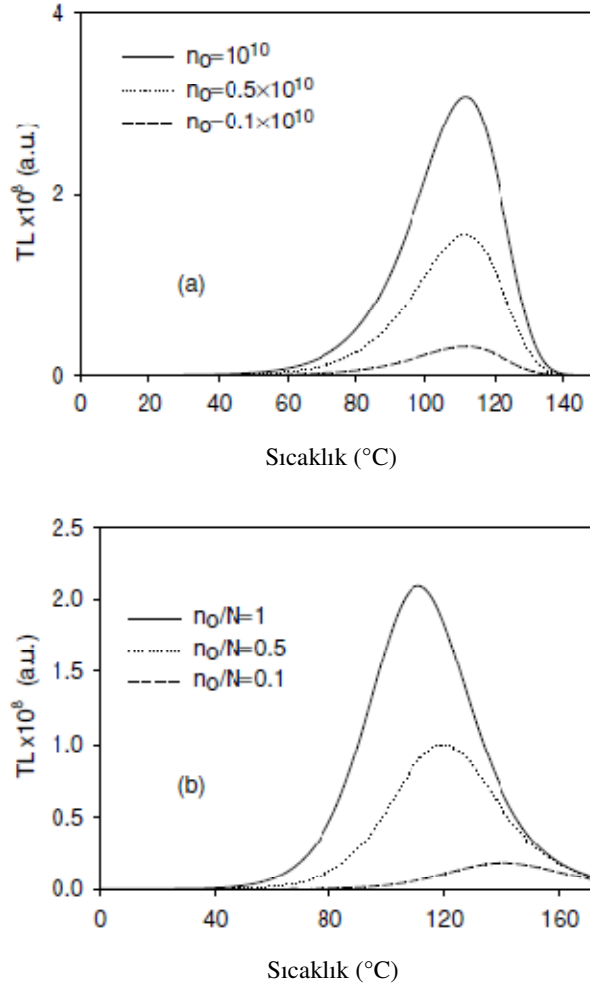
Eşitlik 2.2 ve 2.3 bazı basitleştirilen varsayımlar ile basit termoluminesans modelinden türetilmiş olmasına rağmen, genel mertebe kinetiğini gösteren Eşitlik 2.4 tamamen deneyseldir ve genelde gerçek fizik modelleriyle bağlantılı değildir.

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.



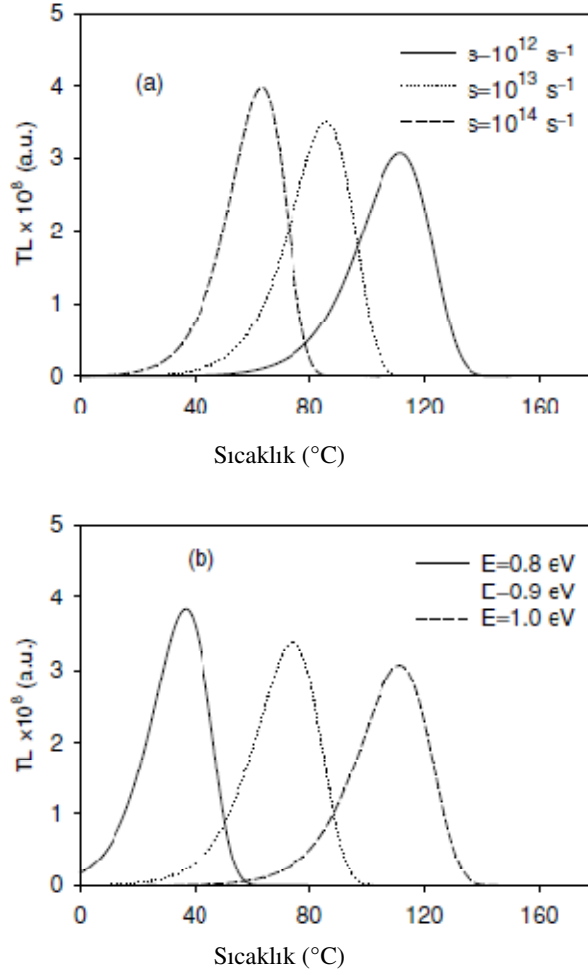
Şekil 2.3 Parametreleri $E = 1 \text{ eV}$, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $n_0 = N = 10^3 \text{ m}^{-3}$ olan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması

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



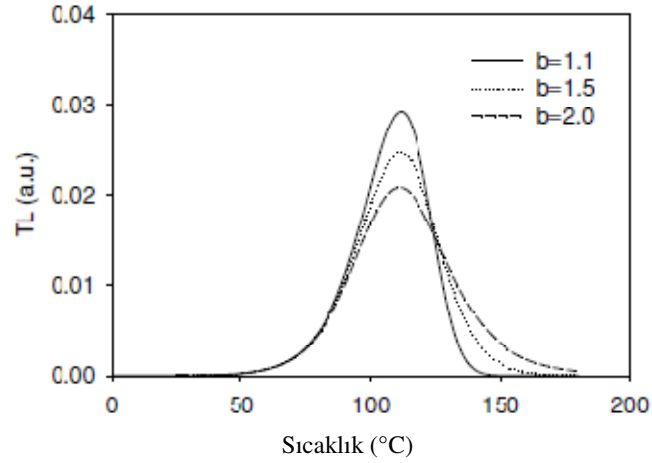
Şekil 2.4 Parametreleri $E = 1$ eV, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $N = 10^{10} \text{ m}^{-3}$ ve (a) $n_0 = 1, 0.5, 0.1 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$, (b) $n_0/N = 1, 0.5, 0.1$ olan farklı başlangıçtaki tuzaklanan elektron konsantrasyonuna sahip (n_0), Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6 kullanılarak hesaplanan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



Şekil 2.5 Eşitlik 2.5'ten hesaplanan birinci mertebeden TL ışıma eğrileri (a) $E = 1.0$ eV, farklı frekans faktörleri s ve (b) $s = 10^{12}$ 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, $s = 10^{12}$ s⁻¹, $n_0 = N = 1$, $\beta = 1$ Ks⁻¹ dir.



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

Bir ışıma eğrisinin maksimumunu veren eşitliğin hesaplanması için Eşitlik 2.5-2.7 ifadelerinin türevi alınıp sifıra 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.

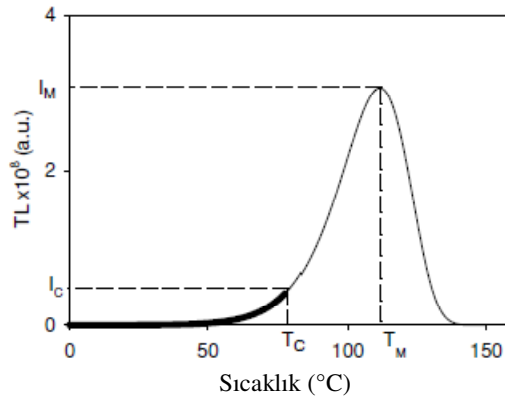
Bir TL ışımasında gözlenen her hangi bir tepenin özellikleri en fazla üç parametre ile tanımlanır, bunlar: aktivasyon enerjisi E, frekans faktörü s ve kinetik merteye b olup farklı ölçüm teknikleri ve belirli varsayımlar kullanılarak saptanabilir. Saptanan parametrelerdeki belirsizlik de varsayımlara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

2.3 Kinetik Parametrelerin Analiz Yöntemleri

2.3.1 Başlangıçtaki artış yöntemi

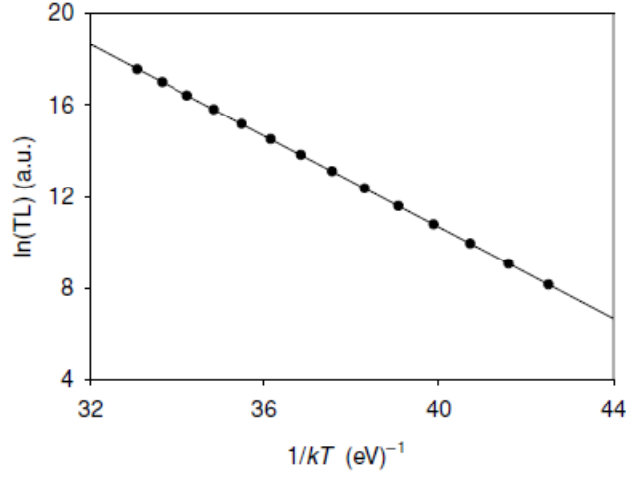
Başlangıçtaki artış yöntemi ile analiz ilk olarak Garlic ve Gibson (Garlic ve Gibson 1948) tarafından önerilmiştir. Bir TL ışıma pikinin düşük sıcaklık kısmında tuzaklanan elektronların miktarı yaklaşık olarak sabit kabul edilebilir. Çünkü $n(T)$ 'nin sıcaklığa bağımlılığı bu sıcaklık bölgesinde ihmal 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 ışıma eğrisinin başlangıçtaki artış kısmı

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



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

2.3.2 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.

2.3.3 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.

2.3.4 İzotermal azalım yöntemi

Bu yöntemde, deneysel aşamada örnekler ışılandıktan 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).

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

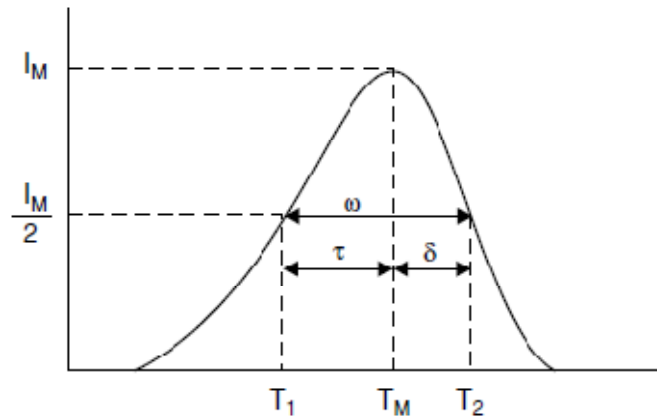
Belirlenen aktivasyon enerjisi (E) Eşitlik 2.19’da yerine koyularak frekans faktörü hesaplanır.

2.3.5. Kesikli ısıma eğrisi yöntemi (T_M - T_{STOP})

Isıma eğrisindeki tepelerin kinetik dereceleri kesikli ısıma eğrisi yöntemiyle de belirlenebilir. Bu yöntemde, örnek ısılandıktan sonra ilk tepenin düşük sıcaklık kısmına karşılık gelen bir sıcaklığa (T_{stop}) kadar ısıtılır. Örnek daha sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılır ve ısıma eğrisinin geri kalanını elde etmek için örnek aynı ısıtma oranında tekrar ısıtılır ve T_m belirlenir. Yöntem, yeni ısılanmış bir örnek üzerinde veya ısıtılmış/ısılanmış 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.

2.3.6 Isıma eğrisinin şekline dayanan yöntem

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



Şekil 2.9 TL ısıma 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

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

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

$\omega = T_2 - T_1$ toplam yarı genişlik

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

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'in birinci mertebeden kinetiğe göre elde ettiği ifade,

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

Grossweiner'in 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.

Lushchik 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:

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

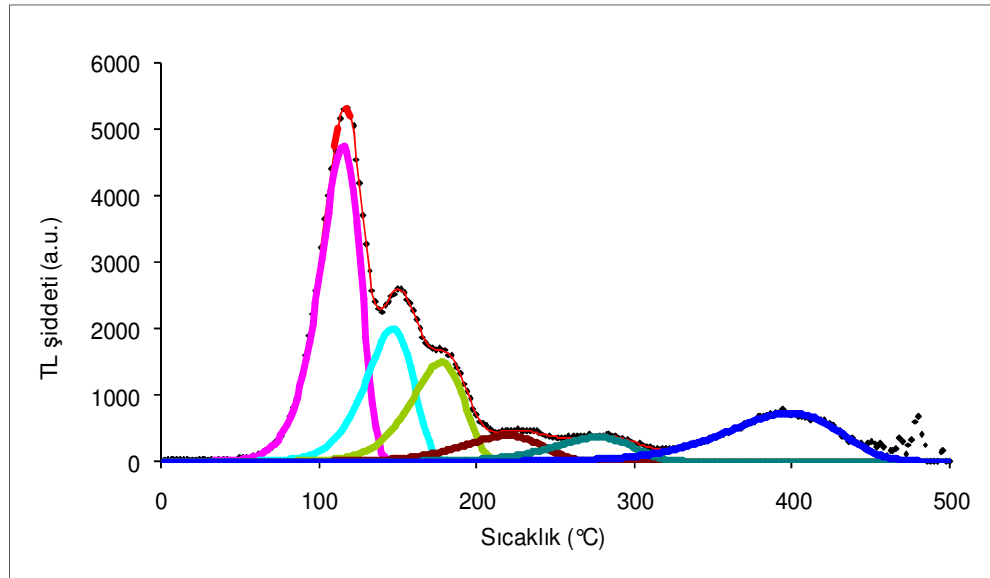
İkinci mertebeden kinetiğe sahip ışıma eğrisi için elde edilen ifade:

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

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)

2.3.7 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 mertebesinde kaynaklanır. Birinci dereceden kinetiğe sahip eğrilerde Randall-Wilkins'in yaklaşımı (Eşitlik 2.2), ikinci dereceden kinetiğe sahip eğrilerde Garlick-Gibson yaklaşımı (Eşitlik 2.3) veya genel mertebeden kinetiğe sahip eğriler için May-Partridge yaklaşımı (Eşitlik 2.4) kullanılmaktadır (Furetta 2003).



Şekil 2.10 Kuvars örneğine ait ışıma eğrisinin CGCD programı ile ışıma tepelerinin ayrıştırılması

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

2.4 Isısal Sönümlenme

Isısal sönümlenme (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, ışımaya yeniden birleşmeler enerji dağılımını gösteren tek olay değildir.

Bir maddede, ışınlatma ve enerji transferinin ardından lüminesans oluşup oluşmaması, onun ışımaya ve ışımaya 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, ışımaya geçiş olasılığı ve ışımaya 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 ışımaya geçiş olasılığı P_{nr} sıcaklığa Boltzmann faktörü $e^{(-W/kT)}$ ile bağlıdır, ışımaya 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 sönümlenmenin aktivasyon enerjisi ve C , bir sabittir. Eşitlik 2.25 ısısal sönümlenme 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.

2.5 İyi Bir TL Dozimetresinin (TLD) Özellikleri

Bir fosforun iyi bir termolüminesans dozimetresi olarak kullanılabilmesi için aşağıda sıralanan özelliklere sahip olması gerekir:

- a. *Basit ışıma eğrisi:* Işıma eğrisi, lüminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı olarak değişimini gösteren bir grafikdir. Işıma eğrisinin altında kalan alan, tuzaklardan boşalan elektronların sayısı yani başlangıçta uygulanan radyasyon miktarı ile orantılıdır. Dozimetre olarak kullanılacak bir fosforun tek bir tepeye sahip olması ışıma eğrisinin analizini kolaylaştırdığı gibi, ön-ısıtma ve tavlama işlemlerini de sadeleştirdiği için tercih edilir.
- b. *Basit tavlama (fırınlama) ve ön ısıtma işlemi:* Fosforun tüm tuzaklarının boşaltılması amacıyla yapılan fırınlama (yüksek sıcaklıklara kadar ısıtma) işleminin, özellikle rutin çalışmalarda, fosforun TL özelliğini değiştirmeyecek bir sıcaklıkta ve kısa sürede gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

- c. *Radyasyon verimi:* Kullanılan fosforun foton kaynağı ile ışınlanması sonucunda elde edilen TL şiddetinin ne kadar yüksek olduğunun bir göstergesidir. Bir fosforun yüksek foton hassasiyetine sahip olması, onun düşük radyasyon dozlarında yüksek TL şiddeti elde edilmesi ve böylece daha düşük radyasyon dozlarının ölçülebilmesi anlamını taşır. TL ölçümlerinde kullanılan fosforun hassasiyetinin tavlama ve ön-doz işlemleri ile arttırılabileceği gözlenmiştir (Horowitz 1984, Göksu ve Hübner 1997). Bu nedenle kullanılacak fosforun bu özellikleri de çalışmanın ilk aşamalarında incelenmelidir.
- d. *Lineer doz bağımlılığı:* Bir fosforun ışınma şiddetinin radyasyon dozuna bağlı olarak değişiminin her bölgede lineer olmadığı bilinmektedir (Aitken 1985). Bu nedenle çalışmada kullanılacak fosforun radyasyon dozuna bağımlılığı incelenmeli ve bu bağımlılığın lineer olduğu kısımda çalışılmalıdır. (Bu çalışmada Sivrihisar kuvarslarının çalışılan radyasyon doz aralığı bölgesinde lineerliği incelenmiştir).
- e. *Tekrar edilebilirlik:* Termoluminesansta kullanılan fosforların hassasiyeti tekrarlanan ısıtma ve radyasyon dozu uygulamalarında değişim bu nedenle bu uygulamalar karşısında fosfordaki hassasiyet artışı minimum olmalıdır. Bu, aynı zamanda çalışmanın doğruluğunun kontrolünü ve karşılaşılabilecek sorunlarda tekrarını sağlayacaktır.
- f. *Foton enerji-doz bağımlılığı:* Işınlamada kullanılan fotonun enerjisine bağlı olarak belirli bir doz değeri için TL şiddetinde gözlenen farklılık o maddenin enerji bağımlılığı olarak tanımlanır. TLD'lerin en yaygın kullanıldığı medikal fizik uygulamalarında bir dokuda soğurulan toplam doz değeri söz konusu olduğundan kullanılacak fosforun da etkin atom numarasının (Z_{eff}) dokuya eşdeğer olması gerekir. LiF veya BeO gibi fosforların etkin atom numaraları dokuya eşdeğer ($Z_{\text{eff}}= 7.4$) oldukları için tercih edilirler (Horowitz 1984, Furetta 2003, McKeever 1995).

