

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GRAFİT KATKILI KURŞUN KALEMLERİN GERİYE DÖNÜK DOZİMETRE
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Aytaç BARIŞ

MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI
SAĞLIK FİZİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ANKARA
2013

Doç. Dr. Niyazi MERİÇ danışmanlığında, Aytaç BARIŞ tarafından hazırlanan '**Grafit Katkılı Kurşun Kalemlerin Geriye Dönük Dozimetre Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi**' adlı tez çalışması 24 Aralık 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Medikal Fizik Anabilim Dalı / Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Enver BULUR

İmza: 

Üye : Prof. Dr. Bora ALKAN

İmza: 

Üye : Doç. Dr. Niyazi MERİÇ

İmza: 

Üye : Doç. Dr. Mustafa Çetin GÜLEÇYÜZ

İmza: 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gaye Özgür ÇAKAL

İmza: 

Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Niyazi MERİÇ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GRAFİT KATKILI KURŞUN KALEMLERİN GERİYE DÖNÜK DOZİMETRE OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Aytaç BARIŞ

**Ankara Üniversitesi
Nükleer Bilimler Enstitüsü
Medikal Fizik Anabilim Dalı
Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı**

Danışman: Doç. Dr. Niyazi MERİÇ

Bugüne kadar meydana gelen radyasyon kazalarında, kaza dozunun geriye dönük olarak saptanabilmesi için çeşitli malzemelerden yararlanılmıştır. Çeşitli porselen veya seramik ev eşyaları, yapı malzemeleri, toz deterjan, ilaçlar gibi birçok malzeme bu amaçla incelenmiştir. Bu tez çalışmasında, bütün bu malzemelere ilave olarak ilk kez, kurşun kalemlerden kaza dozu saptanmaya çalışılmıştır. Oluşturulan kaza senaryosu gereği kurşun kalemlere 1 Gy kaza dozu verilmiş, ardından bu doz Optik Uyarımlı Lüminesans ve Isıl Uyarımlı Lüminesans yöntemleriyle belirlenmeye çalışılmıştır. Optik Uyarımlı Lüminesans yöntemiyle yapılan çalışmalardan istenen sonuç elde edilememiş fakat Isıl Uyarımlı Lüminesans yöntemiyle 1 Gy'lik kaza dozu iki farklı kalem için $0,98\pm 0,20$ Gy ve $0,85\pm 0,17$ Gy olarak ölçülebilmektedir. Böylece hemen her işyerinde ve çalışanların üzerinde bulunabilen kurşun kalemlerden, olası bir kaza durumunda geriye dönük doz ölçer olarak yararlanılabileceği sonucuna varılmıştır.

2013, 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: Geriye Dönük Dozimetri, Isıl Uyarımlı Lüminesans, Optik Uyarımlı Lüminesans, Kaza Dozimetresi.

ABSTRACT

Masters Thesis

INVESTIGATION OF THE USE OF GRAPHITE DOPED PENCILS AS RETROSPECTIVE DOSIMETER

Aytaç BARIŞ

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

Supervisor: Doç. Dr. Niyazi MERİÇ

So far, in order to determine the radiation dose retrospectively in radiation accidents, various materials have been used. Several porcelain or ceramic, household goods, construction materials, powder detergent, medicines and many other materials have been studied for this purpose. In this study, in addition to all of these materials, pencils were made to determine the dose of the accident was determined from pencils for the first time. According to the accident scenario created, pencils were irradiated with 1 Gy radiation dose, then the given dose was measured by Optical Stimulated Luminescence (OSL) and Thermoluminescence (TL) methods. OSL method didn't give the expected results, but 1Gy accident dose was determined as $0,98\pm0,20\text{Gy}$ and $0,85\pm0,17\text{Gy}$ for two different types of pencils by TL method. Consequently, it was concluded that the pencils that carried by staff in all workplaces can be used as retrospective dosimeters in the case of radiation accidents.

2013, 60 pages

Key Words: Retrospective Dosimetry, Thermoluminescence, Optical Stimulated Luminescence, Accidental Dosimeter.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, özgün değeri yüksek bir çalışma konusu önererek gerekli bütün materyalleri temin eden, hepsinden önemlisi göreve başladığı tarihten itibaren bana bilimsel araştırma yapabilme olanağı sunan danışman hocam Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Sayın **Doç. Dr. Niyazi MERİÇ'e**,

Tez ölçümleri ve tez çıktılarının yayın haline dönüştürülmesi aşamasında yardımını esirgemeyen Eren **ŞAHİNER'e**,

XRF analizlerini yapan Sayın **Prof. Dr. Yusuf Kaan KADIOĞLU'na** ve Araş. Gör. **Kıymet DENİZ'e**

Çalışmam boyunca desteklerini gördüğüm çalışma arkadaşlarım **Şule KAYA KELEŞ'e** ve **Asena YALÇIN'a**,

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nün bütün akademik ve idari personeline,

Bütün yaşamım boyunca beni hep destekleyen babam **Mustafa BARIŞ**, annem **Yasemin BARIŞ**, kardeşlerim **Harun BARIŞ** ve **Ayşegül BARIŞ'a**,

Gösterdiği sabır ve verdiği destekten dolayı eşim **Kübra BARIŞ'a**

Ve hayattaki tek gerçeğim, kızım **İsra Cemre BARIŞ'a** sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aytaç BARIŞ

Aralık, 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	İ
TEŞEKKÜR	İİ
SİMGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	İX
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1 KRİSTAL YAPI VE KRİSTAL KUSURLARI	5
2.2 LÜMİNESANS MEKANİZMASI	6
2.3 TERMOLÜMİNESANS (TL)	8
2.3.1 Basit Termolüminesans Modeli	8
2.3.2 Birinci, İkinci Ve Genel Mertebeden TL Kinetiği.....	9
2.4 KİNETİK PARAMETRELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ	10
2.4.1 Başlangıçtaki Artış Yöntemi	10
2.4.2 Maksimum TL Şiddetindeki Sıcaklığa Dayanan Yöntem.....	12
2.4.3 Farklı Isıtma Hızlarına Dayanan Yöntem	12
2.4.4 İzotermal Azalım Yöntemi	13
2.4.5. Kesikli Işıma Eğrisi Yöntemi (T_M - T_{STOP})	14
2.4.6 Işıma Eğrisinin Şekline Dayanan Yöntem	14
2.4.7 Bilgisayarlı Işıma Eğrisi Ayırıştırma Yöntemi.....	16
2.5 ISISAL SÖNÜMLEME	16
2.6 OPTİK UYARIMLI LÜMİNESANS (OSL)	18
2.6.1 Optik Uyarımlı Lüminesansın Matematik Tanımlaması	20
2.7 EŞDEĞER DOZ BELİRLEME YÖNTEMLERİ.....	21
2.7.1 Çoklu Tablet-İlave Doz Yöntemi (MAAD).....	21
2.7.2 Tek Tablet Yeniden Oluşturma Tekniği (SAR)	22
2.8 X-IŞINLARI FLORESANS SPEKTROSKOPİSİ.....	23
2.8.1. XRF Çalışma Prensipleri	24
2.9 KURŞUN KALEM ÜRETİMİ	26
2.9.1 Kurşun Kalemin Yapısı	26

2.9.2 Kurşun Kalem Üretimi	27
2.10 DOZİMETRİK KAVRAM VE BİRİMLER	28
2.10.1 Kerma (Kinetic Energy Released in a Material), (K)	28
2.10.2 Işınlama	28
2.10.3 Soğurulan Doz (D).....	28
2.10.4 Eşdeğer Doz	28
2.10.5 Etkin Doz (E)	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
4. BULGULAR	36
4.1 KURŞUNKALEMLERİN OSL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ.....	36
4.1.1 OSL Sinyallerinin Şekli	36
4.1.2 Doz-Cevap Eğrileri.....	40
4.1.3 Infrared Uyarım Sonuçları.....	41
4.2 KURŞUNKALEMLERİN TERMOLÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	44
4.2.1 Işıma Eğrileri.....	44
4.2.2 Doz -Cevap Eğrileri.....	46
4.2.3 Isıtma Hızına Bağlılık	49
4.3 KAZA DOZUNUN SAPTANMASI	50
4.4 ZAMANA BAĞLI SÖNÜM.....	51
4.5 X-IŞIN FLORESANS YÖNTEMİYLE NUMUNE ANALİZİ.....	52
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ.....	60

SİMGELER DİZİNİ

β	Isıtma hızı
E_a	Aktivasyon enerjisi
eV	Elektron volt
IAEA	Uluslar arası Atom Enerjisi Ajansı
IR	Kızılötesi (Infrared)
k	Boltzman sabiti
MAAD	Çoklu Tablet İlave Doz Yöntemi
OSL	Optik Uyarımlı Lüminesans
PMT	Fotoçoğaltıcı Tüp
RC	Yeniden Birleşme Merkezi (Recombination Center)
s	Frekans faktörü
SAR	Tek Tablet Yeniden Oluşturma Yöntemi
T	Sıcaklık
T_c	Kesim sıcaklığı
TL	Termolüminesans
T_M	Maksimum sayım şiddetinin görüldüğü sıcaklık
W_R	Radyasyon ağırlık faktörü
W_T	Doku ya da organ ağırlık faktörü
YEBİM	Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1 Kazaların tesislere göre dağılımı	2
Şekil 1. 2 Bazı kaza mahallerinden görüntüler.	4
Şekil 2. 1. 1 Kristal Kusurları (a) Boşluktan kaynaklanan kusur, (b) Safsızlık kusuru ...	5
Şekil 2.4.1. 1 Başlangıçtaki artış yöntemi.....	11
Şekil 2.4.1. 2 $1/kT-\ln(I)$ grafiği	11
Şekil 2.4.6. 1 TL ışınma eğrisinde geometrik şeklin parametreleri (τ, δ, ω)	15
Şekil 2.6. 1 Üç farklı optik uyarım tipi ve bunlara karşılık gelen OSL bozunum eğrileri	18
Şekil 2.6. 2 OSL sisteminin basitleştirilmiş şeması	19
Şekil 2.7.1. 1 MAAD yöntemi	22
Şekil 2.7.1. 2 SAR yöntemi.....	23
Şekil 2.8.1. 1 XRF'in çalışma prensibinin şematik gösterimi	25
Şekil 2.9.1. 1 17. y.y da üretildiği tahmin edilen ve bugünkü kurşun kalemlere benzeyen en eski kalem	26
Şekil 3. 1 Keski seti Şekil 3. 2 İncelenen kalem ve uçlardan bazıları.....	31
Şekil 3.3 Elekler.....	31
Şekil 3. 4 Ölçüme hazır hale getirilmiş numuneler. (a) Siyah kalem ve uçlar , (b),(c) Renkli kalemler	32
Şekil 3.5 Çelik disk ve kaplar Şekil 3.6 Örnek taşıyıcı	32
Şekil 3.7 RISØ TL/OSL Sistemi.....	33
Şekil 3.8 TL/OSL sisteminin şematik görünümü.....	33
Şekil 3.9 Hassas terazi.....	34
Şekil 3.10 Harshaw 3500 TLD okuyucu.....	34
Şekil 3.11 : Cs-137 ışınlama sistemi.....	35
Şekil 3.12 Gövde fantomu üzerinde ışınlama	35
Şekil 4.1.1. 1 Zamanla sabit kalan sinyal tipine bir örnek	36
Şekil 4.1.1. 5 OSL bozunumuna uyan ve doza bağlılık gösteren sinyal.....	39
Şekil 4.1.2. 1 4418-06 CB Red/Blue marka mavi renkli kalem için doz-cevap eğrisi .	40
Şekil 4.1.2. 2 Chung Hwa Ex-Exb 111 marka kalem için doz cevap eğrisi	41