Retrospektif dozimetre ve tarihlendirme çalışmalarında en yaygın kullanılan kristallerden kuvarsın $Z_{\text{eff}}=10.2$, feldsparın $Z_{\text{eff}}=10.5$ 'tir.

Her hangi bir maddede kütle enerji soğurma katsayısı (μ_{en}) fotonların madde ile etkileşme biçimlerine bağlı olarak değişir (Çift oluşum, Compton saçılması ve Fotoelektrik etki). Bu etkileşimlerden hangisinin etkin olacağı ışınlamada kullanılan fotonun enerjisine, hedef maddesinin izotopik kompozisyonuna ve atom numarasına bağlıdır. Genelde fotonların madde içindeki enerji kaybı fotonların etkileşiminden ortaya çıkan ikincil elektronlarla sağlanır bu nedenle Z_{eff}^n ile orantılıdır. Burada n, etkileşimin cinsine bağlı olarak 1-5 arasında değişir. Bu nedenle, Z_{eff} benzer olan fosforlarda kütle soğurma katsayıları da birbirine yakındır. Bileşiklerde etkin kütle numarası aşağıdaki formülde verildiği gibi hesaplanır.

$$Z_{\text{eff}} = \sqrt[n]{\sum N_i Z_i^n} \quad (2.27)$$

Burada N_i i. maddenin bileşikte oransal bulunma katsayısıdır.

Genelde belirli bir radyasyon dozuyla ışınlanan bir bileşiğin düşük enerjili fotonlarla ışınlanması durumunda, yüksek enerjili fotonlarla ışınlanma durumuna göre daha yüksek lüminesans veriminin olduğu gözlenmektedir. Bu durumda, TL şiddetinin foton enerjisine bağlı değişimi $S(E)$, genelde belirli bir maddeye göre, örneğin havaya göre, aşağıdaki formülde verildiği gibi ifade edilir:

$$S(E) = \frac{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{fosfor}}}{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{hava}}} \eta(E) \quad (2.28)$$

Burada $\eta(E)$ 1'den farklı olup gelen fotonların enerjisinin hangi oranda lüminesans ışınmasına neden olduğunun ölçüsüdür.

Bağıl enerji verimi ise genellikle bir ^{60}Co kaynağından yayılan, ortalama enerjisi 1.25 MeV olan fotonlara göre normalize edilerek ifade edilir:

$$\text{BEV} = S(E)/S(1.25 \text{ MeV } ^{60}\text{Co}) \quad (2.29)$$

Bu nedenle tarihlendirme ve geriye dönük dozimetre çalışmalarında kullanılacak beta kaynaklarının kalibrasyonunun kuvars veya feldspar minerallerinin enerji doz bağımlılığına eşdeğer maddelerle yapılması gerekir. Bu arada benzer etkin atom numaraları olması da her zaman yeterli olmayabilir. Etkin atom numarası aynı olan iki maddede lüminesans verimi $\eta(E)$, aynı fosforun farklı tepeleri için farklı değerlere sahip olabilir. Bu fark genelde fosforlarda değişik tepelere karşı gelen elektron tuzaklarının değişik dozlarda doygunluğa ulaşması ile açıklanmaktadır (Olko *vd.* 2002, Taranenko 2004).

- g. Gün ışığına karşı duyarsızlık:* Bazı maddelerde ışığın, elektronları tuzaklardan boşalttığı veya daha az derin tuzaklara taşıdığı bilinmektedir. Kullanılacak fosforun gün ışığına karşı duyarsız olması ya da bu duyarlılığın dozimetrenin doğru ölçümünü engellemeyecek kadar düşük olması gerekmektedir.
- h. TL sönüme uğramadan oda sıcaklığında en az birkaç ay depolanabilmesi:* Bir TL fosforunda özellikle sık tuzaklarda bulunan elektronlar oda sıcaklığında sönüme uğrayabilir. Bu durumda, fosforda depolanan radyasyon dozunda bir azalma meydana gelir. Bu etkinin azaltılması için fosfora kullanımdan önce ön ısıtma işlemi uygulanabilir veya ışımaya eğrilerinin daha kararlı bölgeleri dozimetrik ölçüm için kullanılabilir.
- i. Kullanım uygunluğu:* TL fosforları, radyasyon dozu ölçülecek olan örnek üzerine kolayca yerleştirilmesi, ısıtıldığında sıcaklığın homojen olarak yayılması veya dozimetrenin alt seviyelerinden çıkan TL ışımalarının dedektöre (fotoçoğaltıcı tüp) ulaşması gibi nedenlerle küçük boyutlu yapırlar. Bunların dışında LiF, feldspar, zirkon, CaSO_4 gibi maddeler doğal olarak U, Th, K gibi radyoizotoplar içerirler. Bu nedenle fosforun kendi içindeki radyoaktif izotoplar,

ölçülmesi istenen dozu etkileyebilirler (miktarla bağı olarak). Kalibrasyon malzemesi olarak kuvars bu nedenle (saflığından) tercih edilir.

2.6 Geriye Dönük (Retrospektif) Dozimetre

Lüminesans yöntemleri ile tarihlendirme ve geriye dönük dozimetrenin temeli kuvars, feldspar gibi minerallerin lüminesans özelliklerinden yararlanarak, toplam soğrulan dozun ölçülmesine dayanır. Bu mineraller, çevremizde kil içeren kiremit, tuğla gibi fırınlanmış bina malzemelerinde bulunduğu gibi, rüzgâr veya sularla taşınmış tüm çöktülerde, volkanik kayalarda belli oranlarda bulunurlar. Bu tür maddeler içinde bulunan minerallerde, doğal çevre radyasyonundan kaynaklanan jeolojik devirlerden itibaren oluşan tuzaklanmış elektronlar, fırınlanma veya taşınma sırasında güneş ışığına maruz kaldıklarında tekrar kararlı hale dönüşürler.

İyonize radyasyon madde ile 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. Bu nedenle, bu tür mineraller pişirilme ve taşınma süreci sonunda birer dozimetre olarak kullanılabilirler. Bu yöntemle, kil içinde bulunan minerallerin lüminesans özelliklerine bağı olarak birkaç mGy'den 100Gy'e kadar toplam radyasyon dozu ölçülebilir.

Temelde, yöntemin prensibi, yapay kristaller kullanılarak lüminesans yöntemi ile kişisel radyasyon dozunun ölçülmesinden farklı değildir (ICRU 47, McKeever 1985), ancak burada özellikleri laboratuvarında kontrol edilerek üretilen yapay kristaller yerine çevrede doğal olarak bulunan kuvars (SiO_2) veya feldspar (K, Al, SiO_2) gibi minerallerin kullanımına dayanır. Her ne kadar lüminesans olayının fiziksel prensipleri tam olarak bilinmese de, kristal yapısındaki bozukluklar, boşluklar ve bazı safsızlıkların önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Örneğin; kuvarsın ışımaya eğrisi birkaç belirgin tepeden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla $\sim 110^\circ\text{C}$, 210°C , 325°C and 375°C de gözlenirler. Ancak tepelerin yeri ve birbirlerine göre şiddeti, kullanılan ısıtma hızına ve kuvarsın termal ve

geçmişte aldığı radyasyon dozuna bağlıdır. Ayrıca, her tepe farklı yapı bozukluklarından dolayı meydana gelir ve elektronların bu tuzaklarda kalma süresi iletkenlik bandından uzaklıklarına, dolayısıyla da sıcaklığa bağlıdır. Elektronların tuzaklarda kalma yarı ömürleri bir kaç dakikadan $>10^6$ yıla kadar değişir. Kuvarsın geçmişte almış olduğu radyasyon dozu ve tavlama sıcaklığına bağlı olarak radyasyon hassasiyetinde artış göstermesi 'pre-dose' (ön-doz) etkisi olarak bilinir ve bu özellik 110°C 'deki tepede gözlenmektedir. Genelde, kısa süreli ölçümlerde 210°C 'deki tepe, geriye dönük dozimetre ölçümlerinde kullanılır ve bu tepeye ait elektronların tuzaklarda kalma yarı ömrü oda sıcaklığında ~ 800 yıl olduğu gösterilmiştir (Bailiff ve Petrov 1999, Göksu *vd.* 2001). Son yıllarda bazı tip kuvarslarda gözlenen 170°C 'deki tepenin de geriye dönük dozimetre çalışmalarında kullanılabilceği gösterilmiştir (Göksu *vd.* 2001). 325°C ve 375°C 'de gözlenen tepelerin radyasyon hassasiyeti 210°C 'de gözlenen TL tepesinden çok daha düşüktür (McKeever 1985).

2.7 Lüminesans Ölçümleri İçin Beta Kaynağının Kalibrasyonu

Tarihlendirme ve geriye dönük doz çalışmalarında, bir malzemenin kaza veya yaşından dolayı maruz kaldığı radyasyon dozunun saptanması, laboratuvarında enerjisi bilinen fotonlarla ışınlanması sonunda meydana gelen lüminesans şiddeti ile karşılaştırılarak hesaplanır. Ancak bu tür uygulamalarda, bir foton kaynağının çalışılan ortama kurulması radyasyon güvenliği açısından uygun değildir. Bu nedenle, genellikle ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$) beta kaynağı kullanılmaktadır.

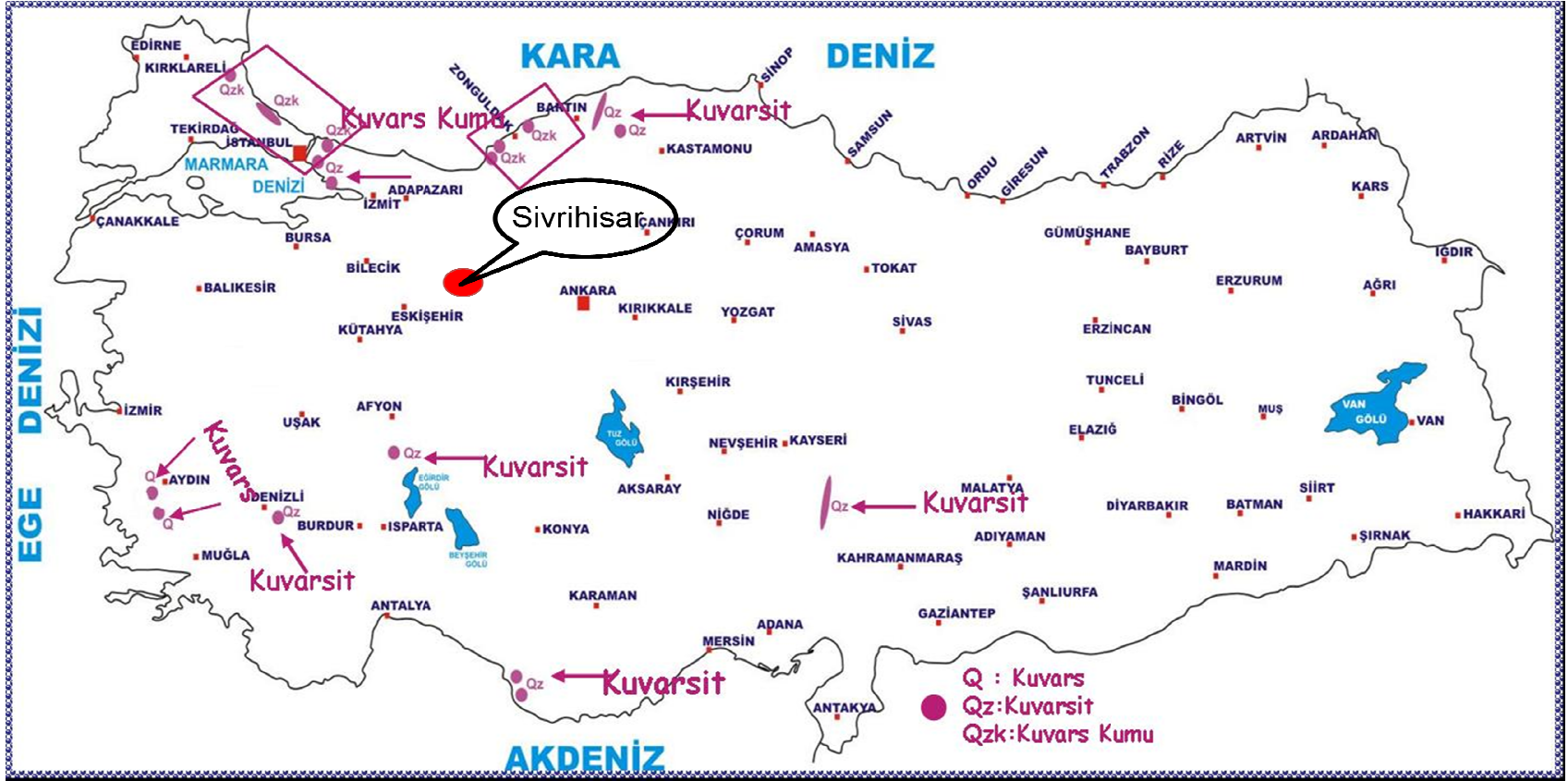
Bir beta kaynağından yayılan beta parçacıkları ve onun kaynak zırhı çevresindeki maddelerle etkileşimi sonunda oluşan fotonların enerjisi tam olarak ölçülemeyeceğinden soğrulan doz hesabının yapılması da oldukça güçtür. Bu nedenle, kullanılan beta kaynaklarının kalibrasyonunun mutlaka yapılması gerekmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında, Sivrihisar kaynaklı kuvars mineralinin lüminesans özellikleri ve beta kaynaklarının düşük radyasyon dozlarında ($\sim 500\text{mGy}$), kalibrasyonda kullanılabilme olanakları incelenecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Sivrihisar Kaynaklı Kuvars Örneği

Yapılan alışmada, Eskişehir'in Sivrihisar İlçesi'nden alınan süt kuvars rneği kullanılmıştır (şekil 4.2). Retrospektif dozimetrede genellikle radyasyon dozunun belirlenmesi, yapı malzemelerinde bulunan kuvars veya feldspar gibi lüminesans özelliği gösteren maddelerle yapılır. Kuvars, yapısında herhangi bir radyonüklit içermediği için özellikle geriye dönük dozimetre uygulamalarında tercih edilmektedir. Ayrıca bu çalışmada yapılacak olan beta kaynak kalibrasyonu işleminde kuvarsın, i dozunun olmayışı beta kaynağı ile ışınlamanın dışında örneğin yapısından kaynaklı radyasyon dozunu elimine edecektir. Çalışmada kullanılan Sivrihisar kuvars rneği Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği tarafından temin edilmiştir.

şekil 3.1'de MTA'nın (Maden Tetkik Arama) internet sitesinden alınan ve kuvarsın Türkiye'deki dağılımını gösteren harita bulunmaktadır. Haritada sadece büyük kuvars yataklarının olduğu bölgeler gösterilmiştir. Sivrihisar'dan alınan örneklerin yeri haritaya sonradan eklenmiştir.



Şekil 3.1 Kuvarsın Türkiye'deki dağılımı (http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/kuvars_kuvarsit.htm)

3.2 Örnek Hazırlamada Kullanılan Materyaller

3.2.1 Fırın

Kuvarsların kullanılmak üzere hazırlanması sırasındaki ısıtma işlemleri Protherm marka PLF 120/12 model elektrikli fırınla yapılmıştır. Fırın, Nikel-Krom alaşımli ısıtıcı elemanlar içermektedir. Isıtma işlemi sırasında sürekli olarak fırının sıcaklığı dijital olarak okunabilmektedir, maksimum 1200°C'ye ısıtma yapmaktadır ve sıcaklık hassasiyeti $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'dir. İstenilen maksimum sıcaklık ve ayarlanan sıcaklıktaki bekleme süresi ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.2 Fırın

3.2.2 Çeneli kırıcı

Sivrihisar kuvarslarına hiçbir işlem uygulanmadan önce oldukça büyük parçalar halinde getirilmiştir. Bu büyük parçaların kırılarak küçük boyutlu hale getirilmesi Baz Makina marka çeneli kırıcı ile yapılmıştır.



Şekil 3.3 Çeneli kırıcı

3.2.3 Elekler

Sivrihisar kuvars örneklerinin kimyasal işlemlerle temizlenmesinin ardından farklı tanecik boyutlarına ayrılmasında Retsch marka test elekleri kullanılmıştır. Laboratuvarında bulunan eleklerin boyutları 45 μm ile 250 μm arasında değişmektedir. Yapılan tez çalışmasında, 140 μm ve 200 μm 'lik elekler kullanılarak bu aralıkta kalan örnekler ölçümlerde kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Elekler

3.2.4 Ultrasonik banyo

Yapılan tez çalışmasında, örnekler kimyasal maddelerle temizlenmeleri sırasında İNTERSONİK marka ultrasonik banyoda tutulmuştur. 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

3.2.5 Manyetik karıştırıcı

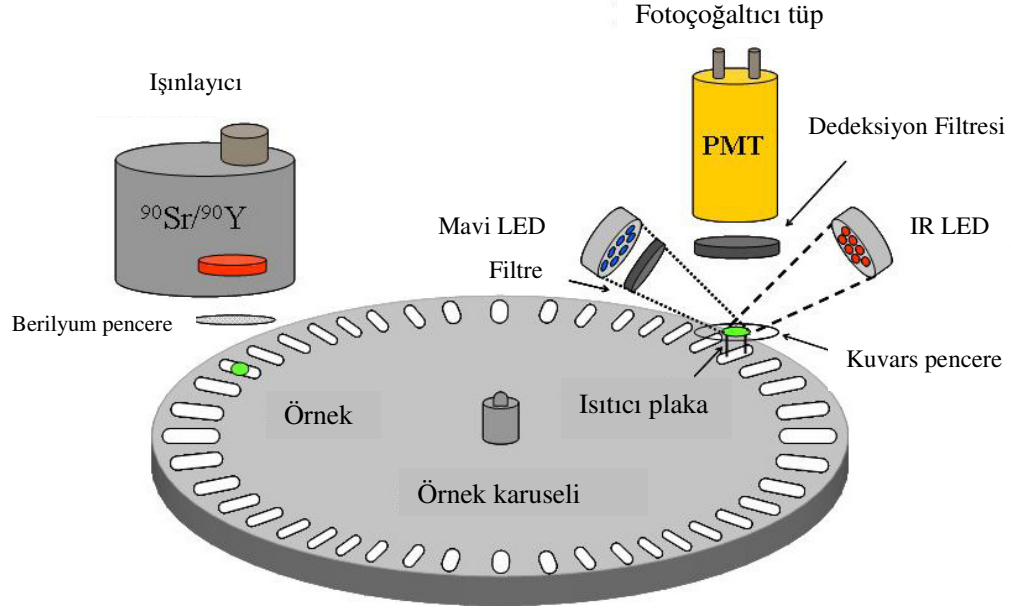
Farklı kimyasal maddeler kullanılarak temizlenen kuvars örneklerinin içinde en son bir miktar demir parçacıkları yer almaktadır. Bu demir parçacıklarının temizlenmesi amacıyla Heidolph MR Hei-Tec marka ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırıcı 300°C'ye kadar örneği ısıtabilme ve 500 rpm'ye kadar örneği karıştırma hızına sahiptir.



Şekil 3.6 Manyetik karıştırıcı

3.3 Lüminesans Ölçüm Sistemi

Ölçümler, Şekil 3.8’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 3.7).



Şekil 3.7 Risø TL/OSL okuyucunun şematik gösterimi

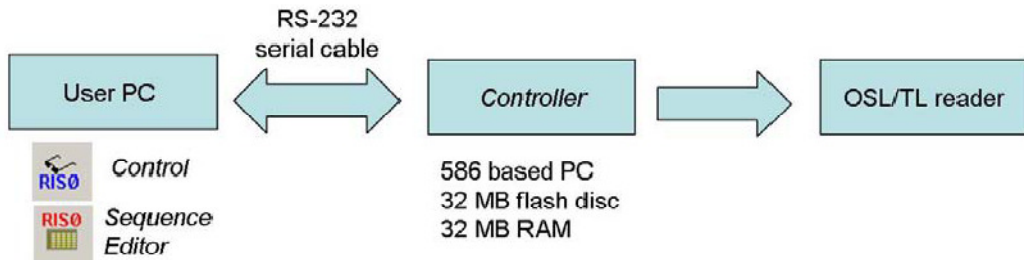
Risø TL/OSL otomatik ölçüm sistemi ile hem TL hem de OSL ölçümleri yapılabilmektedir. Işık dedeksiyon sistemi, fotoçöğaltıcı tüp ve uygun optik dedeksiyon filtresinden oluşmaktadır. Lüminesans uyarım sisteminde, optik uyarım ve ısıtma komponentleri bulunur. Bu iki komponent birlikte veya ayrı ayrı kullanılabilir. Sistemde birde dahili $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta ışınlama kaynağı bulunmaktadır. Sistemde bulunan örnek taşıyıcısına 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 3.8 Risø TL/OSL Sistemi

Risø TL/OSL Sistemi iki üniteden oluşur (Şekil 3.8):

- a) *Okuyucu ünitesi:* Şekil 3.8 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 3.8 b) ve örnekler için hazırlanan ölçüm parametrelerinin uygulanmasını sağlar. Yüksek voltajın uygulanması, vakum ortamının sağlanması, örnek taşıyıcının açılması ve kapanması kontrol ünitesi tarafından yapılmaktadır.



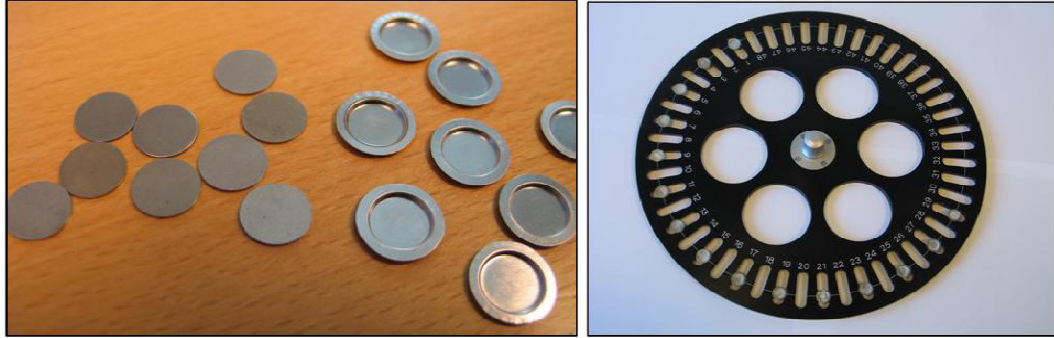
Sistem standart bir bilgisayara kurulan iki program ile çalışır. Bu programlardan ilki cihazın basit testlerini yapılmasını sağlayan CONTROL Programı, diğeri ise ölçüm

parametrelerinin her örnek için ayrı ayrı girilebildiği SEQUENCE EDITOR Programıdır.

3.3.1 Örnek taşıyıcı (karusel)

Örnek taşıyıcı (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 3.9 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.

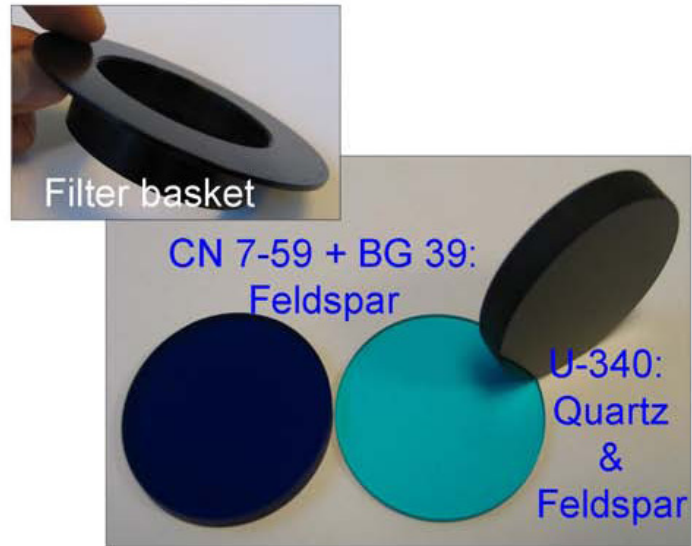
Risø TL/OSL okuyucu içindeki standart PMT'lerde bialkali EMI 9235QB tüp kullanılır ve maksimum dedeksiyon verimi 200 nm ile 400 nm arasındadır. Bu özelliği ile kuvars ve feldspatın lüminesans ölçümleri için uygundur. Sistemde örnek ile katot arasındaki mesafe 55 mm'dir ve dedeksiyon katı açısı yaklaşık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

3.3.2.2 Optik filtreler

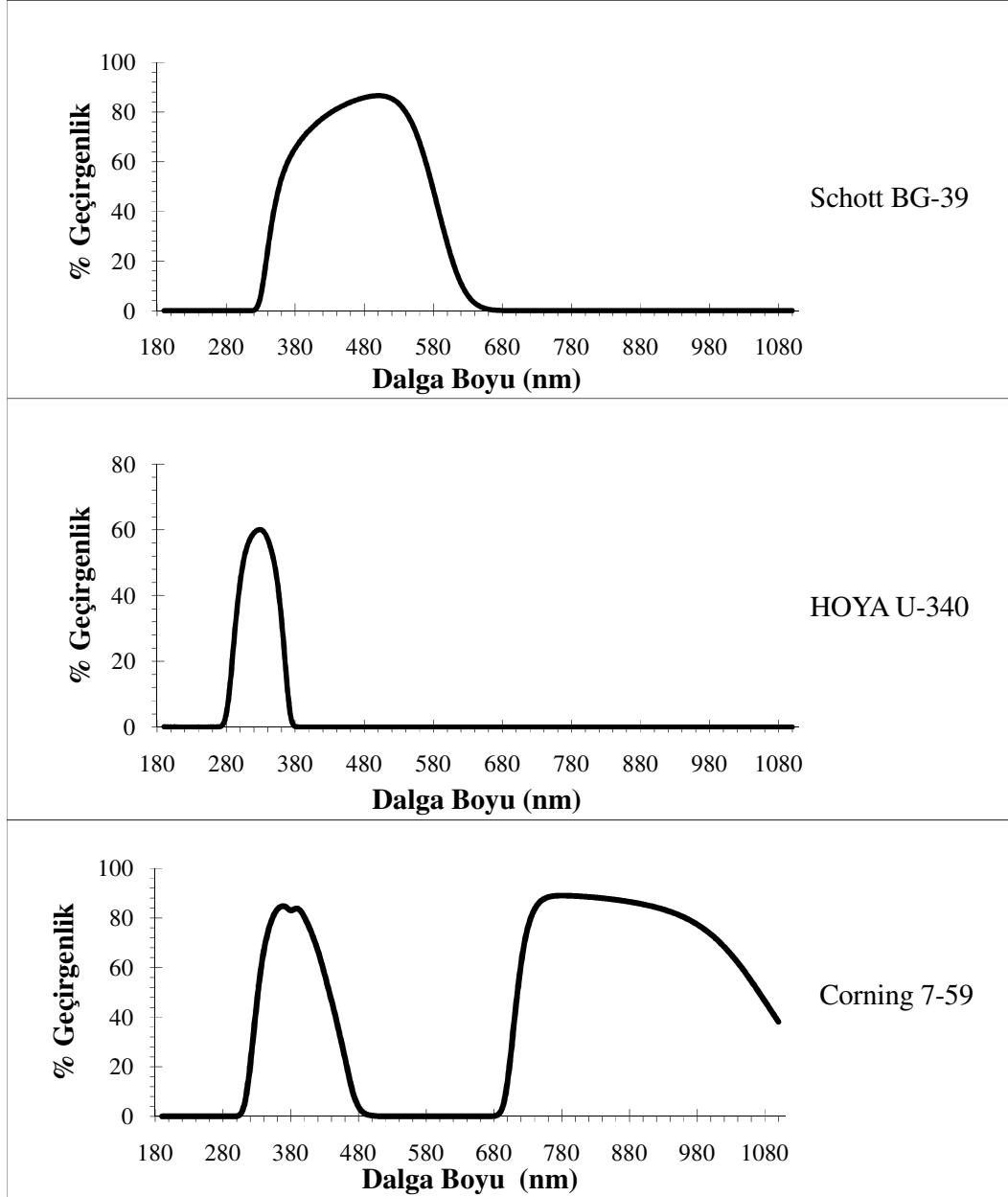
Uyarma ışığının şiddeti yayılan ışığın şiddetinden yaklaşık 10^{18} kat daha büyüktür. Bu nedenle yayılan lüminesansın ölçülebilmesi için, uyarımda kullanılan ışığın PMT'e ulaşımının uygun optik filtrelerle engellenmesi gerekir.

Risø TL/OSL Okuyucuda, aşağıdaki üç tip filtre kullanılmış ve bu filtrelerin geçirgenlik spektrumları Şekil 3.11 'de 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 3.10 Kullanılan optik filtreler



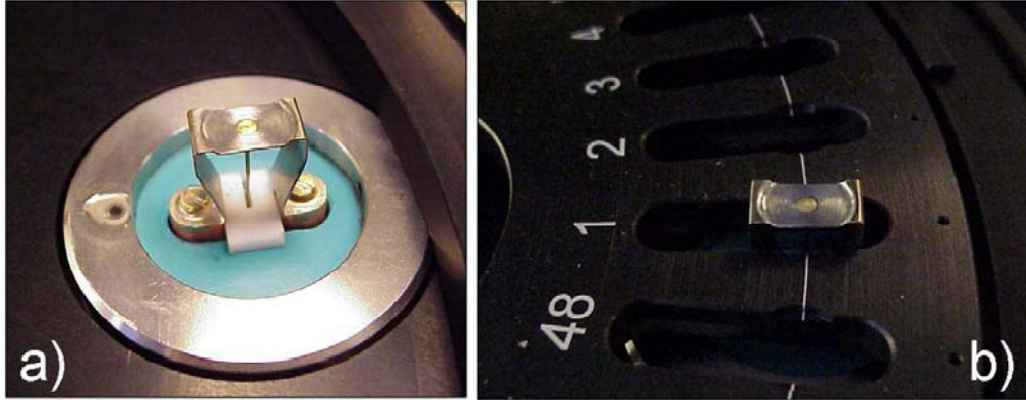
Şekil 3.11 RISØ TL/OSL okuyucuda kullanılan optik filtrelerin geçirgenlik spektrumları (Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü Optik Araştırma Laboratuvarı'ndaki UV-1800 model Shimadzu marka cihaz kullanılarak filtrelerin geçirgenliği 190-1100 nm dalga boyu aralığında incelenmiştir)

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 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.