Şekil 4.1.3. 1 JUMBO 9205 B-06 marka sarı renkli kalemin IR ile uyarılmasıyla elde edilen sinyal.....	42
Şekil 4.1.3. 2 JUMBO 9205 B-06 marka sarı renkli kalemde ilk okuma sonrasında OSL sinyalinin bozulması	42
Şekil 4.1.3. 3 JUMBO 9205 B-06 marka kırmızı renkli kalemin IR ile uyarılmasıyla elde edilen sinyal.....	43
Şekil 4.1.3. 4 JUMBO 9205 B-06 marka kırmızı renkli kalemde ilk okuma sonrasında OSL sinyalinin bozulması	43
Şekil 4.2.1. 1 JUMBO 9205 B-06 sarı renkli kaleme ait ışıma eğrisi.....	44
Şekil 4.2.1. 2 JUMBO 9205 B-06 yeşil renkli kaleme ait ışıma eğrisi.....	45
Şekil 4.2.2. 1 JUMBO 9205 B-06 sarı renkli kaleme ait doz cevap eğrisi	46
Şekil 4.2.2. 2 JUMBO 9205 B-06 sarı renkli kalem için, N; kaza dozu olmak üzere, artan dozlara karşı ışıma eğrileri	47
Şekil 4.2.2. 3 JUMBO 9205 B-06 yeşil renkli kaleme ait doz cevap eğrisi	47
Şekil 4.2.2. 4 JUMBO 9205 B-06 yeşil renkli kalem için, N; kaza dozu olmak üzere, artan dozlara karşı ışıma eğrileri	48
Şekil 4.3. 1 Kaza dozunun MAAD yöntemiyle saptanması. Kare şekilli çizgi sarı kalemden, yuvarlak şekilli çizgi yeşil kalemden elde edilen sonuçları göstermektedir.....	50
Şekil 4.4. 1 Zamana Bağlı Sönüm.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1 Bazı radyasyon kazaları ve kazaya neden olan uygulamalar.....	3
Çizelge 3. 1 İncelenen kalemlerin ve uçların marka, model ve renkleri.....	30
Çizelge 4.5. 1 TL sinyali alınan JUMBO 9205 B-06 sarı ve yeşil kalem ile uygun sinyal vermeyen 3 diğer kalem numunelerine ait XRF analizi sonuçları ..	52
Çizelge 4.5. 1 TL sinyali alınan JUMBO 9205 B-06 sarı ve yeşil kalem ile uygun sinyal vermeyen 3 diğer kalem numunelerine ait XRF analizi sonuçları (devam)	53
Çizelge 4.5.2 Oksitli bileşenler ve yüzdelik miktarları.....	54

1. GİRİŞ

Çeşitli nedenlerle radyasyona maruz kalan insanların aldıkları dozların, kaza anında saptanmasının mümkün olmadığı durumlarda retrospektif yöntemler önem kazanmıştır. Kaza mahallinden alınan örneklerin çeşitli yöntemlerle incelenerek geriye dönük doz tayini yapılması ile ilgili çalışmaların, özellikle Çernobil kazasıyla beraber önemi artmıştır (Hütt, G. et al., 1993).

Kuşkusuz, bir kaza durumunda ilk akla gelen, yapı malzemelerinin incelenmesi olmuştur. Tarihlendirme çalışmalarına benzer şekilde, yapı malzemelerinde (fayans, tuğla, kiremit, kerpiç, sıva) depo edilen doz ölçülmüş, binanın yaşından kaynaklanan tahmini doz değeri, toplam dozdan düşülerek kaza dozu saptanmaya çalışılmıştır.

Duvarlardan ve zeminden alınan örneklerin yanı sıra, kaza mahallinde bulunan ve dozimetrik özellik göstereceği tahmin edilen ev eşyaları (bazı takılar, seramik kül tablası veya süs eşyaları, deniz kabuğu, lavabo taşı, elektrik sigortası vb.) da incelenmiştir (Hütt, G., Brodski, L., Polyakov, V., 1996).

Yapı malzemelerinin yanı sıra çeşitli ilaçlar, deterjan, yumurta kabuğu, porselen mutfak eşyaları, tuz, şeker, çaydanlık kireci, ev tozu gibi malzemeler de geriye dönük dozun saptanmasında kullanılmıştır (IAEA The Radiological Accident in Tammiku, 1998).

Son zamanlara, birçok insanın cep telefonu kullanması dikkate alınarak, cep telefonlarındaki çeşitli malzemelerden yararlanarak kaza dozu belirleme çalışmaları yapılmıştır (M. Discher, C. Woda, 2013).

Bütün bu malzemeler Termoluminesans (TL), Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL), Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) yöntemlerinin biri veya birkaçıyla incelenmiştir. Fiziksel ölçüm yöntemlerine ilave olarak, kazazedelerin kromozom aberasyon analizi gibi biyolojik yöntemler de kullanılmıştır.

Tüm bu yöntemlere ilave olarak, kaza dozunun simülasyon yoluyla elde edilmesi de elbette mümkündür. Fakat kaynak ve dağılım geometrisinin tam olarak bilinmemesi, çok kısa ömürlü izotopların ortamda olması gibi nedenler sayısal modellemeyi zorlaştırmakta ve retrospektif yöntemleri zorunlu kılmaktadır.

Bugüne kadar kurşun kalemlerin bu amaçla kullanımı incelenmemiştir. Tez kapsamında Çin'in değişik bölgelerinden rastgele seçilen 18 farklı kurşun kalemde kaza dozimetresi olarak yararlanılıp yararlanılamayacağı araştırılacaktır.

Olası bir kaza durumunda radyasyon çalışanlarının buldukları tesislerde sıklıkla kullanılan malzemelerin dozimetrik özelliklerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Kurşun kalemler, her çalışma ortamında bulunabilen hatta çalışanların üzerlerinde taşıdıkları bir materyal olması bakımından kaza dozunun saptanmasında önemli rol oynayabilirler.

2000 yılına kadar meydana gelen kazalar ve hangi uygulamadan kaynaklandığına ilişkin istatistikî bilgiler Şekil 1.1 de verilmektedir.



Şekil 1. 1 Kazaların tesislere göre dağılımı

Şekil 1.1 de görüldüğü gibi, kazaların tamamına yakını birer işyeri hüviyetinde olan tesislerde gerçekleşmektedir. Çalışanların önemli bir kısmının kurşun kalem kullanacağı veya buldukları ortamda kurşun kalem bulunacağı açıktır.

2000 yılından günümüze kadar olan süreçte dünya ölçeğinde önem arz eden bir kaza daha gerçekleşmiştir. Japonya'da gerçekleşen Fukişima kazası retrospektif yöntemlerin önemini bir kez daha göstermiştir. Tsunami sonucu meydana gelen su baskınında elektronik dozimetreler iş göremez hale gelmiş ve personelin maruz kaldığı dozla ilgili

ilk aşamada sağlıklı bilgi edinilememiştir. Bu tür kazalar göstermektedir ki, anlık doz ölçen gelişmiş bir çok cihaza rağmen, retrospektif yöntemler ve pasif dozimetreler önemini korumaya devam etmektedir.

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından ayrıntılı olarak raporlanmış bazı kazalar ve sebepleri Çizelge 1.1 de verilmiştir.

Çizelge 1. 1 Bazı radyasyon kazaları ve kazaya neden olan uygulamalar

KAZAYA NEDEN OLAN UYGULAMA	KAZA YERİ VE TARİHİ
Kayıp ve Çalıntı Kaynaklar, Radyoaktif Atıklar	İkitelli (1998), Tammiku (1994)
Endüstriyel Sterilizasyon	San Salvador(1989), İsrail (1990)
Radyoterapi Uygulamaları	Kosta Rika (1996), ABD(1992)
Reaktör Kazaları	Çernobil (1989), Fukişima (2011)
Atom Bombası Testleri	Nevada Test Alanı (1951)

Şekil 1.2 de bazı radyasyon kazaları ve yasal olmayan radyasyon kullanımı ile ilgili resimler görülmektedir.



(a) Çernobil



(b) Tammiku



(c) Gera Hapishanesi

Şekil 1. 2 Bazı kaza mahallerinden görüntüler.

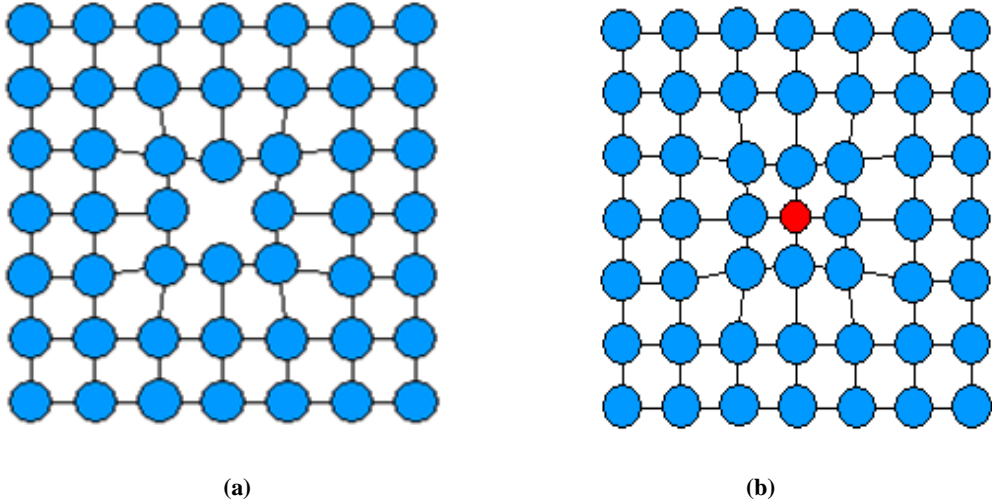
(a) Çernobil kazası sonrası bir yapıdan örnek alınması, (b) Tammiku/Estonya'da bulunan radyoaktif atık tesisinden bir görüntü, (c) Radyasyona maruz bırakılarak üzerlerinde deney yapıldığını iddia eden Gera Hapishanesi mahkumlarının kaldığı koşullardan birinde bulunan ve retrospektif dozimetri çalışmalarında kullanılan lavabo taşı (IAEA arşivinden)

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 KRİSTAL YAPI VE KRİSTAL KUSURLARI

Kusursuz bir kristalde elektronlar sonsuz bir örgü oluşturacak şekilde dizilmişlerdir. Dolayısıyla bu şekildeki ideal bir kristalin doz cevabı yoktur. Zira iyonlaştırıcı radyasyon tarafından bulunduğu noktadan çıkarılan elektronun bulunabileceği bir başka nokta söz konusu değildir. Fakat kristal örgüsünde bulunacak herhangi bir safsızlık merkezi, elektron için yeni bir enerji seviyesi oluşturacaktır.

Muhtemel kusurlara örnek olarak, bir örgü noktasını işgal eden atom veya iyonun yerini terk edip o noktayı boş bırakması (Schottky kusuru), örgü noktaları arasında bir yer işgal eden atom (Frenkel kusuru), örgü içinde yabancı atom bulunması , bir örgü noktasında bulunması gereken elektronlardan fazla olarak bulunan elektron (bağlı elektron), bir örgü noktasında bulunması gereken elektron boşluklarından fazla olarak bulunan boşluk verilebilir. Şekil 2.1.1 de iki kusur tipine ilişkin temsili bir resim verilmiştir.



Şekil 2. 1. 1 Kristal Kusurları (a) Boşluktan kaynaklanan kusur, (b) Safsızlık kusuru

2.2 LÜMINESANS MEKANİZMASI

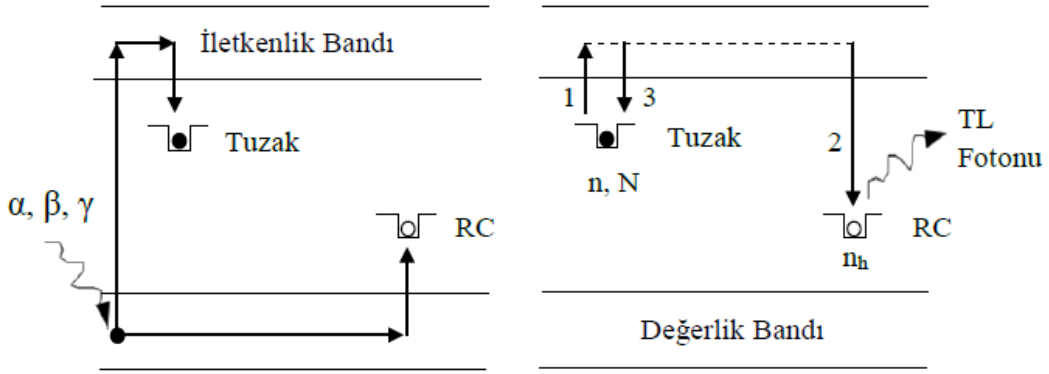
Lüminesans mekanizması, tam olarak anlaşılmış değildir. Bununla birlikte enerji band modeli yardımıyla açıklanabilmektedir.

Yalıtkan ve yarıiletken maddelerde, değerlik bandıyla iletkenlik bandı arasında bir yasak bant bulunur. Bu malzemelerdeki çeşitli safsızlıklar nedeniyle yasak band içerisinde ara enerji seviyeleri oluşabilir. Radyasyon etkisiyle değerlik bandından iletkenlik bandına çıkan elektronlar, yeniden değerlik bandına dönerken bu ara enerji seviyelerinde (tuzak) tutulabilirler. Isı ve ışık aracılığıyla bu tuzaklardan çıkarılan elektronlar, bazı süreçler sonunda lüminesans ışınması yapabilirler. Metaller ise yasak band bulundurmadığından, dozimetri çalışmaları için elverişli değildir. Bununla beraber, metallerde oluşan korozyon olayından yararlanarak lüminesans ölçümü yapılmaya çalışılmıştır. (Şahiner E., Meriç N., 2012)

Isıl ve Optik Uyarımlı Lüminesans mekanizması ana hatlarıyla şu şekilde işlemektedir.