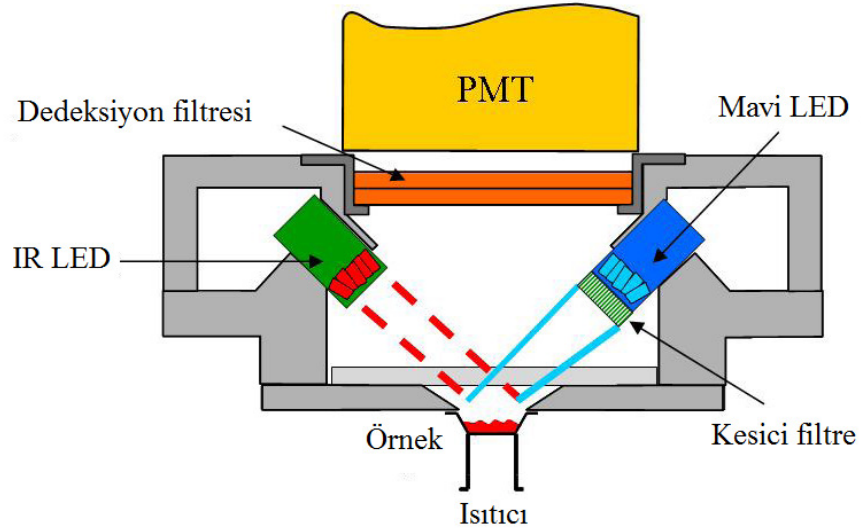


Şekil 3.12 a) Isıtıcının ölçüm pozisyonundaki resmi, b) Karuselinde yerleştirildiği a) ile aynı ısıtıcının resmi

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 *vd.* 2000) örneğin uyarılması için iki seçenek vardır: 1) IR LED (Işık Yayıncı Diyot): Üç grup halinde toplam 21 adet IR LED

bulunmaktadır. Toplam 21 LED'in maksimum gücü örnek pozisyonunda yaklaşık 145 mW/cm²'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/cm²'dir ve 470 nm dalga boyunda ışık yayar.



Şekil 3.13 OSL birimindeki IR ve mavi LED'i beraber gösteren şematik diyagram

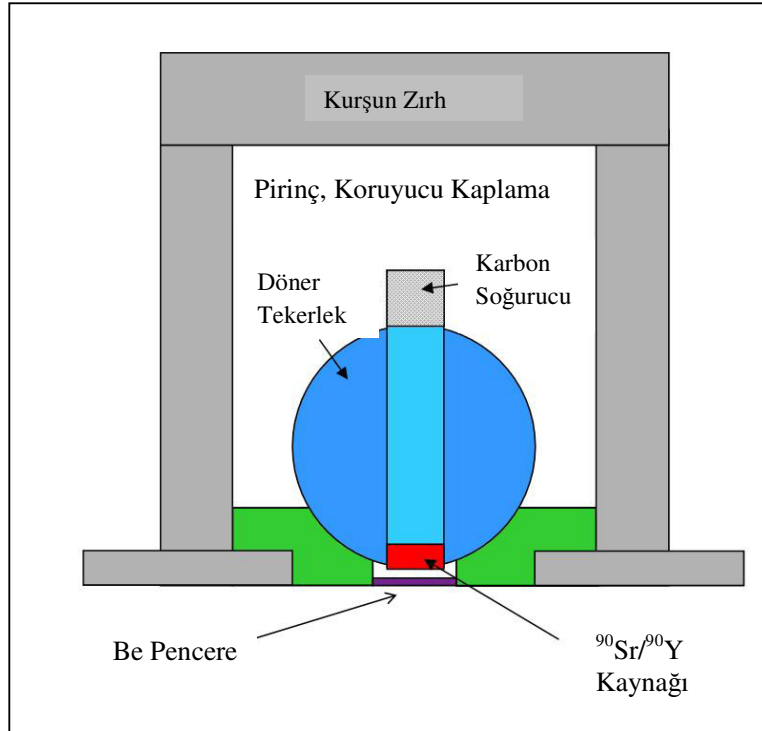
3.3.3.3 Referans ışık kaynağı

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 ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) 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

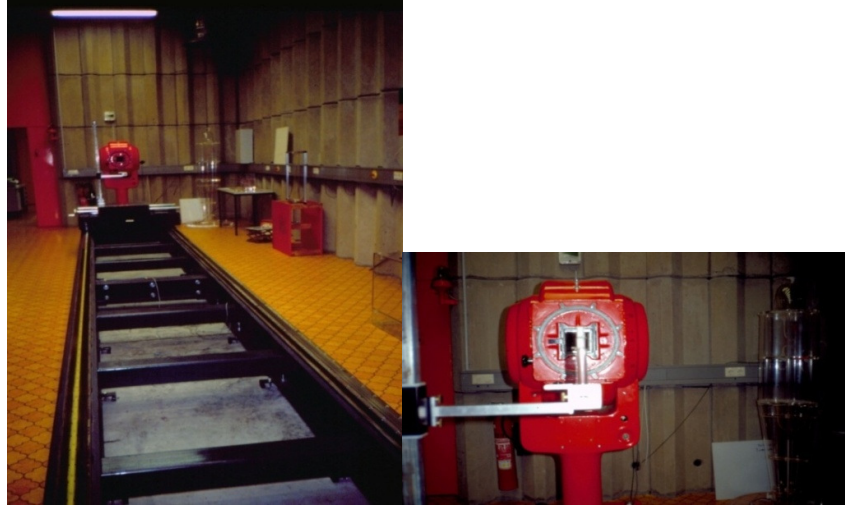
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ Beta ışınlayıcı örnek karuselinin üzerinde yer alır. Etrafında kurşun zırh bulunmaktadır. Kaynak maksimum enerjisi 2.27 MeV olan beta parçacıkları yayar. Yarı-ömrü 30 yıldır, aktivitesi 1.48 GBq'dir (40 mCi) ve kaynağın altında 7 mm mesafede tutulan bir kuvars örneğinin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



Şekil 3.14 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ Beta ışınlayıcı şematik diyagramı

3.4 Helmholtz Zentrum München (Almanya) ^{137}Cs Foton Işınlama Ünitesi

Almanya Helmholtz Centrum (GSF) İkincil Standart Dozimetre Laboratuvarı'nda (SSDL) bulunan ^{137}Cs foton kaynağı ile Sivrihisar kuvarsları ışınlanmıştır. Kaynak 37 TBq aktiviteye sahiptir. Kaynağın kurulu bulunduğu odanın boyutları 11 m x 4.5 m'dir. Örneklerin ışınlanması için kullanılan düzenek Bölüm 4.6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Helmholtz Zentrum München (Almanya) İkincil Standart Dozimetre Laboratuvarında (SSDL) bulunan ^{137}Cs foton kaynağı ışınlama sisteminin görünümü.

3.5 Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü ^{137}Cs Foton Işınlama Ünitesi

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde G10-2-12 ^{137}Cs Gama Işınlayıcı bulunmaktadır. Işınlama sistemi aktiviteleri 1.74 GBq (47 mCi) ve 317 GBq (8.57 Ci) olmak üzere iki kaynağa sahiptir. Kaynakların bulunduğu laboratuvarın boyutu 4 m x 7 m'dir. Kaynaklar odanın dışında yer alan, ışınlama süresi ve kaynak seçimine olanak sağlayan kontrol ünitesine sahiptir.



Şekil 3.16 Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde kurulmuş olan ^{137}Cs foton kaynağı ışınlama sistemi

3.6 Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü X-ışını Kalibrasyon Sistemi

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde bulunan VARIAN RAD-21 marka X-ışını tüpüne sahip kalibrasyon sistemi 40 kVp'den 150 kVp'ye kadar X-ışını üretmektedir. Sistemin bulunduğu laboratuvarın boyutu 5 m x 7 m'dir. Sistem, odanın dışında yer alan kontrol ünitesine sahiptir. Bu ünite yardımıyla X-ışını demetinin şiddeti (mA), ışınlama süresi (s) ve maksimum pik enerjisi (kVp) belirlenebilmektedir.



Şekil 3.17 Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde kurulmuş olan X-ışını kalibrasyon sistemi

4. BULGULAR

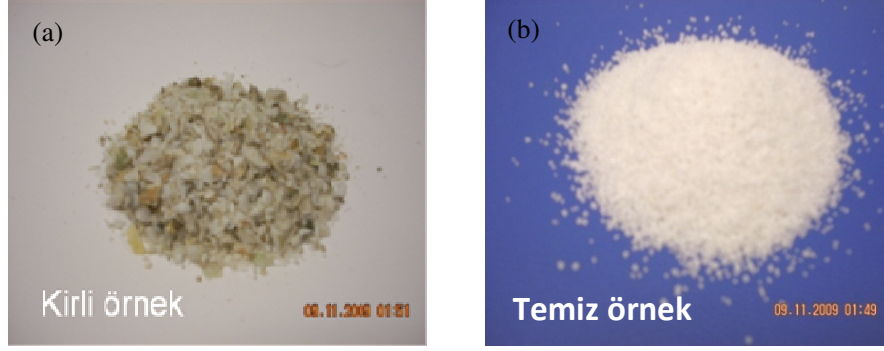
4.1 Sivrihisar Kuvars Örneklerinin Hazırlanması

Büyük parçalar halindeki Sivrihisar kuvars örnekleri, öncelikle çeneli kırıcıdan geçirilmiş ve küçük tanecik boyutlarına getirilmiştir. Kırılan kuvars örnekleri, farklı boyutlardaki elekler kullanılarak $\mu\text{m}<75$, $75<\mu\text{m}<150$, $150<\mu\text{m}<300$, $300<\mu\text{m}<850$, $850<\mu\text{m}<2000$ ve $2<\text{mm}<4$ tanecik boyutlarına ayrılmıştır.

$150<\mu\text{m}<300$ tanecik boyutundaki kuvars örnekleri yapılacak lüminesans ölçümlerinde kullanılmak için seçilmiştir. Bu örnekler, %1'lik HCl çözeltisi ile (etrafındaki CaCO_3 , kalsiyum karbonatın ve diğer yabancı maddelerin temizlenmesi için) bir saat ultrasonik banyo içinde yıkanmıştır. $140<\mu\text{m}<200$ boyutundaki elekler kullanılarak sulu eleme yapılmıştır. Böylece, $140<\mu\text{m}<200$ büyüklüğü dışındaki küçük parçacıklar iyice temizlenmiştir.

Temizlenen $140<\mu\text{m}<200$ büyüklüğündeki örneklerin içerisinde demir parçacıklarının kaldığı gözlenmiştir. Bu demir parçacıklarının temizlenmesi, genelde büyük mıknatıslar kullanılarak yapılmaktadır. Ancak, çalışmada kullanılacak kuvars içerisindeki demir parçacıklarını, laboratuvarda çözeltinin karıştırılması için kullanılan manyetik karıştırıcı ile temizlemek mümkün olmuştur.

Demir parçaları temizlenen kuvarslar 40.5°C 'de ön kurutma işleminden sonra 600°C 'de, 15 dakika tavlansmıştır. Böylece Sivrihisar kuvarsları ölçümlerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Bunlar, bu çalışma boyunca "doğal örnek" olarak adlandırılmışlardır.



Şekil 4.1 (a) Hazırlanmadan önce Sivrihisar kuvarısı (kirli örnek), (b) Hazırlandıktan sonra Sivrihisar kuvarısı (temiz örnek)

4.2 Doğal ve Yapay Radyonüklit Miktarları

Araziden toplanan ($x < 200 \mu\text{m}$, 6.72 gr) ve fiziksel ve kimyasal yöntemlerle temizlenen örneklerin ($90 < \mu\text{m} < 140$, 7.34 gr) içerdiği doğal ve yapay radyonüklit miktarları gama spektroskopisi ile ölçülmüştür. Ölçümler; Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Gama Spektroskopisi Laboratuvarı'nda Canberra marka %44.8 bağlı verimli HPGe kuyu tipi dedektör ile yapılmıştır. Araziden toplanan örneklerin içinde ^{210}Pb , ^{214}Pb (^{226}Ra), ^{137}Cs ve ^{40}K gibi radyoizotoplar gözlenmiştir ve aktivite değerleri Çizelge 4.1'de verilmektedir. Fiziksel ve kimyasal yöntemlerle temizlenen kuvars örneklerinde Çizelge 4.1'de verilen MDA (ölçülebilen en küçük aktivite) altında değerler elde edilmiştir. Bu nedenle de fiziksel ve kimyasal temizleme işlemlerinin yeterli olduğuna karar verilmiştir.

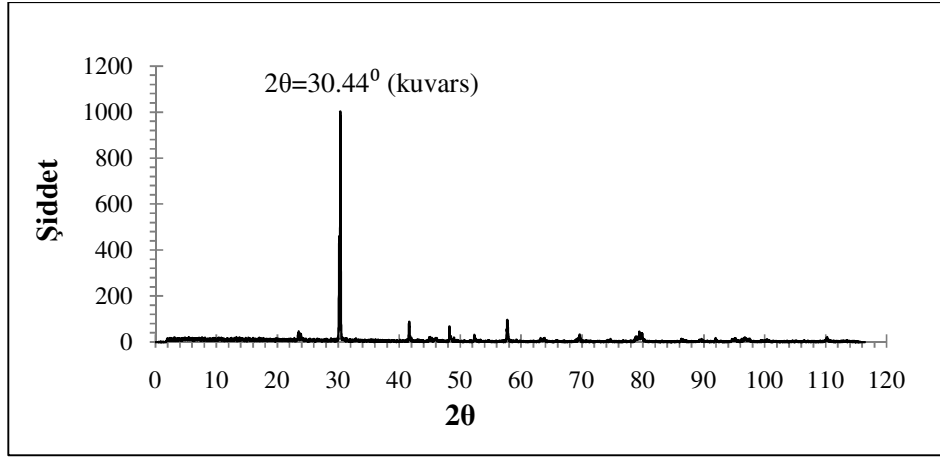
Çizelge 4.1 Araziden toplanan örneklere ait doğal ve yapay radyonüklit miktarları

<i>Radyonüklit</i>	<i>Enerji (keV)</i>	<i>MDA (Bq/kg)</i>	<i>Spesifik aktivite (Bq/kg)</i>	<i>ppm</i>
^{210}Pb	46.539	2.8	15.7 ± 0.7	1.27 ± 0.05
^{214}Pb (^{226}Ra)	295.213	1.0	2.6 ± 0.1	0.21 ± 0.01
	351.921	0.5	3.2 ± 0.1	0.26 ± 0.01
^{137}Cs	661.657	0.2	4.1 ± 0.1	1.26×10^{-9}
^{40}K	1,460.83	4.3	56.2 ± 1.5	0.18

Not: Fiziksel ve kimyasal yöntemlerle temizlenen örneklerde yukarıdaki izotopların hiç birine rastlanmamıştır (Ölçümler Prof.Dr. Haluk Yücel'in laboratuvarında yapılmıştır).

4.3 Örneğin X-ışını Kırınımı Analizi

Sivrihisar Kuvars örneği, lüminesans ölçümleri için hazır hale getirildikten sonra, içerisinde kuvars dışında herhangi farklı minerallerin kalıp kalmadığı X-ışını Kırınımı Yöntemi (XRD) kullanılarak kontrol edilmiştir. Bunun için; Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği XRD Analiz Laboratuvarı'nda yer alan Inel Equinox-1000 model X-ışını difraktometresi kullanılmıştır (XRD sistemi bakır tüpe sahiptir, X-ışını demetinin dalga boyu $\lambda = 1,542\text{\AA}$ 'dur, tüpe uygulanan voltaj 50kV). Fiziksel ve kimyasal yollarla temizlenen Sivrihisar kuvarlarına ait XRD grafiği Şekil 4.2'de görülmektedir.



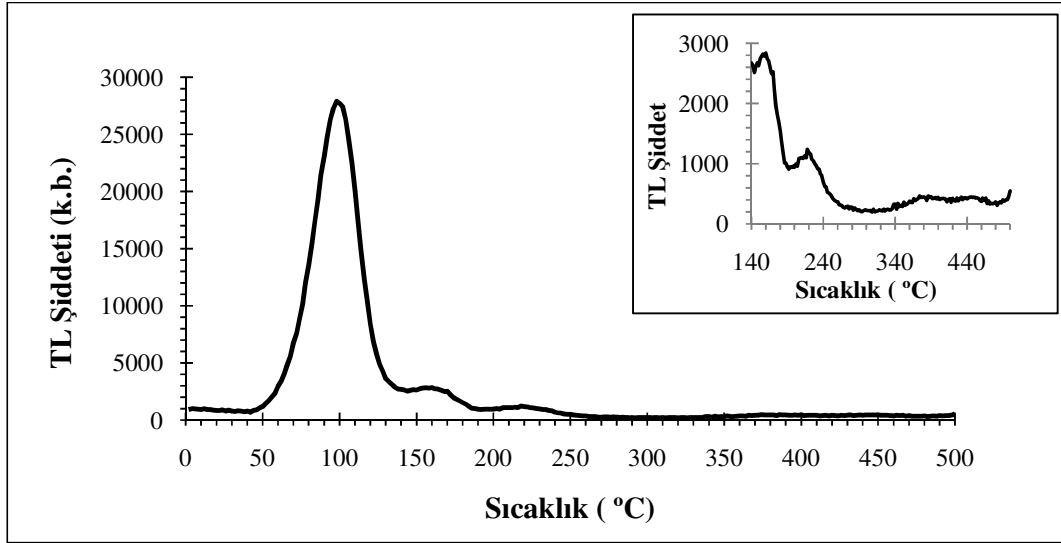
Şekil 4.2 Sivrihisar kuvarsının XRD grafiği (Ölçümler Prof.Dr. Yusuf Kaan Kadioğlu'nun laboratuvarında yapılmıştır)

4.4 Sivrihisar Kuvars Örneğinin Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi

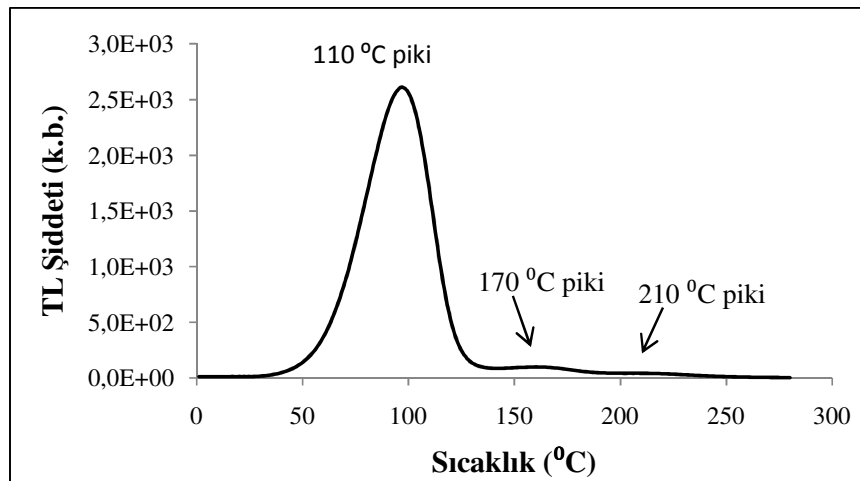
4.4.1 Işıma eğrisi

Bölüm 4.1'de anlatıldığı gibi lüminesans ölçümlerinde kullanılmak üzere hazırlanan $140\mu\text{m}<200$ tanecik boyutundaki Sivrihisar kuvars örneklerinin ışıma eğrisinin elde edilmesi amacıyla, çapları 9 mm olan paslanmaz çelik örnek kapları içine homojen olarak dağıtılmıştır. Hazırlanan örnek kapları karusele yerleştirilmiştir. Örnekler ~5 Gy radyasyon dozu verilerek ön ısıtma yapılmadan maksimum 500°C'ye 5°C/s ile ısıtılmış ve ışıma eğrileri elde edilmiştir (Şekil 4.3). Buna göre, 110°C, 170°C, 210°C, 375°C ve

430°C’de beş tepe gözlenmiştir. Ancak, yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça (280°C üstüne) örneklerin hassasiyetinde ısıya bağlı değişim meydana geldiği için, Sivrihisar kuvarsları beta kaynak kalibrasyonu yapılırken maksimum 280°C’ye kadar ısıtılmıştır. Sivrihisar kuvarslarının ön ısıtma yapılmadan 5°C/s ısıtma hızı ile maksimum 280°C’ye kadar ısıtıldığında elde edilen ışımaya eğrisi Şekil 4.4’te gösterilmiştir, bu işlemde örneklere ~500 mGy radyasyon dozu verilmiştir.

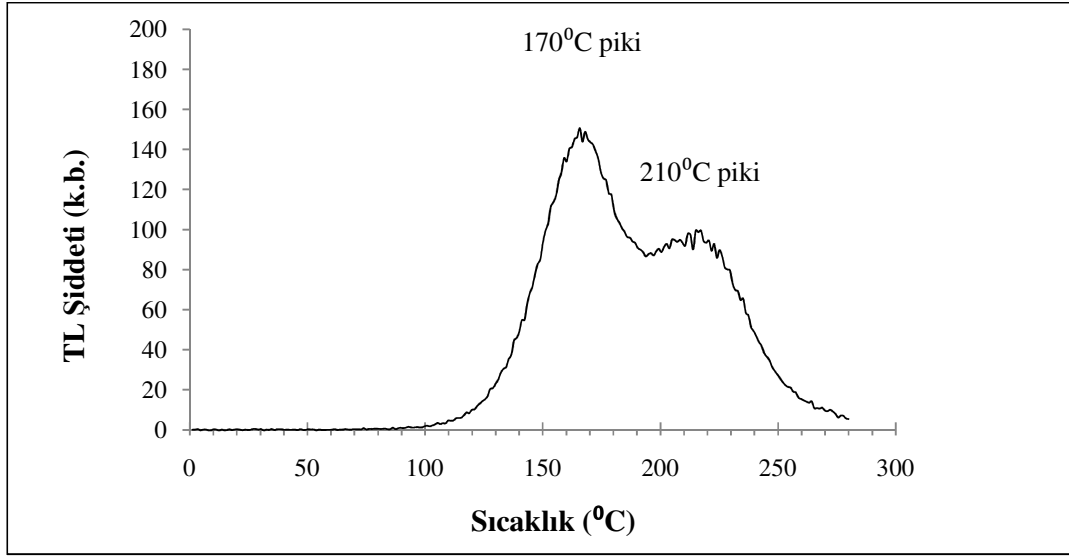


Şekil 4.3 5 Gy radyasyon dozu verilen Sivrihisar kuvarslarının 500°C’ye 5 °C/s ile ısıtılarak elde edilen ışımaya eğrisi (ön-ısıtma yapılmamıştır)



Şekil 4.4 500 mGy radyasyon dozu verilen Sivrihisar kuvarslarının 280°C’ye 5 °C/s ile ısıtılarak elde edilen ışımaya eğrisi (ön-ısıtma yapılmamıştır)

Şekil 4.4'te 280°C'ye kadar ısıtılan Sivrihisar kuvars örneklerinin 110°C, 170°C ve 210°C'de üç adet ışım tepesinin bulunduğu görülmüştür. 110°C'deki tepenin ömrü oldukça kısa olduğundan 140°C'de ön ısıtma yapılarak elde edilen ışım eğrisinde 170°C ve 210°C tepeleri açıkça görülmektedir (Şekil 4.5).



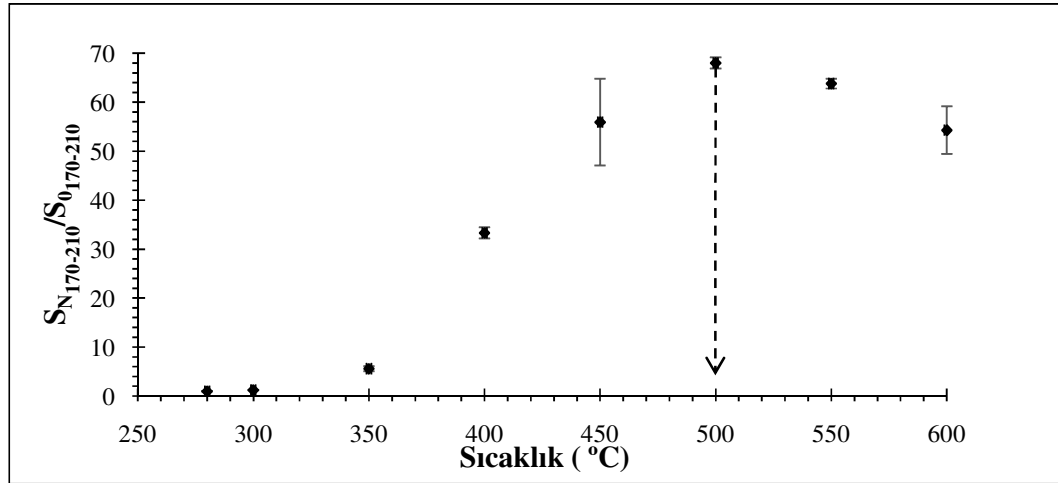
Şekil 4.5 500 mGy radyasyon dozu verilen Sivrihisar kuvarasının 280°C'ye 5 °C/s ile ısıtılarak elde edilen TL ışım eğrisi (140°C'ye 2°C/s ile ısıtılarak ön-ısıtma yapılmıştır)

4.4.2 Termal aktivasyonunun incelenmesi

Sivrihisar kuvaralarının termal aktivasyonunun incelenmesinde, $140 < \mu\text{m} < 200$ tanecik boyutunda 24 adet örnek kullanılmıştır. Ölçümlerde 7-59 ve BG-39 optik filtreleri birlikte kullanılmıştır, kullanılan ölçüm prosedürü Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Elde edilen verilerde, 170°C ve 210°C tepelerinin toplam alanı kullanılmıştır. Farklı sıcaklıklara ısıtılan örneklerden elde edilen toplam TL şiddetlerinin ($S_{N(170-210)}$), ilk ölçümde (Run 1) elde edilen toplam TL şiddetine ($S_{0(170-210)}$) oranına bakılarak ısıtma ve radyasyon dozu uygulandıktan sonra örneğin TL şiddetindeki değişime bakılmıştır.

Çizelge 4.2 Termal aktivasyonun incelenmesinde uygulanan işlemler

Örnek numarası	Run No	Uygulanan işlem
1-24	1	Beta, 2 s
1-24		TL, 140°C, 2°C/s (ön-ısıtma)
1-24		TL, 280°C, 5°C/s
1-24	2	Beta, 40 s
1-3	3	TL, 280°C, 5°C/s
4-6		TL, 300°C, 5°C/s
7-9		TL, 350°C, 5°C/s
10-12		TL, 400°C, 5°C/s
13-15		TL, 450°C, 5°C/s
16-18		TL, 500°C, 5°C/s
19-21		TL, 550°C, 5°C/s
22-24		TL, 600°C, 5°C/s
1-24		4
1-24	TL, 140°C, 2°C/s (ön-ısıtma)	
1-24	TL, 280°C, 5°C/s	



Şekil 4.6 Farklı ısıtma sıcaklıklarında elde edilen TL şiddetinin ilk okumaya göre oranı

Şekil 4.6'te görüldüğü gibi sıcaklığa bağlı maksimum hassasiyet artışı 500°C'de gözlenmiştir.

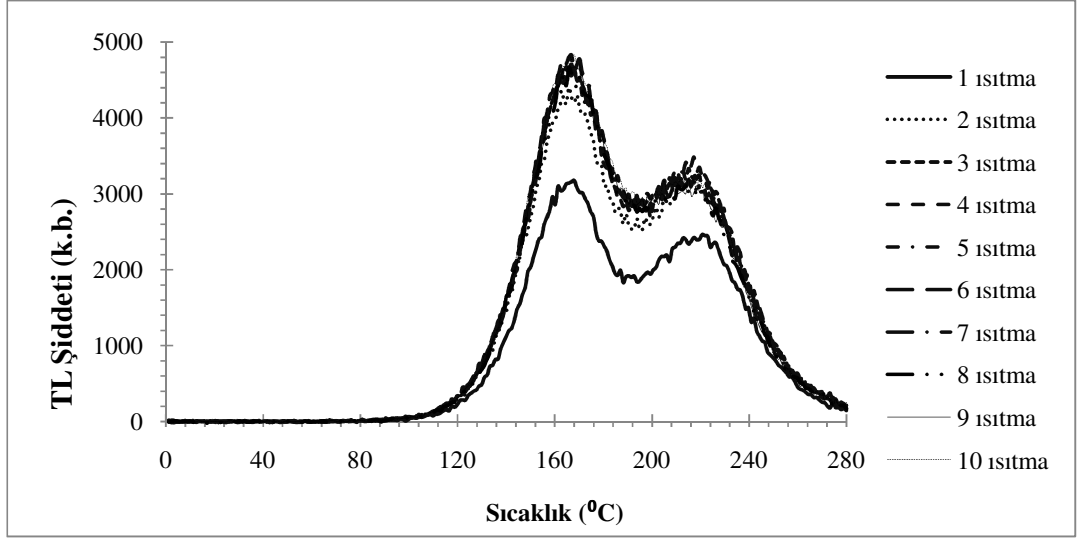
4.4.3 TL veriminin arttırılması

Bölüm 4.4.2'de bahsedildiği üzere termal aktivasyonun incelenmesi sonunda 170°C ve 210°C'de gözlenen TL tepelerinin 500°C'de en yüksek TL verimine ulaştığı (Şekil 4.6) gözlendikten sonra 500°C'ye ısıtma işlemi 10 kez tekrarlanmıştır (Çizelge 4.3). Bu işlem ile TL şiddetinin kaç kez bu işlemin tekrarlanması ile kararlı hale geldiği incelenmiştir.

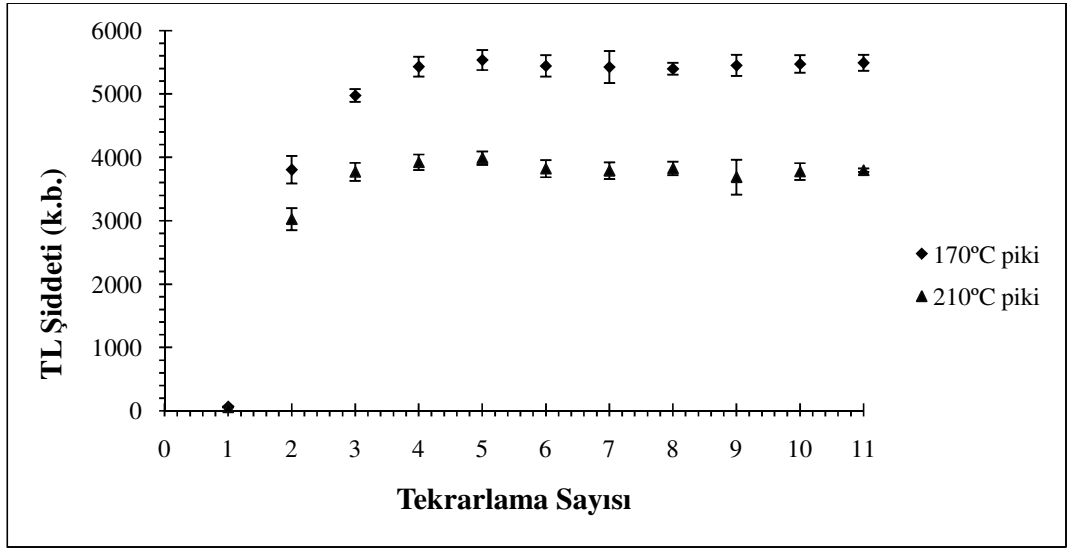
Çizelge 4.3 Örneklerin TL veriminin arttırılması için uygulanan işlemler

Örnek numarası	Run No	Uygulanan işlem
1-3	1	Beta, 2 s
		TL, 140°C, 2°C/s (ön-ısıtma)
		TL, 280°C, 5°C/s
	2	Beta, 40 s
		TL, 500°C, 5°C/s
	3	Beta, 2 s
		TL, 140°C, 2°C/s (ön-ısıtma)
		TL, 280°C, 5°C/s

Elde edilen verilere göre, Sivrihisar kuvarslarının 500°C'ye 3. kez ısıtılmasının ardından TL şiddeti kararlı hale gelmiştir. Şekil 4.7'de tekrarlanan ısıtımlarda elde edilen ışıma eğrileri görülmekte ve Şekil 4.8'de 170°C ve 270°C tepelerinin artışı gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Art arda 10 kez 500°C'ye ısıtma ile elde edilen ısıtma eğrileri