- 1) İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalan elektronlar, enerji kazanarak valans bandından iletkenlik bandına çıkarlar.
- 2) Elektronlar geride deşik veya hol olarak adlandırılan boşluklar bırakırlar. Bu boşluklar difüzyonla valans bandı üzerindeki lüminesans merkezlerine taşınırlar.
- 3) İletim bandına çıkmış olan elektronlar kararlı duruma geçmek için tekrar valans bandına doğru hareket ederler. Bu esnada yasak bölgede bulunan tuzaklarda tutulurlar. Elektronların yakalandığı bu tuzaklardaki ömürleri tuzanın derinliğine bağlı olarak birkaç saatlik bir süreden yüz binlerce yıllık bir süreye kadar değişim gösterebilir. Bir dış uyaran (ısı, ışık) aracılığıyla tuzaklanan elektronlar tuzaklardan çıkartılabilirler.
- 4) Tuzaklardan çıkan elektronlar önce iletim bandına, oradan da birleşme merkezlerine hareket ederek buradaki deşiklerle birleşebilirler.
- 5) Bu sırada lüminesans ışınması gözlenir.

Şekil 2.2.1 de lüminesans mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 2.2. 1 Uyarmalı Lüminesans Mekanizması

Lüminesansın türü, uyarının cinsine göre adlandırılır.

- Isı ile uyarılma *Termolüminesans*,
- Işık ile uyarılma *Optik Uyarımlı Lüminesans*(OSL) olarak adlandırılır.
- Radyasyonla uyarılma *Radyolüminesans*,
- Kimyasal reaksiyon sonucu oluşuyorsa *Kemilüminesans*,
- Elektrik alan uygulaması ile meydana geliyorsa *Elektrolüminesans*,
- Biyokimyasal etkileşimlerden meydana geliyorsa *Biolüminesans*,
- Yüksek frekanslı ses dalgaları ile meydana geliyorsa *Sonolüminesans*,
- Katot ışınları ile uyarılma *Katodalüminesans*,
- Kristallerin kırılma ve parçalanması ile oluyorsa *Tribolüminesans*,
- Basınç(10 ton.m^{-2}) ile oluyorsa *Piezolüminesans*,
- U.V, görünür ve kızıl ötesi ışık ile oluyorsa *Fotolüminesans*

gibi isimlerle anılır.

Işıma uyarımla başlayıp uyarıma zamanı olan 10^{-8} saniye boyunca devam ederse *Floresans*, uyarıma kesildikten sonra (10^{-8} s'den sonra) lüminesans ışıma bir müddet daha devam ederse *Fosforesans* olarak adlandırılır.

Elektronun tuzakta geçirdiği süre "ortalama ömür" (τ) olarak isimlendirilir.

$$\tau = \frac{1}{s} \exp\left(\frac{E}{kT}\right) \quad (2.1)$$

Burada,

s; frekans çarpanı,

E; tuzakla iletim bandı arasındaki enerji farkı (tuzak derinliği),

k; Boltzman sabiti, T ise lüminesansın görüldüğü sıcaklıktır.

2.3 TERMOLÜMINESANS (TL)

Lüminesans mekanizmasını başlatan uyarının ısı olması durumunda, termolüminesans terimi kullanılır. Sıcaklığa karşı oluşan lüminesans şiddetinin verildiği eğriler, “ışım eğrisi” olarak adlandırılır. TL ışım eğrileri, malzemeye özgü TL özelliklerinin saptanması açısından önemlidir. Kinetik parametreler olarak bilinen tuzak derinliği (E), elektronlardan tuzaklardan kurtulma olasılığıyla ilgili bir ifade olan frekans faktörü (s) ve tuzaklardan kurtulan elektronların yeniden birleşme merkezlerinde tutulmadan önce geçirdikleri evrelerin bir ifadesi olan kinetik mertebeye (b) ışım eğrilerinden yola çıkarak belirlenebilmektedir.

2.3.1 Basit Termolüminesans Modeli

Termolüminesans süreci sadece tek tuzak ve tek yeniden birleşme merkezi içeren basit bir modelle açıklanmaya çalışılmıştır (One Trap-One Recombination Center, OTOR).

Kristaldeki tuzakların toplam konsantrasyonu N (m^{-3}), t zamanı içinde kristaldeki doldurulan tuzakların konsantrasyonu $n(t)$ ve yeniden birleşme merkezlerindeki deşik tuzaklarının konsantrasyonu $n_h(t)$ olsun. Başlangıçta $t=0$ anındaki dolu olan tuzakların konsantrasyonu n_0 olarak gösterilirse, bir termolüminesans ölçümü sırasında sıcaklık lineer olarak artırıldığında tuzaklardan iletim bandına geçen elektronların sayısı da artar (1 numaralı geçiş). İletim bandına geçen elektronlar ya yeniden birleşme merkezi (RC) ile birleşebilir (2 numaralı geçiş) ya da tekrar tuzaklanabilirler (3 numaralı geçiş), (Şekil 2.2.1). Bu durumda yayılan ışığın şiddeti (I_t) aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$I_t = - \frac{dn_h}{dt} \quad (2.2)$$

Termoluminesans ölçümlerinde lineer bir hızla (β) arttırılan sıcaklıklarda, zamanın (t) bir fonksiyonu olarak; $I(t)$ TL şiddetini ve $n_h(t)$ yeniden birleşme merkezlerindeki deşiklerin konsantrasyonunun azalmasını göstermektedir.

2.3.2 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).

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

$$I t = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^2}{N} s e^{-E/kT} \quad (2.4)$$

$$I t = -\frac{dn}{dt} = n^b s' e^{-E/kT} \quad (2.5)$$

Burada,

E = aktivasyon enerjisi veya tuzak derinliği (eV)

k = Boltzmann sabiti : $8,617343E-5$ (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 $10^{12} s^{-1}$ ile $10^{14} s^{-1}$ 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 mertebeye 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:

$$I(T) = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left(-\frac{s}{\beta} \frac{T}{T_0}\right) \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \quad (2.6)$$

$$I(T) = n_0^2 \frac{s}{N} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \left(\frac{n_0 s}{\beta N} \frac{T}{T_0}\right) \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right]^{-2} \quad (2.7)$$

$$I(T) = n_0 s'' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \left(\frac{s''(b-1)}{\beta} \frac{T}{T_0}\right) \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right]^{-\frac{b}{b-1}} \quad (2.8)$$

Yukarıdaki eşitliklerde,

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

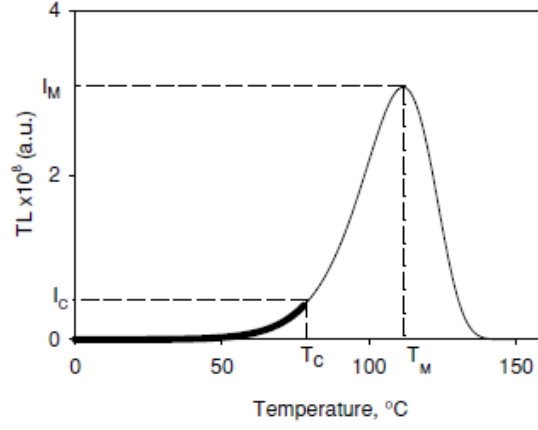
$s'' = s' n_0^{(b-1)}$ = genel mertebeye kinetiği için etkin frekans faktörünü temsil eden deneysel parametre (s^{-1})

2.4 KİNETİK PARAMETRELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ

2.4.1 Başlangıçtaki Artış Yöntemi

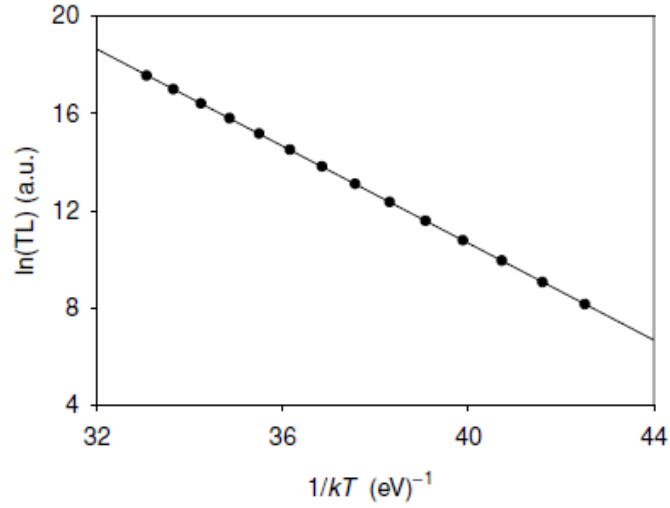
Başlangıçtaki artış yöntemi ile analiz ilk olarak Garlic ve Gibson (Garlic ve Gibson 1948) tarafından önerilmiştir. Bir TL ışımaya pikinin düşük sıcaklık kısmında tuzaklanan elektronların miktarı yaklaşık olarak sabit kabul edilebilir. Çünkü $n(T)$ 'nin sıcaklığa bağımlılığı bu sıcaklık bölgesinde ihmal edilebilir. Nitekim sıcaklık arttıkça Eşitlik 2.6'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 2.6'teki ikinci terimini düşürür. Burada, $n(T)$ 'nin sabit olduğu varsayımı kullanılarak termoluminesans yayımı şu şekilde tanımlanabilir:

$$I(T) \propto \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.9)$$



Şekil 2.4.1. 1 Başlangıçtaki artış yöntemi

Başlangıçtaki artış yöntemi uygulamasında çizilen $\ln(I)-1/kT$ grafiğinde lineer grafik elde edilir. Bu çizginin eğimi $-E$ 'yi verir, aktivasyon enerjisi frekans faktörü bilgisi olmadan değerlendirilir (Şekil 2.4.1.2).



Şekil 2.4.1. 2 $1/kT-\ln(I)$ grafiği

2.4.2 Maksimum TL Şiddetindeki Sıcaklığa Dayanan Yöntem

Randall ve Wilkins (Randall ve Wilkins 1945) birinci mertebeye denklemini çözmediler ama TL ışınım 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:

$$E = 25kT_M \quad (2.10)$$

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

$$E = \frac{T_M}{500} = 23kT_M \quad (2.11)$$

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

2.4.3 Farklı Isıtma Hızlarına Dayanan Yöntem

Bu yönteme göre ısıtma hızı (β), TL ışınım 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 ısısal sönmülemenden (thermal quenching) kaynaklanır.

Bu yöntemde iki şekilde tuzak parametreleri belirlenebilir. İlk yöntemde iki farklı ısıtma hızı ve birinci mertebeden maksimum ışınım şartı kullanılır. Buna göre;

$$\frac{\beta_1 E_a}{kT_{M1}^2} = s \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT_{M1}}\right) \quad (2.12)$$

$$\frac{\beta_2 E_a}{kT_{M2}^2} = s \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT_{M2}}\right) \quad (2.13)$$

Bu iki bağıntının birbirine oranı ise aşağıda verilmektedir.

$$E_a = \ln\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right) \left(\frac{T_{M2}}{T_{M1}}\right)^2 k \frac{T_{M2} \cdot T_{M1}}{T_{M2} - T_{M1}} \quad (2.14)$$

Eşitlik 2.14 ile aktivasyon enerjisi hesaplanır. Aktivasyon enerjisi E_a , (2.12) veya (2.13) eşitliklerinden herhangi birinde yerine yazılarak frekans faktörü hesaplanır. Kullanılan ikinci yöntem ise, farklı ısıtma hızlarına karşılık çizilen ışınma şiddetine bağlı olarak elde edilir.

$$\ln\left(\frac{T_M^2}{\beta}\right) = \left(\frac{E_a}{k}\right) \left(\frac{1}{T_M}\right) + \ln\left(\frac{sk}{E_a}\right) \quad (2.15)$$

Eşitlik 2.13'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 2.13'de yerine koyularak frekans faktörü (s) hesaplanır. Bu işlem tüm tepeler için yapılır.

2.4.4 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.

$$I = I_0 \exp\left(-s \exp\left(-\frac{E}{kT_i}\right)t\right) \quad (2.16)$$

I_0 , $t=0$ anındaki başlangıç şiddetidir.