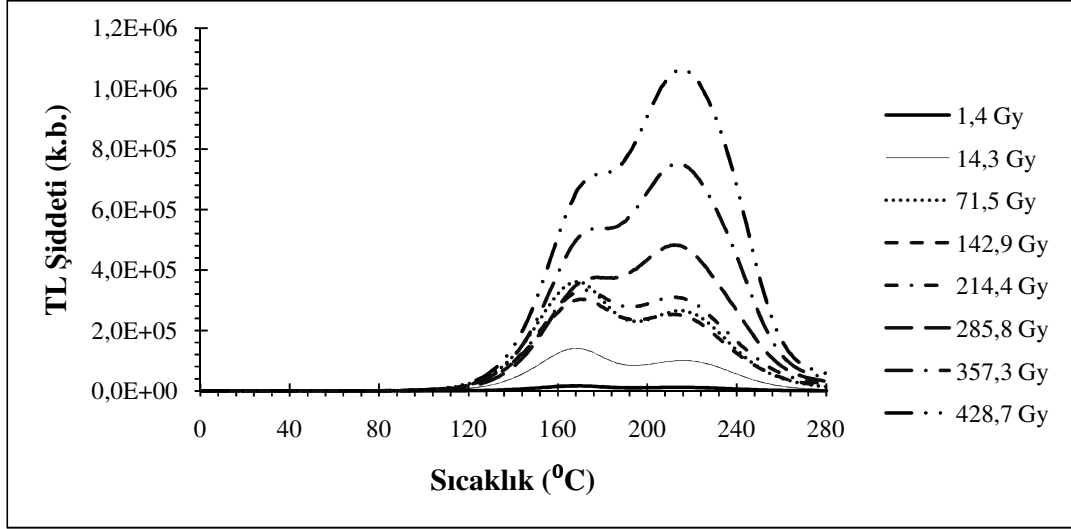


Şekil 4.8 Ardarda 10 kez 500°C'ye ısıtma ile elde edilen TL şiddetinin değişimi

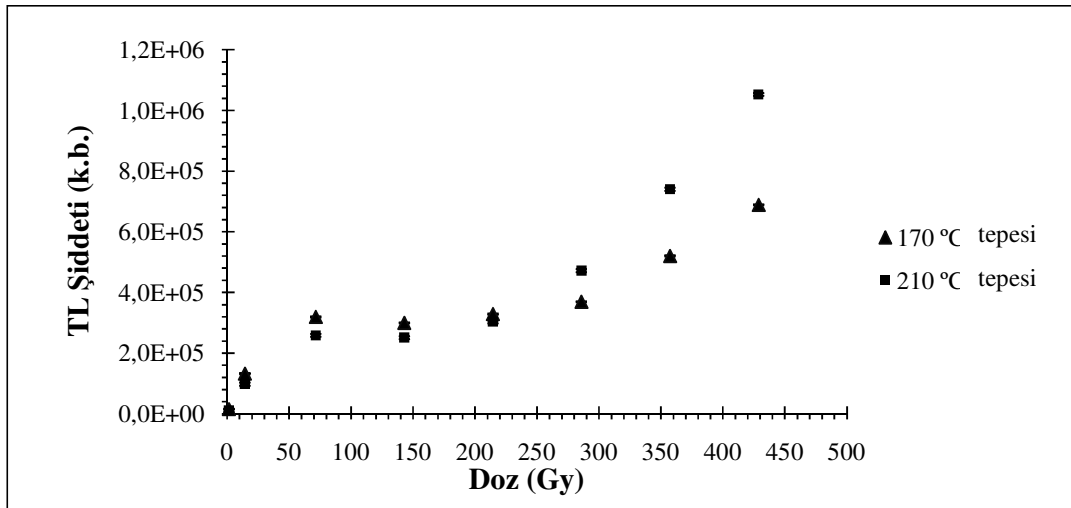
4.4.4 Radyasyon dozu cevabı

TL verimi arttırılmış Sivrihisar Kuvars örneklerinin radyasyon doz cevabının belirlenmesi amacıyla örnekte soğurulan doz ile elde edilen TL sinyal şiddeti arasındaki ilişki incelenmiştir. Bunun için kuvars örneklerine 1.4 Gy'den 428.7 Gy'e kadar artan radyasyon dozları ile ışınlama yapılmıştır. Işınlamada RISØ TL/OSL sisteminde dahili olarak bulunan ^{90}Sr beta kaynağı kullanılmıştır.

Şekil 4.9’da artan radyasyon dozu ile elde edilen ışıma eğrileri görülmektedir. Burada görüldüğü gibi 170°C ve 210 °C’de iç içe geçmiş iki pik görülmektedir. Bu iki pike ait doz cevapları Şekil 4.10’da yer alan grafikte görülmektedir. Görüldüğü gibi yaklaşık 70 Gy’lik radyasyon dozunun uygulanmasının ardından 170 °C tepesi doyuma ulaşmıştır.



Şekil 4.9 Sivrihisar kuvars örneklerinin farklı radyasyon dozları ile ışınlanması sonucu elde edilen ışıma eğrileri



Şekil 4.10 Sivrihisar kuvarının 170°C ve 210°C gözlenen piklerinin farklı radyasyon dozları ile ışınlanmasının ardından elde edilen TL şiddetlerindeki değişim

4.4.5 İzotermal azalım yöntemi ile tuzak parametrelerinin belirlenmesi

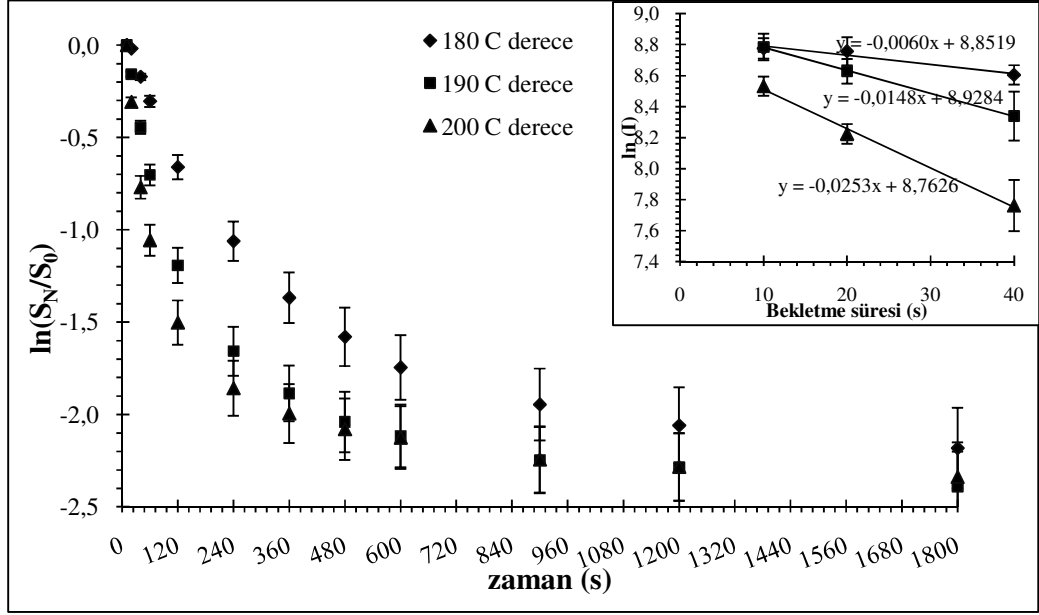
Bölüm 2.3.4'de bahsedildiği gibi ışıma şiddeti $I(t)$ zamana karşı eksponansiyel azalım göstermektedir. Sivrihisar kuvars örnekleri 10 s ile 1800 s arasında değişen sürelerle 180°C, 190°C ve 200°C'de bekletilerek TL şiddetinin değişimi gözlenmiştir. Buradan elde edile farklı bekletme sıcaklıklarındaki azalımın eğimi kullanılarak aktivasyon enerjisi (E) hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4 İzotermal bozunum yöntemiyle tuzak parametrelerinin belirlenmesi için uygulanan ölçüm işlemlerinin sırası

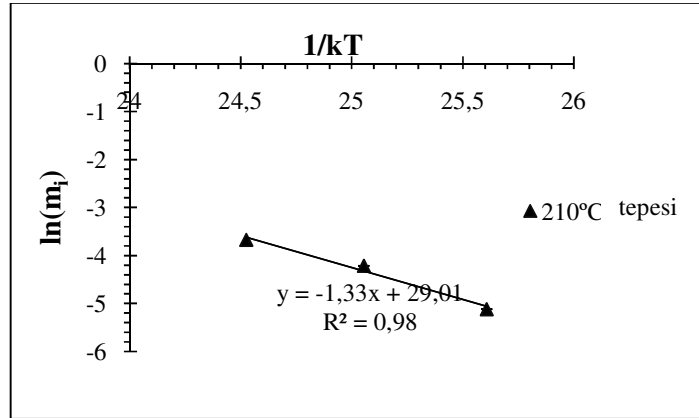
Örnek Numarası	Run1 (180°C'de farklı sürelerde bekleme)	Run2 (190°C'de farklı sürelerde bekleme)	Run3 (200°C'de farklı sürelerde bekleme)
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 10 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 10 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 10 s
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 20 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 20 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 20 s
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 40 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 40 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 40 s
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 60 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 60 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 60 s
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 120 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 120 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 120 s
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 240 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 240 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 240 s

Çizelge 4.4 (devam) İzotermal bozunum yöntemiyle tuzak parametrelerinin belirlenmesi için uygulanan ölçüm işlemlerinin sırası

1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 360 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 360 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 360 s
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 480 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 480 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 480 s
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 600 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 600 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 600 s
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 900 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 900 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 900 s
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 1200 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 1200 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 1200 s
1-3	Beta 7 s	Beta 7 s	Beta 7 s
1-3	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s	Ön-ısıtma 170°C, 2 °C/s
1-3	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 180 °C, bekleme 1800 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 190 °C, bekleme 1800 s	TL 500 °C, 5 °C/s, ön-ısıtma 200 °C, bekleme 1800 s



Şekil 4.11 Sivrihisar kuvarşının 180°C, 190°C ve 200°C’de farklı sürelerde bekletilerek elde edilen TL şiddetindeki eksponansiyel azalış ve 10 s, 20 s ve 40 s bekletilmesi ile elde edilen değerlerden hesaplanan eğri denklemleri



Şekil 4.12 Farklı bekleme sıcaklıkları ve süreleri ile elde edilen denklem eğimlerinin (m_i) logaritmik değişiminden elde edilen eğiminin hesaplanması

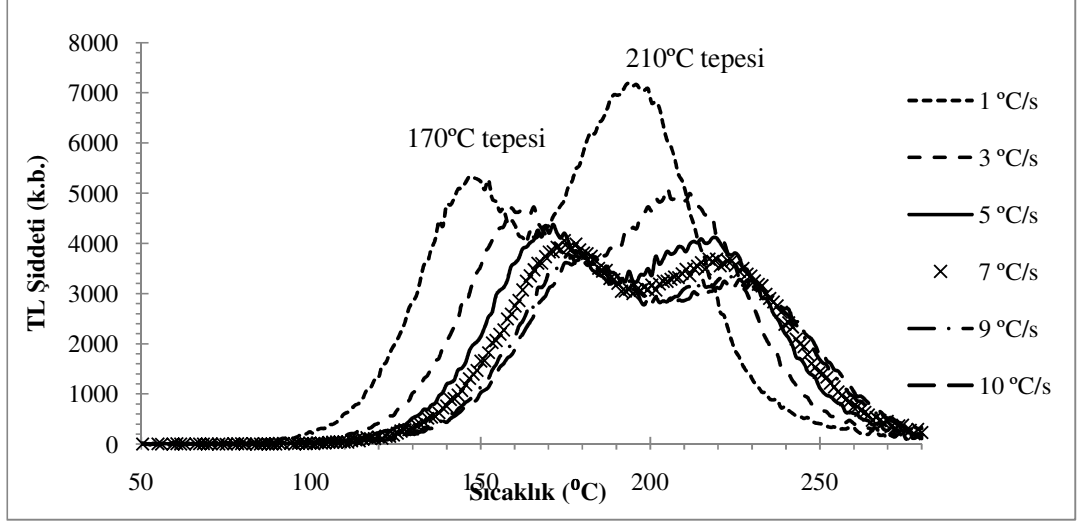
4.4.6 Farklı ısıtma hızlarına dayanan yöntem ile tuzak parametrelerinin belirlenmesi

Bölüm 2.3.3’te bahsedildiği gibi ısıtma hızının artmasıyla tepe maksimum sıcaklığı yüksek sıcaklıklara doğru kayar (Şekil 4.13). Burada; Eşitlik 2.17’den yararlanarak

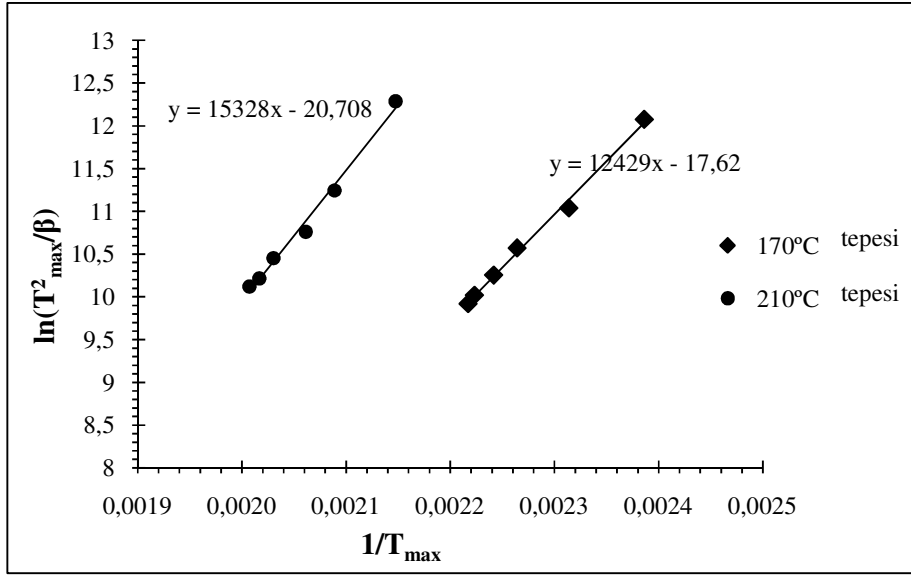
farklı ısıtma sıcaklıklarında maksimum tepe sıcaklığındaki şiddet değerleri kullanılarak tuzak parametreleri elde edilmiştir (Şekil 4.14).