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

$$m_i = -s \exp\left(-\frac{E}{kT_i}\right) \quad (2.17)$$

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 2.18).

$$\ln(m_i) = \ln(s) - \frac{E}{kT_i} \quad (2.18)$$

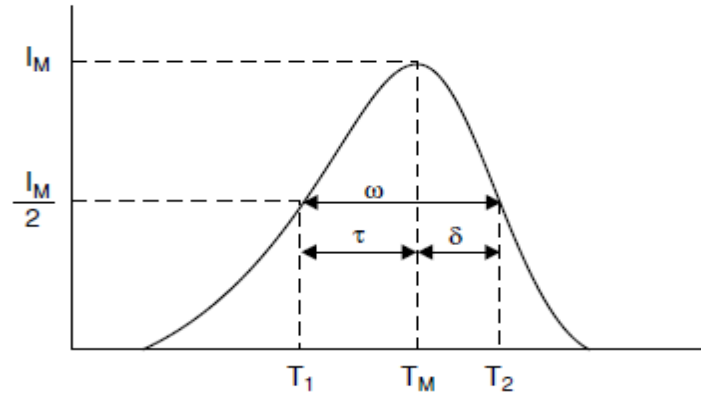
Belirlenen aktivasyon enerjisi (E) Eşitlik 2.17'de yerine koyularak frekans faktörü hesaplanır.

2.4.5. Kesikli Işıma Eğrisi Yöntemi (T_M-T_{STOP})

Işıma eğrisindeki tepelerin kinetik dereceleri kesikli ışıma 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 ışıma eğrisinin geri kalanını elde etmek için örnek aynı ısıtma hızında tekrar ısıtılır ve T_m belirlenir. Yöntem, yeni ısıtılmış bir örnek üzerinde veya ısıtılmış/ışınlanmış 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.

2.4.6 Işıma Eğrisinin Şekline Dayanan Yöntem

Bu yöntemde, TL ışıma eğrisinin kinetik parametreleri E , s ve b 'yi bulmak için eğrinin şekli ve geometrik özellikleri kullanılır (Şekil 2.4.6.1). Birinci dereceden kinetiğe sahip ışıma eğrisi asimetrik iken ikinci dereceden kinetiğe sahip ışıma eğrileri daha simetrik şekle sahiptir.



Şekil 2.4.6. 1 TL ışıma eğrisinde geometrik şeklin parametreleri (τ , δ , ω)

T_M = Maksimum TL şiddetindeki (I_M) 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

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 (T_1) yarı şiddete ($I_{M/2}$) bağlıdır. Grossweiner'ın birinci mertebeden kinetiğe göre elde ettiği ifade,

$$E = 1.51k \frac{T_M T_1}{T_M - T_1} \quad (2.19)$$

Grossweiner'ın elde ettiği 1.51 faktörü Chen tarafından deneysel olarak düzeltilmiş ve 1.41 olarak belirlenmiştir (Chen, 1969). 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:

$$E = \frac{kT_M^2}{\delta} \quad (2.20)$$

İkinci mertebeden kinetiğe sahip ışıma eğrisi için elde edilen ifade:

$$E = \frac{2kT_M^2}{\delta} \quad (2.21)$$

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)

2.4.7 Bilgisayarlı Işıma Eğrisi Ayırıştırma Yöntemi

Bilgisayarlı ışıma eğrisi ayırıştırma yöntemi (CGCD), TL ışıma eğrilerinden tuzak parametrelerini belirlemenin yöntemlerinden biridir. Işıma eğrisini analiz etmek için CIEMAT , IRI, TL/OSL Glow Curve Analyser gibi bu amaçla geliştirilmiş programlar kullanılır. Birinci dereceden kinetiğe sahip eğrilerde Randall-Wilkins'in yaklaşımı , ikinci dereceden kinetiğe sahip eğrilerde Garlic-Gibson yaklaşımı veya genel mertebeden kinetiğe sahip eğriler için May-Partridge yaklaşımı kullanılmaktadır (Furetta 2003).

2.5 ISISAL SÖNÜMLEME

Isısal sönmleme (thermal quenching), sıcaklığın artmasıyla lüminesans veriminin düşmesi olayıdır. Bahsedildiği gibi lüminesans, bir maddede önceki dış uyarılmadan sonra sistemin elektronik denge durumuna dönmesiyle oluşur.

Bir maddede, ışınlama ve enerji transferinin ardından lüminesans oluşup oluşmaması, onun ışımali ve ışımsız geçiş olasılıklarına bağlıdır. Genellikle lüminesans verimi η , şu şekilde ifade edilir:

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_{nr}} \quad (2.22)$$

Burada P_r ve P_{nr} sırasıyla, ışımalı geçiş olasılığı ve ışımaz 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 ışımaz geçiş olasılığı P_{nr} sıcaklığa Boltzmann faktörü $e^{-W/kT}$ ile bağlıdır, ışımalı geçiş olasılığı P_r sıcaklıkla değişmez. Böylece Eşitlik 2.22 şöyle ifade edilir:

$$\eta = \frac{1}{1 + C \cdot \exp\left(-\frac{W}{kT}\right)} \quad (2.23)$$

Burada W , ısısal sönümlemenin aktivasyon enerjisi ve C , bir sabittir. Eşitlik 2.23 ısısal sönümleme için Mott-Seitz modeli olarak bilinir (Mott 1948, Seitz 1940).

Isısal sönümleme, “Başlangıçtaki Artış” ve “Farklı Isıtma Hızları” yöntemlerinde etkisini gösterir. Eğer bir tepe ısısal sönümlemeye uğruyorsa, sıcaklık bağımlılığı aşağıdaki denkleme göre ön-eksponansiyel bir faktör olarak karşımıza çıkar:

$$I_{TL}(T) = A \cdot \eta(T) \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) = \frac{A}{1 + C \cdot \exp\left(-\frac{W}{kT}\right)} \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.24)$$

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

2.6 OPTİK UYARIMLI LÜMİNESANS (OSL)

Optik uyarmalı lüminesans prensip olarak ısı lüminesansla aynı temellere dayanır. Fakat OSL’ de uyarma işlemi ısı yerine ışıkla sağlanır. OSL tekniğinin TL’ye en büyük üstünlüğü, malzeme yüksek sıcaklıklara ısıtılmadığı için, sıcaklıktan kaynaklanan yapı bozulmaları ve radyasyon hassasiyetinde değişim olmamasıdır.

OSL ışımaya eğrisinde lüminesans yoğunluğu zamanın fonksiyonu olarak verilir. Bu OSL sinyalinin şiddeti soğrulan radyasyon dozu ile orantılıdır. OSL sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.6.2 de verilmektedir.

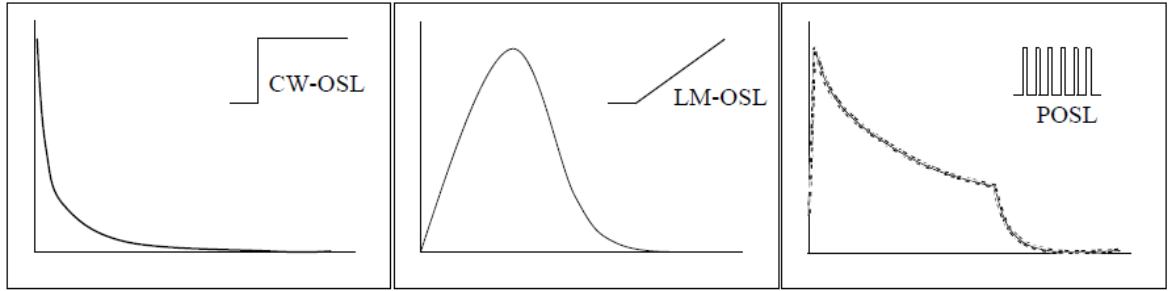
Optik uyarmı farklı şekillerde yapılabilir.

a) Sürekli Dalga OSL Yöntemi (CW-OSL): Uyarım süresi boyunca ışığın şiddeti sabit tutulur.

b) Lineer Modülasyon OSL Yöntemi (LM-OSL) : Uyarım ışığının şiddeti, uyarım süresi boyunca lineer olarak artırılır.

c) Pulslu OSL Yöntemi (POSL): Bu yöntemde uyarım ışığı pulslar halinde gönderilir.

Bu üç farklı uyarım sonucu elde edilen sinyaller Şekil 2.6.1 de gösterilmektedir.

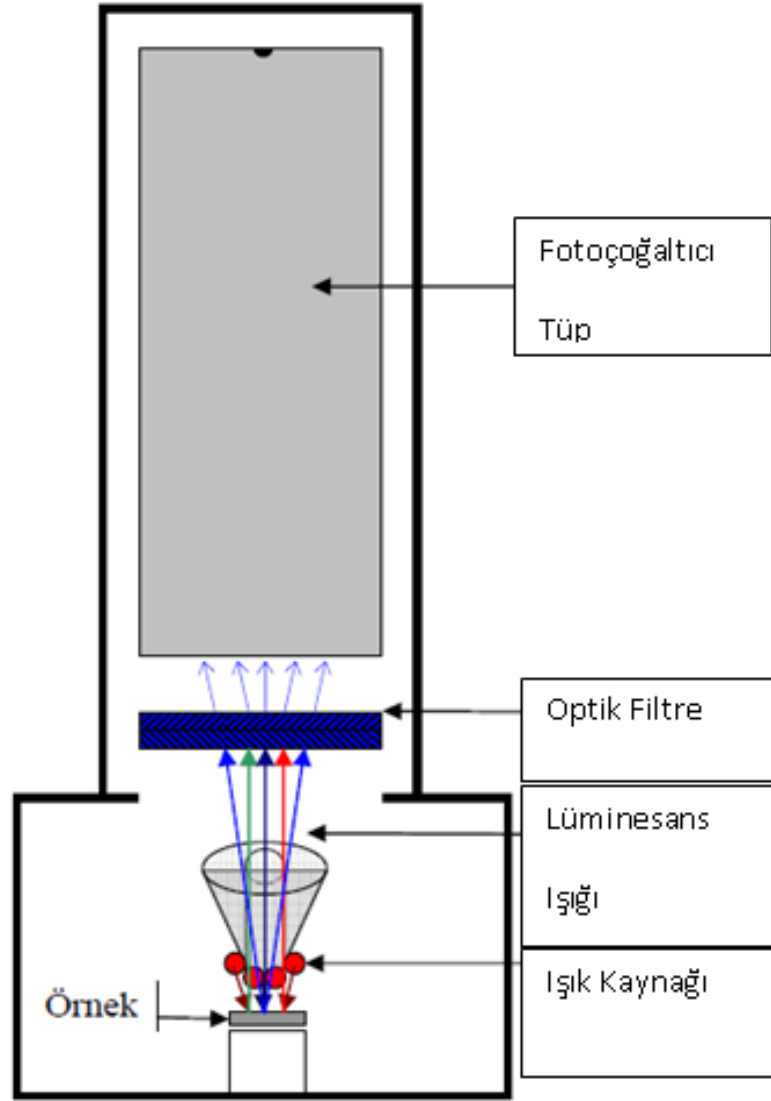


a) CW-OSL

b) LM-OSL

c) POSL

Şekil 2.6. 1 Üç farklı optik uyarmı tipi ve bunlara karşılık gelen OSL bozunum eğrileri



Şekil 2.6. 2 OSL sisteminin basitleştirilmiş şeması

2.6.1 Optik Uyarımlı Lüminesansın Matematik Tanımlaması

Herhangi bir t anında sistemdeki dolu tuzakların toplam konsantrasyonu olan $\mu(t)$,

$$\mu(t) = \int_{\gamma_1} \int_{\gamma_2} \dots \int_{\gamma_m} n(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t) d\gamma_1, d\gamma_2, \dots, d\gamma_m \quad (2.25)$$

şeklinde verilir. Burada $n(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t)$ dolu tuzakkonsantrasyonu, $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m$ tuzak parametreleridir.

Dolu tuzak konsantrasyonu, tuzak parametreleriyle tanımlanır. Ayrıca tuzaklar, tuzak parametreleriyle karakterize edilir. Tuzak parametreleri, tuzakların kararlılığı (elektronların tuzakta kalması), sistemin dengeye dönme olasılığı (elektronun iletim bandından ayrılarak lüminesans merkezine ulaşması) ile ilişkilidir. Örneğin tuzak derinliği bir tuzak parametresidir.

$n(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t)$ dozlama süresiyle arttığı, uyarma süresiyle azaldığından dolayı tuzak parametrelerinin yanı sıra zamana da bağlıdır. Daha açık bir ifadeyle; $n(\gamma, t) = N(\gamma)f(\gamma, t)$ olarak verilebilir. Burada $N(\gamma)$ toplam tuzak konsantrasyonunu, $f(\gamma, t)$ dolu tuzakların tüm tuzaklara oranını gösterir.

Lüminesans ölçümlerinde, sistemin dengeye gelmesi için geçen süre boyunca oluşan lüminesans gözlemlenir. Lüminesans siddeti (I), dolu tuzaklardan elektronların çıkışıyla orantılıdır.

$$I(t) = \frac{d\mu(t)}{dt} \quad (2.26)$$

$$\frac{d\mu(t)}{dt} = -\mu(t) P(t) \quad (2.27)$$

Burada $P(t)$, birim zamanda tuzak bozunma olasılığıdır. Denklem 2.25 ve 2.26 kullanıldığında

$$I t = \frac{d\mu t}{d t}$$

$$= \dots n \gamma_1, \gamma_2, \dots \gamma_m, t P \gamma_1, \gamma_2, \dots \gamma_m, t d\gamma_1, d\gamma_2, \dots d\gamma_m \quad 2.28$$

Olasılık fonksiyonu uyarmanın türüne bağlı olarak ifade edilir.

Isı ile uyarım söz konusu ise;

$$p F = \nu \kappa \exp\left(-\frac{F}{kT}\right) \quad (2.29)$$

Denklemden ν fonon-örgü titreşim frekansı, κ ; geçiş olasılık sabiti, F ; Helmholtz enerji potansiyeli ve k ; Boltzman sabitidir.

Optik uyarma için ise olasılık fonksiyonu aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır:

$$p E_0 = \Phi \sigma(E_0) \quad (2.30)$$

Burada E_0 ; tuzaktan elektron çıkarmak için ışığın sahip olması gereken enerji, Φ ; ışık şiddeti ve $\sigma(E_0)$; fotoiyonizasyon tesir kesitidir.

2.7 EŞDEĞER DOZ BELİRLEME YÖNTEMLERİ

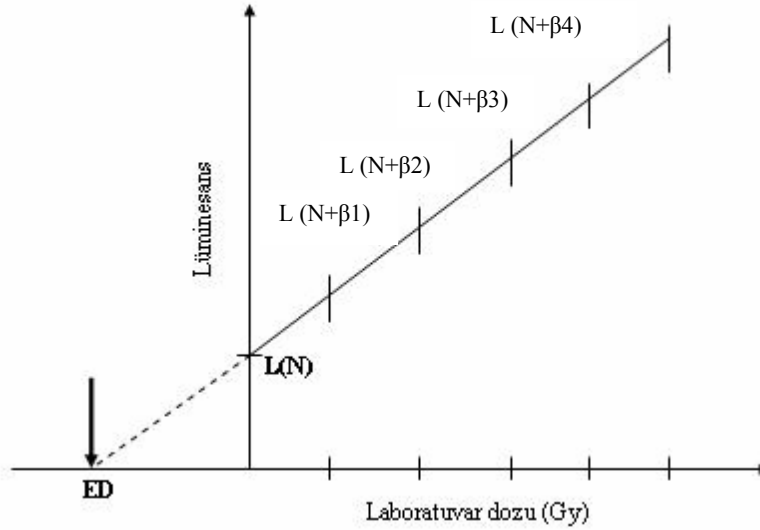
Genellikle bir numunenin zaman içerisinde bünyesinde topladığı doz, “paleodoz” , “eşdeğer doz” veya “toplam soğurulan doz” olarak adlandırılır. Bu dozun bilinmesi yaş tayini çalışmaları ve kaza dozimetri açısından kritik öneme sahiptir. Eşdeğer dozun belirlenmesinde belli başlı iki yöntem vardır.

2.7.1 Çoklu Tablet-İlave Doz Yöntemi (MAAD)

Bu yöntemde uygun boyutlara getirilen örneklerden çok sayıda özdeş tabletlerden (disk) (genellikle 5-6 tablettten az olmamak üzere) oluşan gruplar hazırlanarak ilk grup doğal sinyalin belirlenmesi amacıyla okunur.

Diğer gruplardaki tabletlere henüz bir işlem uygulanmamıştır ve üzerlerindeki doğal dozu muhafaza etmektedirler. Sırasıyla her bir gruba doğal doza ilave olarak artan

laboratuvar dozları verilir. Sonuçta elde edilen doz-cevap eğrisinden doz eksenine ekstrapolasyon yapılarak eşdeğer doz saptanmış olur (Şekil 2.7.1.1).



Şekil 2.7.1. 1 MAAD yöntemi

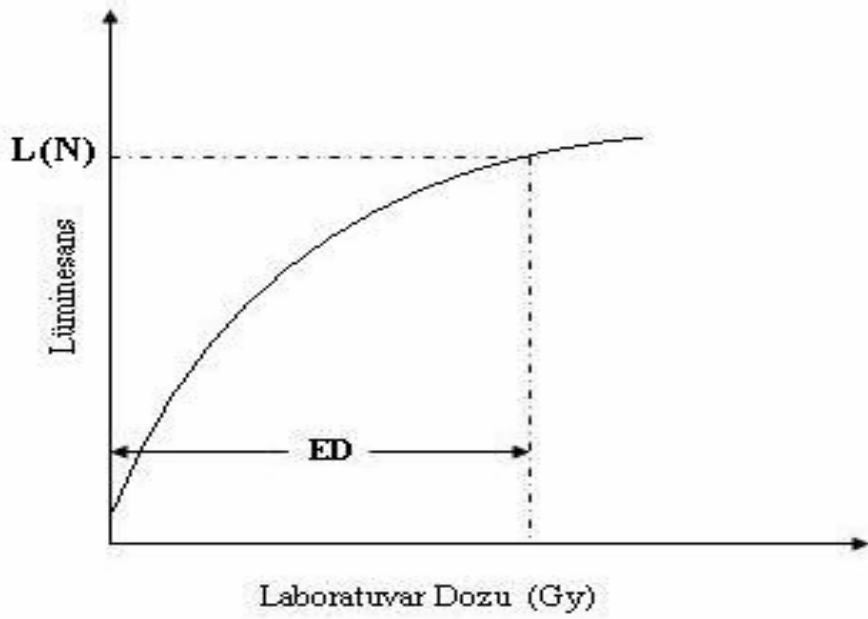
Bu tezde kaza dozu MAAD yöntemiyle hesaplanmıştır.

2.7.2 Tek Tablet Yeniden Oluşturma Tekniği (SAR)

Bu yöntemde hazırlanan tek tablet hem doğal sinyal ölçümü amacıyla kullanılır hem de laboratuvar dozları aynı tablet üzerinden ölçülür. Doğal doza karşı gelen lüminesans sinyalinin saptanmasından sonra örnek sıfırlanır ve bilinen bir doz verilir. Tekrar sıfırlanan örneğe sırasıyla artan dozlar verilerek doz-cevap eğrisi oluşturulur. Sonuçta lüminesans sinyaline karşılık gelen dozlar artık belirlidir ve doğal lüminesans sayımının hangi doza karşılık geldiği interpolasyon yoluyla bulunur (Şekil 2.7.1.2).

SAR tekniğinde hep aynı tablet kullanıldığı için kütle normalizasyonu gerektirmez.

Uygulama açısından daha basit olmakla beraber, tezde incelenen örneklerin yalnızca bir kez okunabilmeleri sebebiyle, SAR yöntemi uygun değildir.



Şekil 2.7.1. 2 SAR yöntemi

2.8 X-IŞINLARI FLORESANS SPEKTROSKOPİSİ

X-ışınları Floresans (XRF) spektroskopisi elementel kompozisyonu belirlemede kullanılan önemli yöntemlerden biridir.

X-ışınları Floresans Spektrometresi ile;

- Si, Al, Ti, Mn, Mg gibi ana element oksitleri yüzde (%) ağırlık cinsinden
- Rb, Ba, Sr gibi eser elementleri,
- Cr, Ni, Co, Cu ve Zn gibi geçiş elementleri,
- La, Ce, Pr, Nd gibi nadir toprak elementleri ppm düzeyinde analiz edilir.

Atom numarası 9 ile 92 arasında olan elementlerin kantitatif analizini yapar. Atom numarası 9'un altında olan elementleri inceleyemez.

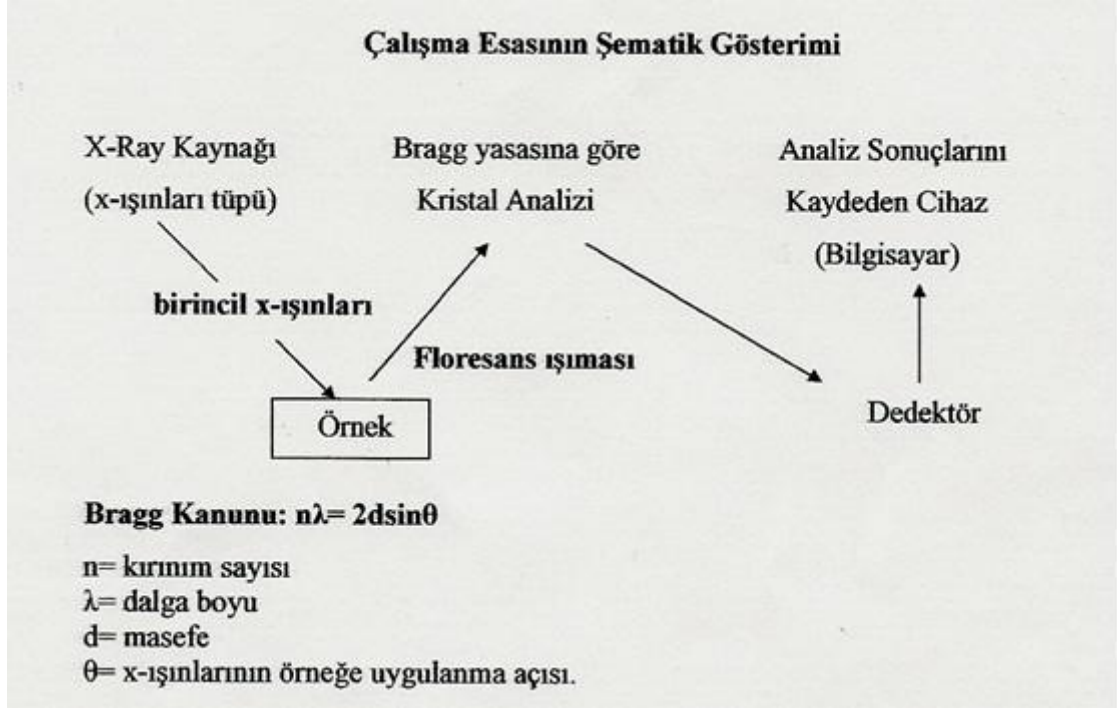
Bu yöntemde analiz edilecek örnek kırma, öğütme işlemleriyle pudra haline getirilir. Kayaç ve toprak örneklerinden 4 g, bitki örneklerinden ise belli miktarda örnek alınır. Örnek çeşitli bağlayıcı malzemelerle birlikte hidrolik pres altında sıkıştırılarak pres-pastil halinde analize hazır hale getirilir.



Şekil 2.8. 1 Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Petrografi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarındaki X-ışınları Floresans (XRF) spektroskopi cihazı.

2.8.1. XRF Çalışma Prensibi

Madde üzerine yüksek enerjili bir X-ışını fotonu düşürülecek olursa atomdan fotoelektronlar kopartılacaktır. Bu koşulda atomun yörüngelerinde bir ya da daha fazla elektron boşlukları oluşacak ve kararsız olan atom dış yörüngelerdeki elektronların boşlukları doldurması ile kararlı duruma gelecektir. Fakat her bir elektron boşluğu doldurmada atom, orbital enerji farkı ile orantılı bir foton yayınlayacaktır. Bu karakteristik foton enerjileri algılanarak kimyasal kompozisyon nitel ve nicel olarak hesaplanabilir. XRF sisteminin çalışma prensibi Şekil 2.8.1.1 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.8.1. 1 XRF'in çalışma prensibinin şematik gösterimi

XRF spektrometresinin önemli üniteleri ve işlevleri şu şekildedir:

- **X-Işınları Tüpü:** Birincil X-ışınlarının elde edilmesi amacıyla kullanılır. Bu tüplerde elde edilen birincil X-ışınları spektrumu uygun filtreler yardımıyla filtrelenerek, sadece $K\alpha$ dalga boyuna sahip X-ışını ayrılır ve analiz edilecek örnek üzerine gönderilerek atomların uyarılması ve bu atomların ikincil floresans X-ışınları yayması sağlanmış olur.
- **Kapalı Devre Su Soğutma Ünitesi:** X-ışınları tüpünden birincil X-ışınları elde edilmesi sırasında, X-ışınları tüpünün çok yüksek sıcaklığa maruz kalmasından dolayı devamlı soğutulması gerekmektedir. Bu nedenle distile su kullanılarak kapalı devre halinde soğutma elde edilmesine yarayan bir ünitedir.
- **Örnek Odası:** Birincil X-ışını bombardımanına tutulacak olan örneğin konulduğu kurşundan yapılmış olan ve yüksek vakum altında muhafaza edilen bir ünitedir.