Çizelge 4.5 Farklı ısıtma hızları ile tuzak parametrelerinin belirlenmesi için uygulanan ölçüm işlemlerinin sırası

<i>Örnek Numarası</i>	1-3
<i>Run 1</i>	TL, 500°C, 5 °C/s
<i>Run 2</i>	Beta 4 s
	TL, 140°C, 2 °C/s (ön-ısıtma)
	TL, 280°C, 1 °C/s
<i>Run 3</i>	Beta 4 s
	TL, 140°C, 2 °C/s (ön-ısıtma)
	TL, 280°C, 3 °C/s
<i>Run 4</i>	Beta 4 s
	TL, 140°C, 2 °C/s (ön-ısıtma)
	TL, 280°C, 5 °C/s
<i>Run 5</i>	Beta 4 s
	TL, 140°C, 2 °C/s (ön-ısıtma)
	TL, 280°C, 7 °C/s
<i>Run 6</i>	Beta 4 s
	TL, 140°C, 2 °C/s (ön-ısıtma)
	TL, 280°C, 9 °C/s
<i>Run 7</i>	Beta 4 s
	TL, 140°C, 2 °C/s (ön-ısıtma)
	TL, 280°C, 10 °C/s



Şekil 4.13 Farklı ısıtma hızları kullanılarak elde edilen ışıtma eğrileri

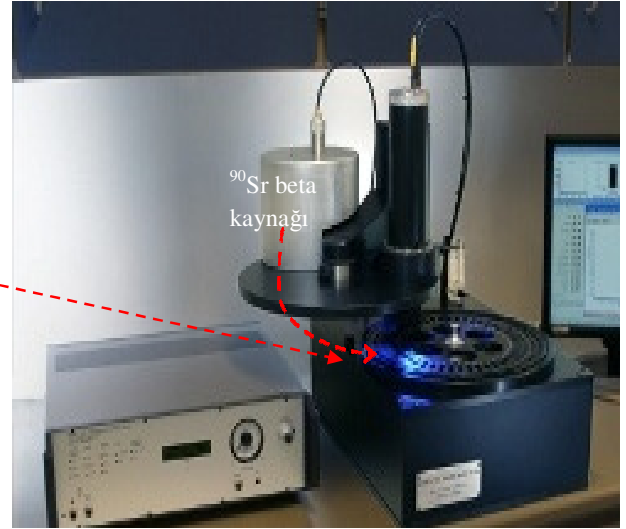
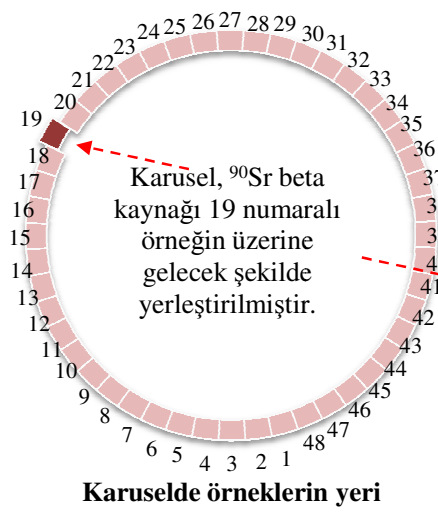


Şekil 4.14 Farklı ısıtma hızları kullanılarak farklı sıcaklık tepeleri için elde edilen grafikteki denklemlerin eğimi ile aktivasyon enerjisinin hesaplanması

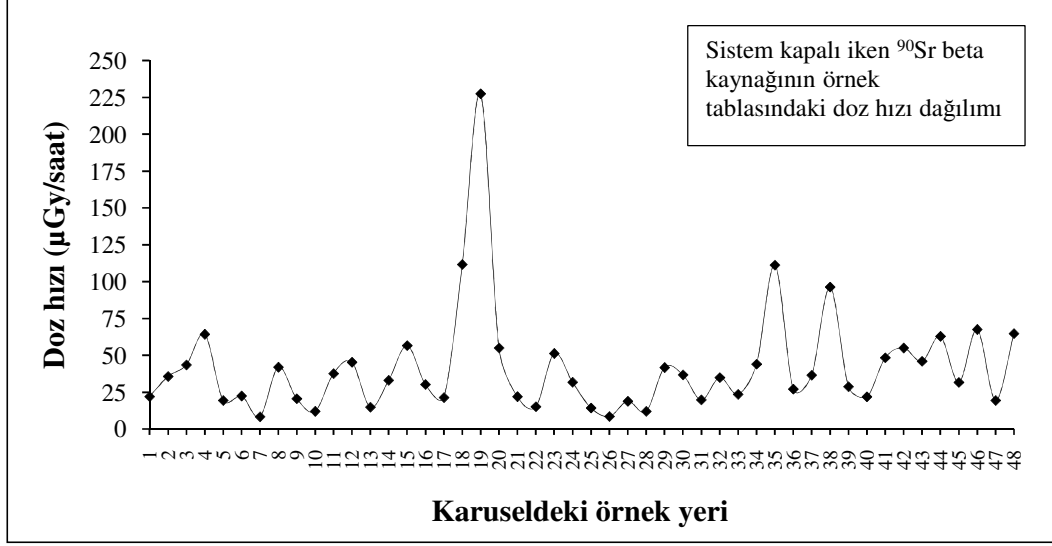
4.5 Değişik Örnek Pozisyonlarında ⁹⁰Sr Beta Kaynağı Kapalıyken Saçılan Fotonlardan Kaynaklanan Doz Hızının Belirlenmesi

RISØ TL/OSL DA-20 Sistemi, içinde örneklere radyasyon dozunun verilmesi amacıyla dahili bir ⁹⁰Sr beta kaynağı içermektedir. Örneğe radyasyon dozunun verilmediği sırada da örnekler yer değiştirme sırasında kaynak altından geçeceğinden üzerine bir miktar

radyasyon dozu ulaşacaktır. Beta kaynağının kalibrasyonunda dikkat edilmesi gereken noktalardan biride bu radyasyon dozunun miktarını bilmek ve ölçümlere etkisini belirlemektir. Bu radyasyon dozunun, yapılan ölçümleri etkileyip etkilemediğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, sistem kapalı durumda iken beta kaynağının tam altındaki noktaya ve karuseldeki diğer tüm örnek yerlerine kuvars örneği yerleştirilerek saatteki radyasyon dozu belirlenmiştir. Şekil 4.15'te görüldüğü gibi karuseldeki 19 numaralı örnek ^{90}Sr beta kaynağının tam altına gelecek şekilde toplam 48 adet kuvars örneği yerleştirilmiştir. Bu 48 örnek, 50 saat boyunca aynı düzende bekletilmiştir.



Şekil 4.15 ^{90}Sr beta kaynağı kapalı durumdayken saçılan fotonlardan kaynaklanan doz hızının saptanması



Şekil 4.16 Sistem kapalı durumdayken karuseldeki farklı örnek konumlarına yerleştirilen kuvars örneklerinden edilen doz hızı değerleri

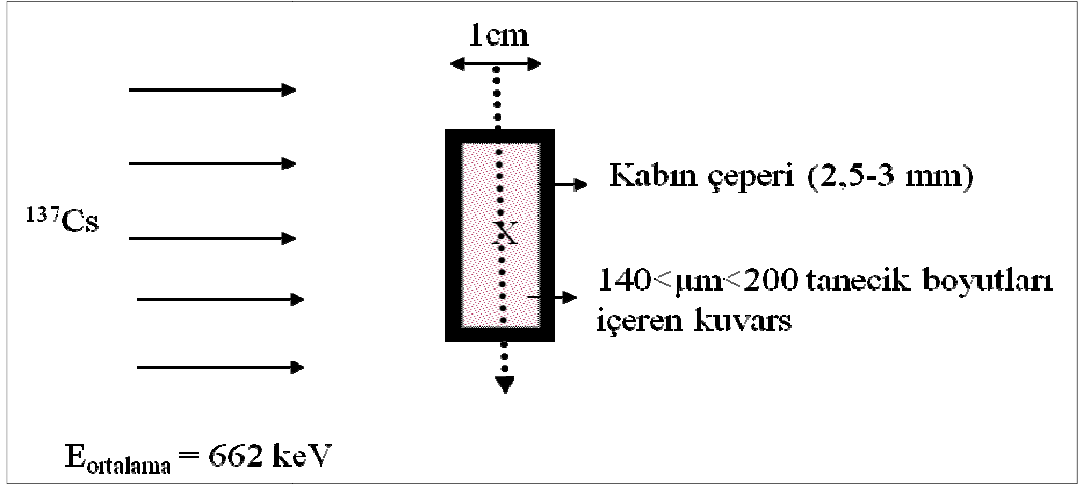
4.6 ^{90}Sr Beta Kaynağının Kalibrasyonu

4.6.1 Sivrihisar kuvarslarının foton kaynağı ile ışınlanması

Sivrihisar Kuvars örneklerinin ^{137}Cs foton kaynağı ile ışınlanması, İkincil Standart Dozimetre Laboratuvarı (SSDL) olan Hermholtz Centrum München-Almanya'da yaptırılmıştır.

Burada sadece 600°C 'de 15 dakika ısıtılmış fakat hassaslaştırılmamış örnekler kullanılmıştır. $140 < \mu\text{m} < 200$ büyüklüğündeki örnekler çeperi 3 mm kalınlığında olan kuvars kap içine yerleştirilmiştir. Kabın etrafı siyah kaplanmıştır.

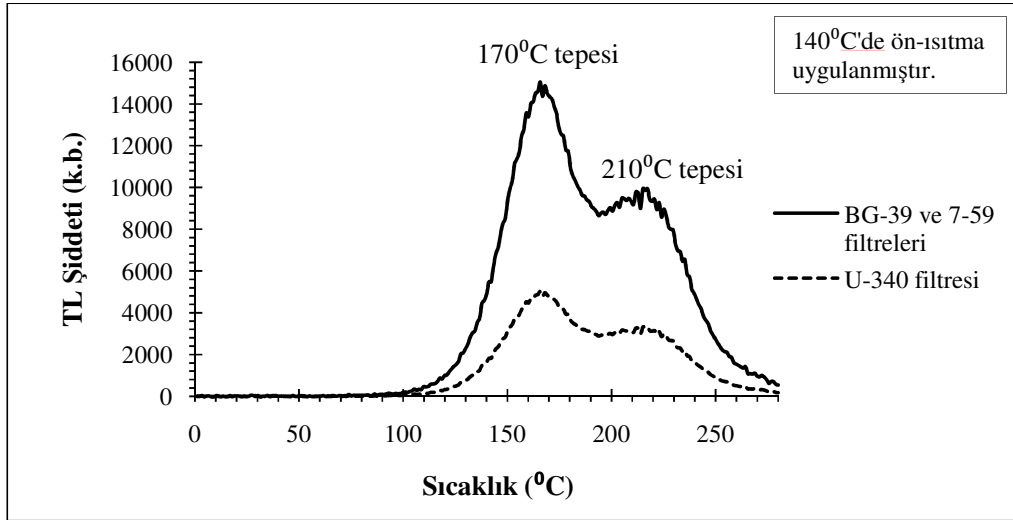
Işınlama için hazırlanan örnekler kaynaktan 1 metre mesafeye yerleştirilmiştir. Örnek içerisinde homojen doz dağılımının elde edilmesi amacıyla ışınlama sırasında örnekleri taşıyan kap, ışın huzmesi önünde 180° çevrilerek iki aşamada yapılmıştır. Toplamda 491 mGy'lik radyasyon dozu örneğe verilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Örneklerin foton kaynağı ile ışınlanmasında kurulan düzenek

4.6.2 Farklı optik filtreler ile ışınma eğrilerinin elde edilmesi

TL ölçümü alınırken örneğin ısıtılmasıyla elde edilen farklı dalga boylarındaki TL sinyalinin dışında, ısıtmadan kaynaklı meydana gelen kara cisim ışınması ve diğer saçılmalardan ileri gelen ışığın PM tüpe erişimini engellemek amacı ile U-340, BG-39, 7-59 optik filtreleri kullanılmıştır. Farklı filtrelerin kullanılmasıyla elde edilen ışınma eğrileri Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18 Sivrihisar kuvarsının farklı optik filtreler kullanılarak elde edilen ışınma eğrileri

4.6.3 Farklı optik filtreler ile ⁹⁰Sr beta kaynağının kalibrasyonu

⁹⁰Sr beta kaynağının doz hızının belirlenmesinde 140<μm<200 büyüklüğündeki Sivrihisar kuvars örnekleri kullanılmıştır. ¹³⁷Cs foton kaynağı ile ışınlanmış 10 adet örnek (1-10 numaralı) TL ölçümleri için kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan doğal örneklerin yüksek doz ve sıcaklıklarda hassasiyetinin değişmesini engellemek amacıyla örnekler 280°C'ye kadar ısıtılmıştır. 280°C'de meydana gelebilecek sıcaklığa bağlı hassasiyet değişiminin belirlenmesi ve düzeltilebilmesi amacıyla 10 adet hiç radyasyon dozu verilmemiş (11-20 numaralı) örnek kullanılmıştır. Ölçümler iki ayrı filtre kombinasyonu ile (1. BG-39 ve 7-59, 2. U-340) tekrarlanmıştır. Böylece kullanılan filtrenin kaynak kalibrasyonuna etkisi gözlenmiştir.

Çizelge 4.6 ⁹⁰Sr beta kaynak kalibrasyonunda kullanılan ölçüm protokolü

<i>Örnek Numarası</i>	<i>Run No</i>	<i>Uygulanan İşlem</i>
<i>1-20</i>	<i>1</i>	TL, 140°C, 2°C/s (ön-ısıtma) TL, 280°C, 5°C/s
<i>1-20</i>	<i>2</i>	Beta, 4s TL, 140°C, 2°C/s (ön-ısıtma) TL, 280°C, 5°C/s
<i>11-20</i>	<i>3</i>	Beta, 4s TL, 140°C, 2°C/s (ön-ısıtma) TL, 280°C, 5°C/s
<i>1-20</i>	<i>4</i>	TL, 140°C, 2°C/s (ön-ısıtma) TL, 280°C, 5°C/s

Çizelge 4.7 ⁹⁰Sr beta kaynağının kalibrasyonu sonucu elde edilen doz hızı değerleri

<i>Kullanılan optik filtreler</i>	<i>BG-39 ve 7-59</i>		<i>U-340</i>	
<i>Run No</i>	Run 2	Run 3	Run 2	Run 3
<i>TL Şiddeti ($X_{11-20} \pm \sigma$)</i>	7086 ± 554	7342 ± 556	1569 ± 255	1584 ± 193
<i>% TL şiddetleri arasındaki sapma</i>	%8	%7	%16	%12
<i>% Hassasiyet değişimi</i>	%4		%1	
<i>Doz hızı (mGy/s)</i>	142,9 ± 5,6 *		169,9 ± 16,1 **	

* % 4 ısıtmadan kaynaklı hassasiyet değişimi için düzeltme yapılmıştır.

** %1 ısıtmadan kaynaklı hassasiyet değişimi, örneklerin TL şiddetleri arasındaki sapmanın çok yüksek olması nedeniyle doz hızı hesabında düzeltme yapılmamıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan tez çalışmasında, Sivrihisar bölgesinden toplanan doğal kuvars örneklerinin, lüminesans yöntemi ile retrospektif dozimetre ve tarihlendirme uygulamalarında kullanılan beta kaynaklarının enerjisi bilinen bir foton kaynağına göre kalibrasyonunda kullanılabilirliği incelenmiştir. Özel tavlama ve ışınlama işlemlerinden sonra beta kaynak kalibrasyonu için uygun hale getirilen kuvarsların kullanımına uygun ölçüm protokolleri geliştirilmiştir.

Sivrihisar kuvarslarının kalibrasyon malzemesi olarak kullanımındaki uygunluğunun belirlenmesi amacı ile, kuvars örneklerinde bulunan doğal radyonüklit miktarı yüksek saflıkta kuyu tipi Germanyum dedektör ile (%48 bağlı verimli) ölçülmüştür. Araziden toplanan örneklerde her ne kadar Çizelge 4.1’de gösterildiği gibi az da olsa ^{137}Cs ve ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{40}K gibi radyoizotopların varlığı saptanmış olsa da uygun fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilen kuvarslarda MDA değerlerinin üzerinde hiçbir kirliliğe rastlanmamıştır. Ayrıca fiziksel ve kimyasal olarak temizlenen örneklerde XRD analizi sonunda kuvars dışında farklı minerallere rastlanmamıştır (Şekil 4.2). Gama spektroskopik ölçümler ve XRD analizleri sonucunda; uygulanan fiziksel ve kimyasal temizlemenin yeterli olduğu gösterilmiş ve lüminesans ölçümlerine başlanmıştır. Bölüm 2.5’te anlatıldığı gibi kuvarsların dozimetre olarak özellikle kalibrasyon işlemlerinde kullanılabilme uygunluğunun saptanması için ölçüme uygun hale getirilen örneklerin aşağıdaki özellikleri incelenmiştir:

i) Sivrihisar kuvarslarının lüminesans ışınma eğrileri ve radyasyon verimi:

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi 280°C ’ye kadar ısıtılan Sivrihisar kuvars örneklerinin ışınma eğrisi incelendiğinde 110°C , 170°C ve 210°C TL tepeleri belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Tez çalışması sırasında alınan ölçümlerde, 110°C tepesine karşı gelen tuzaklardaki elektronların ömürlerinin kısa olması (yarım saat) nedeniyle 140°C ’de ön-ısıtma yapılarak bu tepe temizlenmiş ve 170°C ile 210°C ’de gözlenen tepelerin dozimetrik özellikleri incelenmiştir.