- **Floresans X-ışınlarının Analiz Edildiği Analizör Ünitesi:** Birincil X-ışınlarıyla vakum altında bombardıman edilen örneğin uyarılması sonucunda örnek atomlarının yaydığı floresans X-ışınlarının dalga boyunun ölçüldüğü kısımdır.

Yukarıda verilen bilgiler, kurşun kalemlerin XRF ölçümlerinin yapıldığı Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) verilerine göre hazırlanmıştır. Gelişen teknolojiye paralel olarak mobil XRF sistemleri de dahil olmak üzere çok daha pratik ve küçük cihazlar kullanılmaktadır. Bu bölüm, tez ölçümlerinin alındığı sisteme ilişkin (Şekil 2.8.1) bilgilerle sınırlandırılmıştır.

2.9 KURŞUN KALEM ÜRETİMİ

2.9.1 Kurşun Kalemin Yapısı

Kurşun kalem, esas olarak grafit ve kil karışımından meydana gelir. Bu, iç kısımdır ve mine olarak adlandırılır. Ahşap kısım ise çeşitli ağaçlardan üretilir. Kavak, ıhlamur, sedir ve çam ağacı çoğunluktadır. Kolay bulunması sebebiyle kavak tercih edilir. En kaliteli kalemler ise California Sediri'nden üretilir. Kurşun kalemin ilk ne zaman kullanıldığıyla ilgili farklı görüşler olmakla beraber, günümüzdeki şekliyle kurşun kalemler 18. yüzyıldan itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Bilinen en eski kalem örneği ise Şekil 2.9.1.1 de gösterilmektedir. Başlangıçta grafitin bir tür kurşun olduğu düşünüldüğünden, kurşun kalem adının verildiği sanılmaktadır.



Şekil 2.9.1. 1 17. y.y da üretildiği tahmin edilen ve bugünkü kurşun kalemlere benzeyen en eski kalem. (Faber-Castell arşivinden)

Kalemdeki grafit ve kilin karışım oranları, kalemin sertlik derecesini belirler. Kil miktarı arttıkça kalem sertleşir, azaldıkça yumuşak uçlu kalem olarak adlandırılır. En sert kalem 9H koduyla tanımlanırken en yumuşağı 9B olarak adlandırılır. HB kodu ise orta derece sertliği ifade eder. Bazı sınavlarda cevap kağıtlarının 2B kalemle işaretlenmesinin özellikle belirtilmesinin sebebi, optik okuyucuların grafitte, daha doğrusu karbona duyarlı olmalarıdır. B derecesinin artması optik okuyucunun hatasız çalışması açısından önemli olmakla beraber, fazla yumuşak kalemlerle yapılan işaretlemelerde grafit dağılmakta ve okumayı güçleştirmektedir. Bu sebeple 2B kalemler bu amaç için en uygun olanlardır.

2.9.2 Kurşun Kalem Üretimi

Kurşun kalemlerin üretim aşamaları şu şekildedir:

- ✚ Grafit ve kil homojen bir karışım haline getirilir. Kil, bağlayıcı görevi görmesinin yanı sıra kaleme şekil ve dayanıklılık verir. Bu karışıma bazı kimyasallar ilave edilerek pürüzsüz yazım kalitesi ve siyahlık derecesi artırılır.
- ✚ Elde edilen karışım preslenir.
- ✚ Kurutma işleminden sonra yüksek sıcaklıkta (900 °C) fırınlanır.
- ✚ Hazırlanan ahşap kalıplara (lata) yapıştırıcı bir madde dökülür ve üzerine grafit-kil karışımı eklenir.
- ✚ Latanın üst kalıbı üzerine kapatılarak, basınç altında kurutulur.
- ✚ Kalıptaki kalemler kesilerek ayrılır. Bir kalıptan genellikle 8-10 kalem çıkmaktadır.
- ✚ Ayrılan kalemlere yuvarlak, köşeli vb. şekiller verildikten sonra verniklenir.
- ✚ Dış kısım bu haliyle bırakılabileceği gibi boyama işlemi de yapılabilir.

2.10 DOZİMETRİK KAVRAM VE BİRİMLER

2.10.1 Kerma (Kinetic Energy Released in a Material), (K)

Kerma(K), maddenin birim kütlesine radyasyon tarafından aktarılan enerji miktarıdır.

$$K = dE_{tr}/dm \quad (2.31)$$

dE_{tr} , yüksüz iyonize radyasyon tarafından dm kütlesinde oluşturulan tüm yüklü iyonize parçacıkların başlangıçtaki kinetik enerjilerinin toplamıdır.

Kerma'nın SI birimi joule / kilogram (J/kg)'dir.

2.10.2 Işınlama

Işınlama, X veya γ ışınlarının havada oluşturduğu iyonizasyon miktarıdır. SI birimi C/kg olup özel birimi Röntgen'dir.

Röntgen: 1 kg havada 2.58×10^{-4} C'luk pozitif ve negatif yüklü iyonlar oluşturan radyasyon miktarıdır.

2.10.3 Soğurulan Doz (D)

Soğurulan doz (D), maddenin birim kütlesinde soğurulan enerji miktarıdır. Birimi J/kg olup Gray (Gy) olarak adlandırılır.

$$D=dE/dm \quad (2.32)$$

2.10.4 Eşdeğer Doz

Eşdeğer doz (H), soğurulan doz ile boyutsuz radyasyon ağırlık faktörünün, w_R , çarpımına eşittir. Birimi J/kg olup özel adı Sievert'tir (Sv).

$$H_{T,R} = \sum_R w_R \cdot D_{T,R} \quad (2.33)$$

2.10.5 Etkin Doz (E)

Etkin doz (E), eşdeğer dozun doku veya organ ağırlık faktörleriyle çarpılması ile elde edilir. Her organ için bulunan sonuçların toplamı tüm vücut için etkin dozu verir.

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \quad (2.34)$$

E : etkin doz

w_T : T doku ya da organı için doku ağırlık faktörü

H_T : T doku ya da organındaki eşdeğer doz.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasında 18 farklı kalem ve kalem ucu incelenmiştir. Çizelge 3.1 de kalem ve uçların listesi verilmektedir.

Çizelge 3. 1 İncelenen kalemlerin ve uçların marka, model ve renkleri

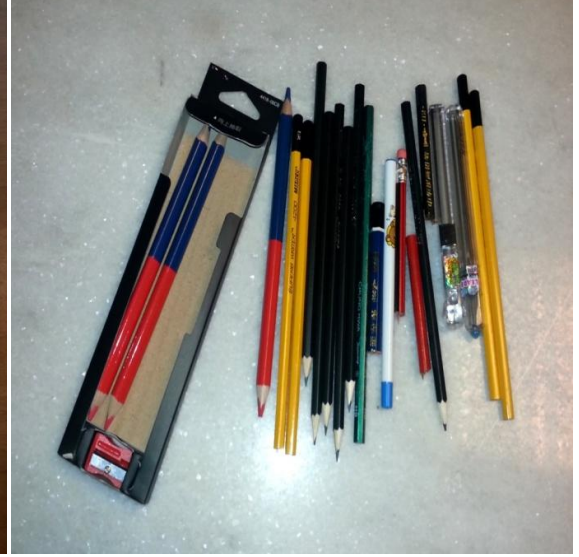
NO	Markası	Modeli	Renk
1	CHUNG HWA	EX-EXB 111	SİYAH
2	GREAT WALL	CARPENTERS 555	SİYAH
3	CHUNG HWA	CHARCOAL DRAWING 112	SİYAH
4	AXIOM	HB-2 8000-12CB	SİYAH
5	CHUNG HWA	6151 HB	SİYAH
6	SUPER B WRİTER	4200-12CB	SİYAH
7	CHUNG HWA	DRAWING 101 HB	SİYAH
8	RILAKKUMA (uç)	MIDA 2B-0.5 MD-Q8690	SİYAH
9	PENCIL LEADS (uç)	1002 2B-0.5	SİYAH
10	RUIKE (uç)	RK-633 2B-0.5	SİYAH
11	RED-BLUE	4418 06-CB	KIRMIZI
12	RED-BLUE	4418 06-CB	MAVİ
13	JUMBO	9205B-06	PEMBE
14	JUMBO	9205B-06	YEŞİL
15	JUMBO	9205B-06	MAVİ
16	JUMBO	9205B-06	TURUNCU
17	JUMBO	9205B-06	SARI
18	JUMBO	9205B-06	KIRMIZI

Kurşun kalemler, keski setindeki uygun başlıklar kullanılarak dış kısımlarındaki ahşap kısımdan ayrılmış ve yüzeydeki kalıntılar tıraşlanmıştır(Şekil 3.1, Şekil 3.2). Elde edilen iç kısım agat havanlarda elle dövülerek, 90-140 mikron arası parçacık boyutuna

sahip numuneler elekler yardımıyla elde edilmiştir (Şekil 3.3). Uçlar ise doğrudan agat havanda dövülerek uygun boyutlara getirilmiştir.



Şekil 3. 1 Keski seti



Şekil 3. 2 İncelenen kalem ve uçlardan bazıları

Numunenin az miktarda olduğu durumlarda dövme ve eleme işlemlerinin elle yapılması daha fazla numune elde edilmesini sağlamaktadır. Ölçüm öncesinde örneklere herhangi bir kimyasal işlem uygulanmamıştır.



Şekil 3.3 Elekler

Ölçüme hazır hale getirilen örnekler etiketlenerek tüplere konulmuştur.



(a)



(b)



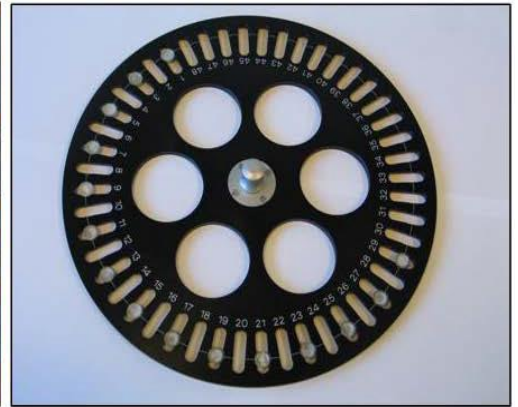
(c)

Şekil 3. 4 Ölçüme hazır hale getirilmiş numuneler. (a) Siyah kalem ve uçlar , (b),(c) Renkli kalemler

Hazırlanan örnekler (Şekil 3.4), silikon sprej yardımıyla disklere yapıştırılarak (Şekil 3.5) örnek tepsisine konulmuş (Şekil 3.6) ve RISØ marka TL/OSL-DA-20 model okuyucuda (Şekil 3.7) OSL ölçümleri alınmıştır. Optik uyarım mavi ve kızılötesi ışıkla yapılmıştır.



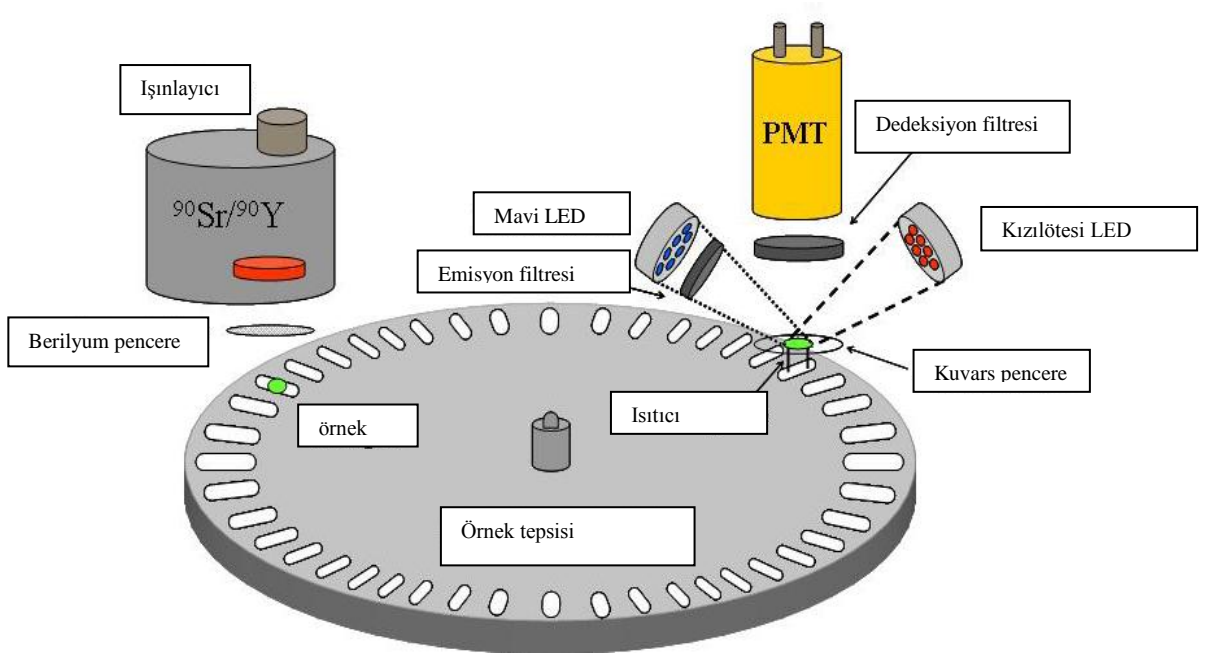
Şekil 3.5 Çelik disk ve kaplar



Şekil 3.6 Örnek taşıyıcı

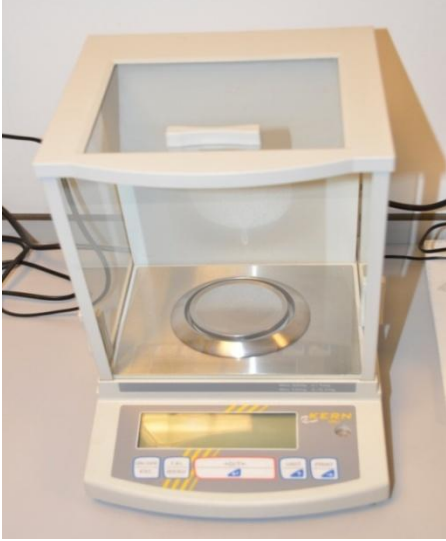


Şekil 3.7 RISØ TL/OSL ölçüm sistemi



Şekil 3.8 TL/OSL ölçüm sisteminin şematik görünümü (RISØ).

Disklere yapıştırılan örneklerin bir süre sonra küçük sarsıntılarda bile diskte tutunamayıp döküldüğü görülmüş, bunun üzerine kaplara konularak okunmasına karar verilmiştir. Her kaba 5 ± 0.2 mg örnek konulmuştur. Tartma işlemi KERN marka hassas terazi (Şekil 3.9) kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.9 Hassas terazi

TL ölçümleri, Harshaw 3500 model TLD okuyucu (Şekil 3.10) kullanılarak yapılmıştır. Örnekler aynı kaplara yine 5 ± 0.2 mg olacak şekilde konulmuştur. Maksimum sıcaklık $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, ısıtma hızları 2, 5, 10 ve $25\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ olarak seçilmiştir. $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ön ısıtma uygulanmıştır.



Şekil 3.10 Harshaw 3500 TLD okuyucu.

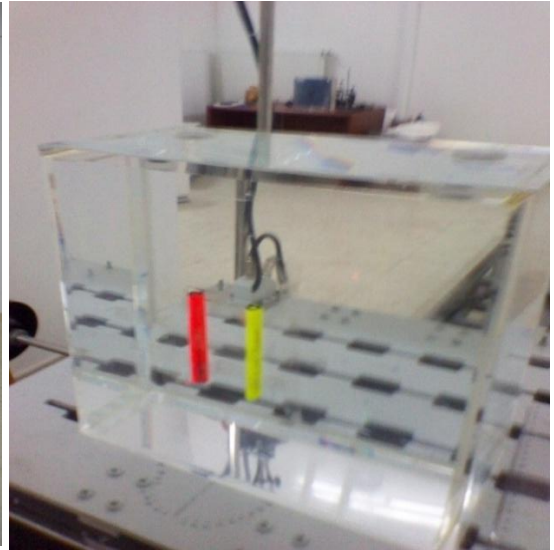
Her okumadan sonra okuyucu tepsisi ve optik filtesi alkol yardımıyla temizlenmiştir.

Cs-137 ışınlamaları AÜ NBE’de bulunan ışınlama sisteminde (Şekil 3.11) 8.58 Ci kaynak kullanılarak 0.5 m mesafede, ISO gövde fantomu üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12). Verilen dozlar, PTW marka TM-32005 referans dedektörüyle ölçülmüş, ayrıca fantoma incelenecek kalemin yanı sıra TLD-100 kristalleri yerleştirilerek doz ölçümü yapılmıştır. TLD-100 kristalleri incelenecek kalemin yanına yerleştirilen bir başka kalemin gövdesine konularak ölçüm alınmıştır. Işınlama koşullarının aynı olması açısından, ikinci bir kalemin gövdesindeki ahşap kısım yarılarak TLD’ler yerleştirilmiş, ardından yarık kapatılmıştır. Her ışınlamadan sonra kalemden bir parça kesilerek ayrılmış, diğer dozlar geri kalan kısma verilmiştir.

Beta kaynağı kullanılarak yapılan ışınlamalarda, örnekler kaplara konularak veya disklerle yapıştirılarak, örnek taşıyıcı tablaya yerleştirilmiş ve RISØ TL/OSL sisteminde dahili olarak bulunan Sr-90 kaynağı kullanılarak ışınlanmıştır. Kaynaktan yayınlanan beta parçacıklarının maksimum enerjisi 2.27 MeV’dir. Kaynak aktivitesi 1.48 GBq’dır.



Şekil 3.11 : Cs-137 ışınlama sistemi



Şekil 3.12 Gövde fantomu üzerinde ışınlama

Kaza dozu , “çoklu tablet-ilave doz yöntemi (MAAD)” ile hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

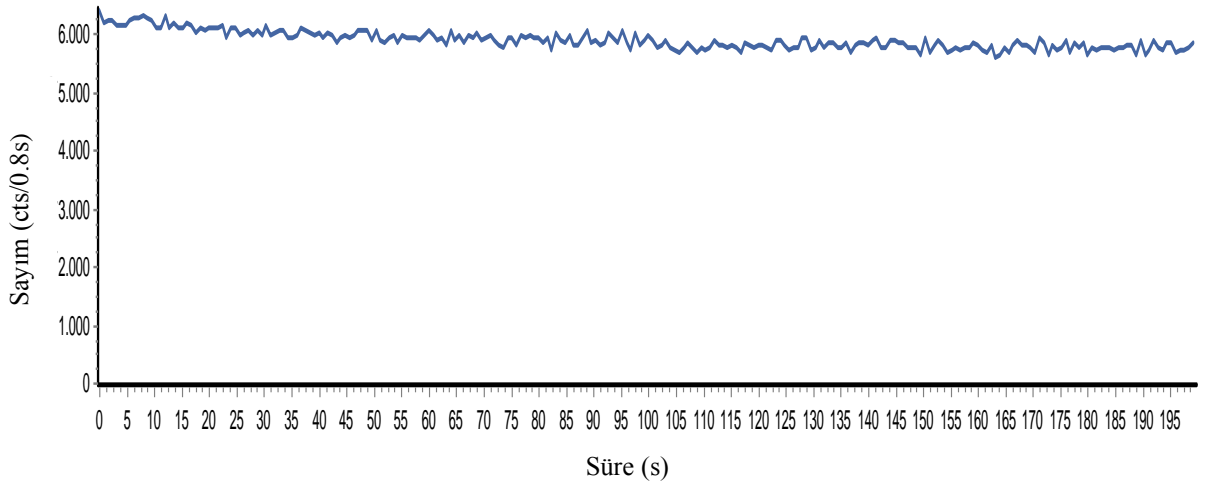
4.1 KURŞUNKALEMLERİN OSL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

4.1.1 OSL Sinyallerinin Şekli

Tez çalışmasının asıl amacı olan kaza dozunun saptanması, termoluminesans ölçümlerle gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, kurşunkalemlerin OSL duyarlılıkları olup olmadığı, varsa geriye dönük doz tayinini OSL yöntemiyle yapılıp yapılamayacağı da araştırılmıştır. Uyarım mavi ve IR ışıkla gerçekleştirilmiştir.

Mavi ışıkla yapılan uyarım sonucunda 18 farklı kalem örneğinin verdiği OSL sinyalleri 5 grup altında toplanabilmektedir. Kalemlerin bazıları bu sinyal tiplerinden sadece birini verirken bazıları birkaçını birden sergileyebilmektedir.

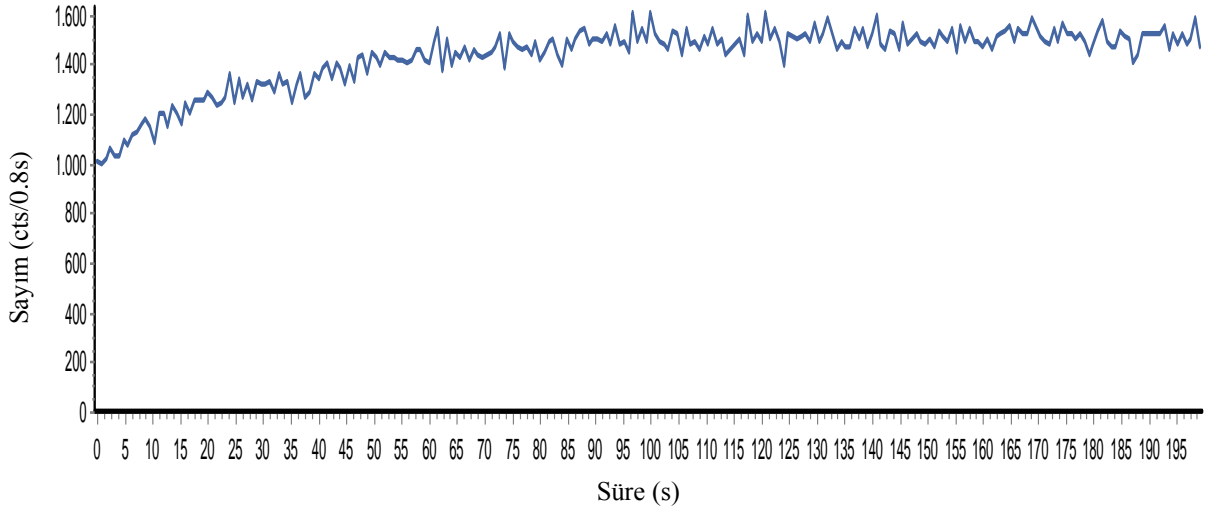
1. Kategori: Çok yavaş bozunma gösteren sinyaller.



Şekil 4.1.1. 1 Zamanla sabit kalan sinyal tipine bir örnek

1. kategori olarak adlandırılan sinyal tipinde, şiddet uyarım süresine bağlı olarak hemen hemen hiç değişim göstermeksizin belirli bir sayım değerinde sabit seyretmektedir. Uyarım süresinin artırılmasıyla sinyaldeki azalmanın görülmesi mümkün olabilirse de uygulama açısından pratik değildir. Şekil 4.1.1.1' de bir örnek görülmektedir.

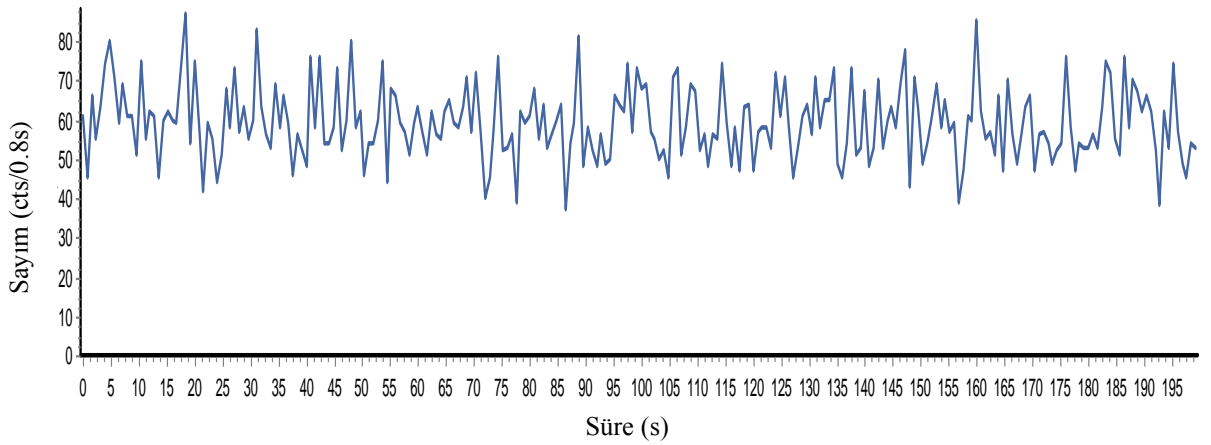
2. Kategori: Sinyal şiddeti önce artan sonra sabit kalan.