Yapılan ön denemeler sonunda doğal kuvarsların lüminesans şiddetlerinin özellikle düşük radyasyon dozlarında ölçüme uygun olmadığı gözlenmiştir. Bu tepelere karşılık gelen elektron tuzaklarının ve tuzaklardan çıkan elektronların ışımaya yapma olasılığını artırmak amacı ile değişik sıcaklıklarda tavlanan kuvarsların TL radyasyon verimindeki artış incelemiştir (Şekil 4.6). Bu inceleme sonunda, en yüksek radyasyon veriminin, 500°C tavlama sonunda elde edildiği gözlenmiştir. Tavlama işleminden geçirilmiş örneklerinin kararlılığının incelemesi amacı ile ardarda 10 kez ısıtılmış kuvarsların radyasyon verimindeki (TL Radyasyon verimi=TL Şiddeti/ Uygulanan Test dozu) değişim incelenmiş (Şekil 4.7), en kararlı durumunun 3. kez tavlama sonunda elde edildiği gözlenmiştir. Tavlama ve ışınlama işlemlerinden sonra 170°C'deki tepenin şiddetinin yaklaşık 85 kat, 220°C'deki tepenin şiddetinin ise yaklaşık 70 kat arttığı, ısıtma ve ışınlama işlemleri ile en yüksek TL şiddetinin elde edildiği gözlenmiştir (Şekil 4.8).

ii) Hassaslaştırılmış Sivrihisar kuvarslarının radyasyon doz bağımlılığı ve ölçülebilecek en düşük doz:

Kuvars örneklerinin 1.4 Gy'den 428.7 Gy'e kadar arttırılan radyasyon dozlarına karşılık elde edilen TL şiddeti 170°C ve 210°C tepeleri için incelenmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi 70 Gy radyasyon dozunun uygulanmasının ardından 170°C tepesi doyuma ulaşmıştır.

Yukarda anlatıldığı gibi çeşitli tavlama işlemleri sonunda hassaslaştırılan kuvarslar ile yapılan ölçümler sonunda TL radyasyon verimi arttırılan kuvarslarda ölçülebilecek en düşük radyasyon dozunun 1.4 mGy olduğu gözlenmiştir. Böylece, Sivrihisar kuvars örneklerinin düşük radyasyon dozları ile yapılacak çalışmalarda kullanılabileceği belirlenmiştir (Şekil 4.9).

iii) Lüminesans ışımalarının ölçümüne en uygun optik filtrelerin seçimi

Bölüm 4.6.2'de yapılan çalışmaya göre, farklı optik filtreler kullanılarak ışımaya eğrileri ve radyasyon doz verimleri incelenmiş ve düşük radyasyon dozlarının çalışıldığı

kalibrasyon işlemlerinde BG-30 (Schott) ve 7-59 (Corning) optik filtrelerinin kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 4.18).

iv) Beta kaynağı sızıntı radyasyonunun ölçülmesi

Kalibrasyon işlemi sırasında kullanılan cihaza monte edilmiş beta kaynağından salınan beta parçacıklarının zırh çevresindeki madde ile etkileşimi sonunda ortaya çıkan fotonlardan dolayı oluşan radyasyon dozunun saptanması amacı ile kaynak kapalı durumdayken karusele yerleştirilen örneklerin maruz kaldığı radyasyon dozu incelenmiştir. Bu amaçla, karuseldeki her pozisyona yerleştiren 48 örnek beta kaynağı kapalı iken belli bir süre bekletilerek buradaki saatte alınan radyasyon dozu belirlenmiştir. Elde edilen radyasyon doz hızı tam beta kaynağının altındaki kuvars örneğinde 227 µGy/saat olarak belirlenmiştir. Kuvars kullanarak yapılan beta kaynağı kalibrasyonu işlemi için 500 mGy doz verildiğinde sızıntılar nedeni alınan radyasyon dozunun ihmal edilebileceği gösterilmiştir. Ancak düşük radyasyon dozları ile çalışılan durumlarda, alınan bu dozun etkisini belirlemek çalışmanın oldukça önemli bir kısmıdır.

v) Sivrihisar Kuvarlarını tuzak parametreleri:

Bu çalışmanın esas amacı olmasa da kontrol amacı ile Sivrihisar kuvarlarının tuzak parametreleri, Bölüm 4.4.5 ve Bölüm 4.4.6’da anlatılan “Farklı Isıtma Oranları” ve “İzotermal Bozunum” yöntemleri ile belirlenerek literatürdeki değerlerle karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.1’de yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyum içindedir (Petrov ve Bailiff 1997, Göksu *vd.* 2001, Veronese *vd.* 2004 a).

Çizelge 5.1 Farklı yöntemlerle belirlenen tuzak parametreleri

<i>Maksimum Pik sıcaklığı (°C)</i>	<i>E (eV)</i>	<i>s (s⁻¹)</i>	<i>Yöntem</i>
170	1.07	4.62x10 ¹¹	Farklı Isıtma Oranları*
210	1.33	3.94x10 ¹²	İzotermal Bozunum
	1.32	9.88x10 ¹²	Farklı Isıtma Oranları*

* Farklı Isıtma Oranları yöntemi ile tuzak parametrelerinin belirlenmesinde Şekil 4.12’de görüldüğü gibi ısıtma hızının artmasıyla maksimum şiddete karşı gelen tepe beklenildiği gibi yüksek sıcaklıklara kaymıştır ancak, TL şiddetinde azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni, ısısal sönümlemedir. Bu yöntemle belirlenen tuzak parametrelerinde ısısal sönümleme için düzeltme yapılmamıştır.

vi) İkincil Standart Dozimetre Laboratuvarında ışınlanan kuvarslarla yapılan beta kaynağı kalibrasyonu

Enstitümüzde bulunan RISO TL/OSL DA-20 okuyucusunda kurulu olan beta kaynağının kalibrasyonu için kuvarsların foton ışınlamaları, Almanya’da İkincil Standart Dozimetre Laboratuvarı (SSDL) olan Helmholtz Zentrum Münih-Almanya’ya bağlı Ulusal Sağlık ve Çevre Enstitüsü’nde yapılmıştır. Ancak, bu aşamada sadece doğal örnekler kullanılmıştır. Bu nedenle, her lüminesans ölçümünden sonra ısıtmadan kaynaklı hassasiyet artışının düzeltilmesi amacı ile ışınlanmamış örneklerle de aynı ölçüm prosedürü uygulanarak ısıtmadan kaynaklı meydana gelen hassasiyetteki değişim belirlenmiştir. İkincil Standart Dozimetre Laboratuvarı’nda Bölüm 4.6.1’de anlatıldığı gibi yaklaşık 4 gr kuvars örneğine 491 mGy radyasyon dozu uygulanmıştır. İkincil Dozimetre Laboratuvarında verilen bu radyasyon dozu göz önüne alınarak yapılan beta kaynağının kalibrasyonu için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de özetlenmiştir. Elde edilen veriler incelenecek olursa, yaklaşık 500 mGy radyasyon dozu verilip ısıtılan örneklerden elde edilen TL şiddetlerinde örnekler arasındaki sapma miktarları incelenmiştir. Buna göre, Schott ve Corning optik filtrelerinin beraber kullanıldığı durumda örnekler arasındaki değişim %7-8 ve örneklerin iki ısıtma arasında hassasiyet değişimi %4’tür. Bu nedenle Schott ve Corning filtrelerinin kullanılmasıyla elde edilen

beta kaynak doz hızında %4'lük bir düzeltme yapılmıştır. Hoya optik filtresinin kullanıldığı durumda ise, bu filtrenin düşük geçirgenliğinden dolayı TL şiddetinin düşük olduğu ve bu nedenle örnekler arası sapmanın yüksek olduğu görülmektedir. Örneklerin iki ısıtma işlemi arasındaki hassasiyet değişimi ise %1 olarak belirlenmiştir. Ancak, bu düşük hassasiyet değişimi örnekler arasındaki sapmanın yüksek olması nedeniyle %1'lik hassasiyetteki değişim fark edilemeyeceğinden Hoya filtresi ile belirlenen beta kaynağı doz hızında herhangi bir düzeltme yapılmamıştır.

Sivrihisar kuvarsları ile yapılan beta kaynağı kalibrasyon işleminde elde edilen doz hızı değeri SSDL'e göre \pm %4 hata ile elde edilmiştir.

Beta kaynak kalibrasyonunun yapılması ile belirlenen örneklere verilen radyasyon dozu kullanılan geometri, optik filtre ve kullanılan materyal göre farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle beta kaynak kalibrasyonu, her çalışmanın başında yapılması gereken ilk adımdır. Bu, çalışmanın doğruluğunu ve güvenilirliğini arttıracaktır.

Her laboratuvarın beta kaynak kalibrasyonu işlemlerini yılda en az bir kez yapması gerekmektedir. Bu amaçla, bu tez çalışmasında kolay ve her kullanıcıya uygun ölçüm protokolleri geliştirilerek Türkiye'de lüminesans yöntemleri ile tarihlendirme ve geriye dönük dozimetri konusunda araştırma yapan laboratuvarların gereksinimi olan kalibrasyon malzemesinin laboratuvarların hizmetine sunulabileceği gösterilmiştir.

Her ne kadar bu çalışmada 500 mGy doz verilen Sivrihisar kuvarsları ile yapılmış olsa da çalışma boyunca geliştirilen yöntemler sayesinde hassaslaştırılabilen Sivrihisar kuvarsları ile çok daha düşük dozlarda kalibrasyon yapabilme olanağı yaratılmıştır.

Bu tez çalışmasında, $140 < \mu\text{m} < 200$ tanecik boyutundaki Sivrihisar kaynaklı kuvars örnekleri lüminesans laboratuvarlarında kullanılan beta kaynaklarının kalibrasyonu işlemleri farklı optik filtreler kullanılarak incelenmiştir. Oysa beta kaynaklarının kalibrasyonu farklı tanecik boyutlarına, kullanılan planşet türüne bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle beta kaynağı kalibrasyonunun bu farklılıklar göz önüne alınarak incelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Aitken, M.J. 1985. Thermoluminescence dating. Academic Press, 359, London.
- Bailiff, I.K., 1997. Retrospective dosimetry with ceramics. *Radiation Measurements*, 27, 923-941.
- Bailiff, I.K. ve Petrov, S.A. 1999. The 210°C Peak in Quartz for Retrospective Dosimetry. *Radiation Protection Dosimetry*, 48, 551-554.
- Bos, A., Wallinga, J., Johns, C., Abellon, R.C., Brouwer, J.C., Schaart, D.R., Murray, A.S. 2006 Accurate calibration of a laboratory beta particle dose rate for dating purposes, *Radiat. Meas.* **41**: 1020–1025.
- 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.
- 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.
- Erfurt, G., Krbetschek, M.R., Trautmann, T., Stollz, W. 2000. Radioluminescence (RL) behaviour of Al₂O₃:C – potential for dosimetric applications. *Radiat. Meas.* 32: 735-739.
- Erfurt, G., Krbetschek, M.R., Trautmann, T., Stollz, W. 2001 Radioluminescence (RL) probe dosimetry using α -Al₂O₃:C for precise calibration of beta source applied to luminescence dating. *Radiat. Phys. Chem.* 61: 721-722.
- 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.
- Goedicke, C. 2007 Calibration of a $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -source for luminescence dating using OSL *Radiat. Meas.*42:1427–1431
- Göksu H.Y., Bailiff, I.K., Boetter-Jensen, L., Brodski, L., Huett, G., Stoneham, D. (1995) Interlaboratory beta source calibration using TL and OSL on natural quartz. *Radiat. Meas.* 24: 479-483
- Göksu, H.Y. ve Hübner, S. 1997. Retrospective Dosimetry Using The OSL-Pre-Dose Effect in Porcelain. *Appl. Radiat. Isot.*, 48/9, 1231-1235.
- Göksu, H.Y., Stoneham, D., Bailiff, I.K., Adamiec, G. 1998. A New Technique in Retrospective TL Dosimetry: Pre-dose Effect in the 230°C TL Glow Peak of Porcelain. *Appl. Radiat. Isot.*, 49, 99-104.
- Göksu, H.Y., Schwenk, P., Semiochkina, N. 2001. Investigation of the Thermal Stability of 210°C TL Peak of Quartz and Dating the Components of Terrazzo from the Monastery Church of Tegernsee. *Radiation Measurements*, 33, 785-792.
- 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.
- Haskell, E.H., Kaipa, P.L. and Ellett, W.H. 1987. Interlaboratory calibration using NBS irradiated $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Tb}$. DS86-Dosimetry System 1986. (The Radiation Effects Research Foundation) 2: 198-203.
- Horowitz, Y. 1984. Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry. C.R.C. Press, Florida.
- ICRU Report 47, Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiation. Oxford University Press, 1992.
- Lushchik, C.B. 1956. The Investigation of Trapping Centers in Crystals by The Method of Thermal Bleaching. *Soviet Phys. JEPT*, 3, 390-399.

- 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.
- McKeever, S.W.S. 1995. Luminescence Sensitivity Changes in Quartz as a Result of Annealing. Radiat. Meas., 24, 535-541.
- Mott, N. F. 1948. Slip at Grain Boundaries and Grain Growth in Metals. H. H. Wills Physical Laboratory, Bristol.
- MTA, Maden Tetkik ve Arama, 1935. Web sitesi. http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/kuvars_kuvarsit.htm. Erişim tarihi 2009.
- Niedermayer, M., Göksu, H.Y., Dalheimer, A., Bayer, A. 2000. Infrared stimulated luminescence from modern bricks for retrospective dosimetry. Radiat. Meas., 32, 825-832.
- NIST, National Institute of Standards and Technology, 1901. Web sitesi. <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/chap2.html>. Erişim Tarihi: 2009.
- Olko, P., Bilski, P., Budzanowski, M., Waligorski, M.P.R., Reitz, G. 2002. Modeling The Response of Thermoluminescence Detectors Exposed to low- and high-LET radiation fields. J. Radiat. Res., 43, S59-S52.
- Olko, P., Bilski, P., El Faramawy, N., Göksu, H.Y., Kim, J.L., Kopec, R., Waligorski, M.P.R. 2006. On the relationship between dose, energy and LET response of thermoluminescence detectors. Radiat. Prot. Dosim., 119, 15-22.
- Petrov, S.A. ve Bailiff, I.K. 1996. Thermal quenching and initial rise technique of trap depth evaluation. Journal of Luminescence, 65, 289-291.
- Petrov, S.A. ve Bailiff, I.K. 1997. Determination of trap depths associated with TL peaks in synthetic quartz (350-550K). Radiation Measurements, 27, 185-191.
- 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 Technologia e Nuclear Sacavem, Portugal, Ancient TL 21/1: 43
- Seitz, F. 1940. Modern Theory of Solids, McGraw-Hill Book Company, Inc., London.

- Taranenko V., Meckbach, R., Panzer, W., Göksu, H.Y. 2004. Monte Carlo Simulation of Energy Deposition in Dental Ceramics and Aluminum Oxide and Comparison with Luminescence Measurements. Proc. 10th International Conference on Radiation Shielding (ICRS-10), 16, 228.
- Urbach, F. 1930. Zur Luminescenz der Alkali Halogenide. Wiener Ber. Ila, **139**, 363-372
- Veronese, I., Giussani, A. and Göksu, H.Y. 2006. Limits of thermoluminescence dosimetry using quartz extracted from recent building materials in urban settlements. Journal of Environmental Radioactivity, 86, 319-336.
- Veronese, I., Giussani, A., Göksu, H.Y. and Martini, M. 2004a. The trap parameters of electrons in intermediate energy levels in quartz. Radiation Measurements, 38, 743-746.
- Veronese, I., Giussani, A., Göksu, H.Y. and Martini, M. 2004b. Isothermal decay studies of intermediate energy levels in quartz. Radiat. Environ. Biophys., 43, 51-57.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şule KAYA
Doğum Yeri : ELAZIĞ
Doğum Tarihi : 05 / 01 / 1984
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu:

Lise :Polatlı Anadolu Lisesi, (1995-2002)
Lisans :Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü, (2002-2006)
Yüksek Lisans :Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Medikal Fizik Anabilim Dalı (Eylül 2007-Aralık 2009)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü,
(2010-)

Yayımları (SCI ve diğer)

Bilimsel Toplantılarda Sözlü Sunumlar:

- 22-24.10.2009 XII. Ulusal Medikal Fizik Kongresi
“Lüminesans Laboratuvarlarında Kullanılan Beta Kaynaklarının Kalibrasyonu”, Ankara.
- 28-30.09.2009 III. Ulusal Lüminesans Dozimetri Kongresi
“Sivrihisar Kuvarlarının Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi ve Kalibrasyon Malzemesi Olarak Kullanımındaki Uygunluğu”, Bodrum-Muğla.
- 21-23.08.2008 II. Ulusal Lüminesans Dozimetri Bilimsel Toplantısı
“Pilot Uçuş Dozunun Farklı TL Dozimetreler Kullanılarak Belirlenmesi ve Karşılaştırılması”, Manisa.