Şekil 4.1.1. 2 Sinyal şiddeti başlangıçta artan sonra sabit kalan sinyal tipine bir örnek

2. kategoride ise, uyarım süresinin ilk saniyelerinde şiddette bir artış görülmekte sonra sabit devam etmektedir. Bu tip sinyallere bir örnek Şekil 4.1.1.2 de verilmiştir. AÜ NBE bünyesinde bulunan OSL cihazı sabit bir ışık şiddetiyle uyarım yapan bir sistem olduğundan sinyal şiddetinde zamanla bir artış olması beklenmemektedir. Işık şiddetinin artarak uygulandığı OSL sistemleri için sinyal şiddetinde artış gözlenebilir. Bu sebeple 2. Kategori sinyal tipinin OSL açısından anlamlı olamayacağı görülmektedir.

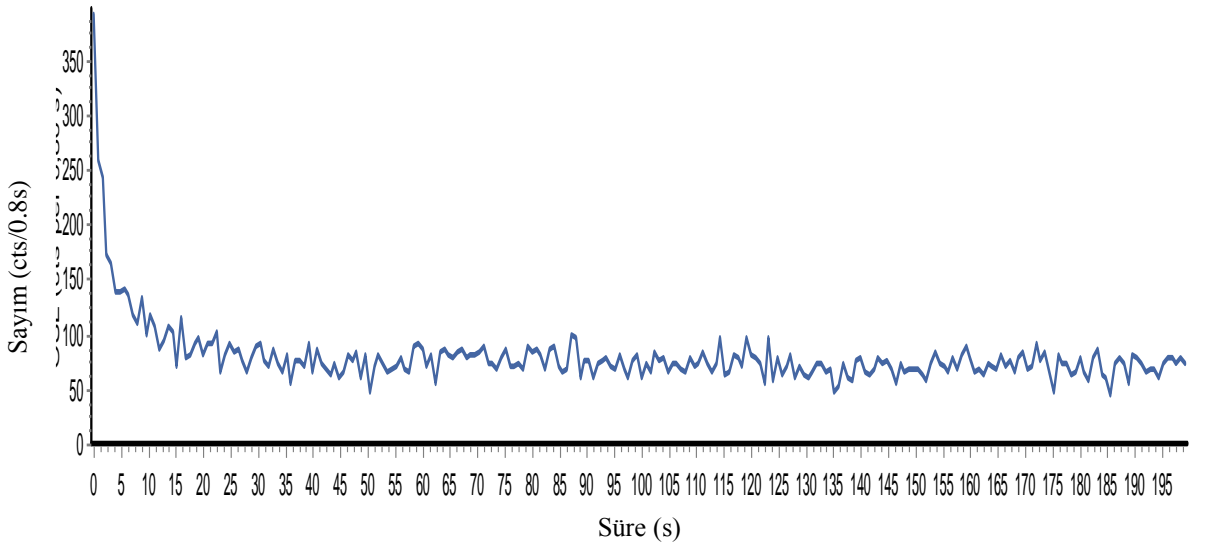
3. Kategori: Sinyal şeklinin gürültü formunda olduğu durum



Şekil 4.1.1. 3 Sinyal şeklinin gürültü formunda olduğu durum

3. kategori olarak sınıflandırılan sinyaller, tamamen rastgele bir davranış sergilediklerinden gürültü formunda sinyaller olarak adlandırılmıştır. Genellikle 50-80 cts/s sayım değerleri etrafında inişli çıkışlı bir seyir izlemektedirler. Şekil 4.1.1.3’de bu sinyal tipine bir örnek verilmiştir.

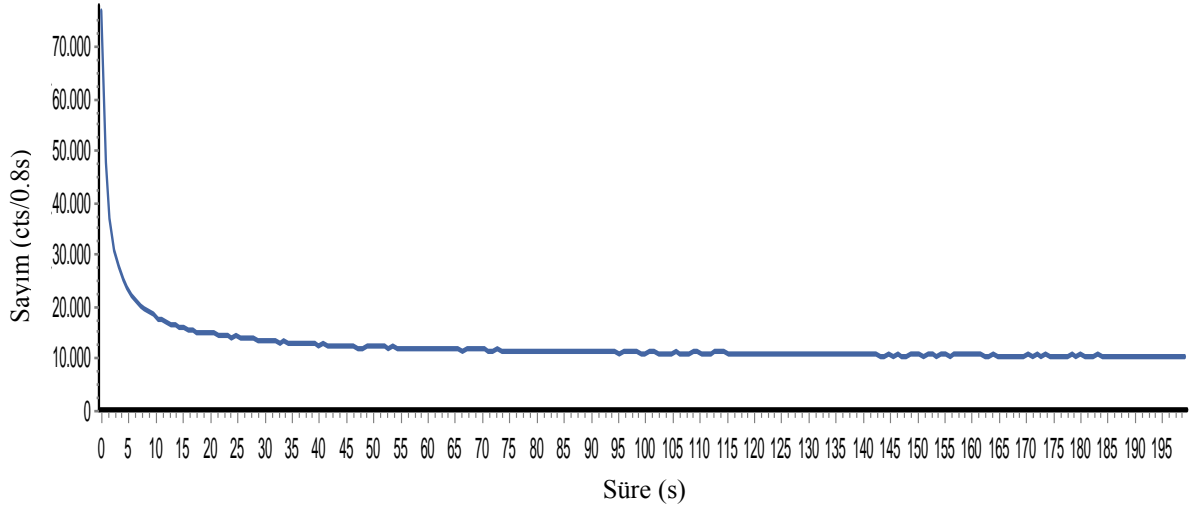
4. Kategori: Sinyalin şekli OSL bozunumu formunda olmakla beraber sinyal şiddetinde doza bağlı değişiklik göstermeyen.



Şekil 4.1.1. 4 OSL bozunumu formundaki sinyal

4. kategori de ise ilk 3 gruptan farklı olarak Şekil 4.1.1.4’de görüleceği üzere OSL bozunum eğrisine uyan sinyaller elde edilmiştir. Bu sinyallerin dozla değişim gösterip göstermedikleri incelendiğinde, herhangi bir değişim gözlenememiştir.

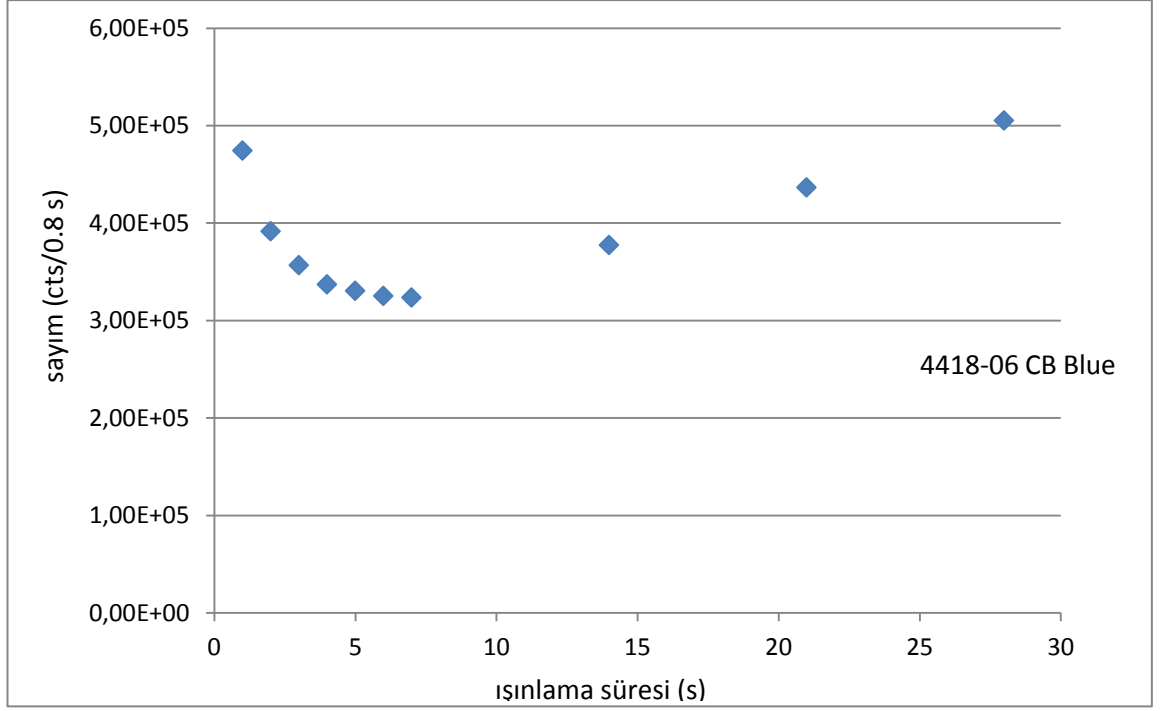
5. Kategori: Sinyal şiddeti OSL bozunumu formunda olan ve dozla değişen.



Şekil 4.1.1. 5 OSL bozunumuna uyan ve dozla bağıllık gösteren sinyal

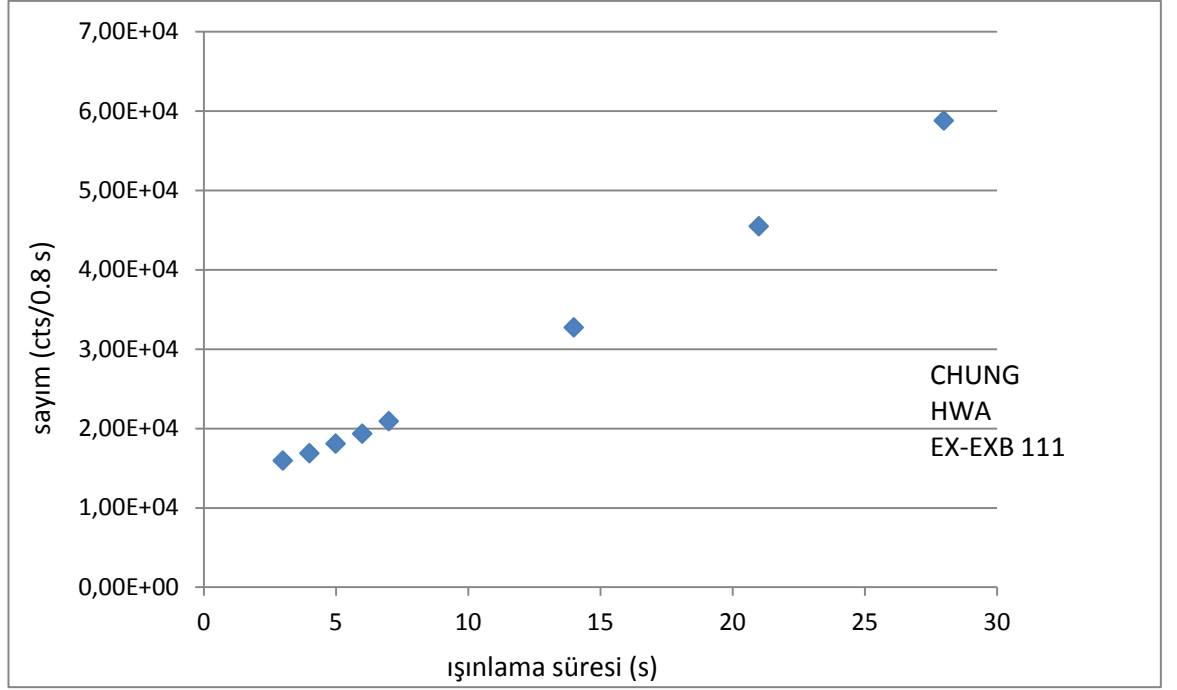
5. kategori sinyalleri ise OSL bozunumuna uydukları gibi dozla da değişmektedir. Bu sinyal tipinin bir örneği Şekil 4.1.1.5’de verilmiştir. Bu tipte sinyal veren kalemler Chung Hwa Ex-Exb 111 ve Red/Blue 4418-06 CB marka kalemlerdir. Fakat bu gruba dahil bir kalemde hazırlanan birçok tablette ancak bir veya birkaçında uygun sinyal görülebilmekte, aynı tablete yeniden doz verildiğinde ise tekrar aynı sinyal alınamamaktadır. Bu durumun önüne geçmek amacıyla çok sayıda tablete farklı dozlar verilerek okumalar yapılmış ve bazı sinyallerde dozla artan şiddet gözlenebilmiştir. Deneyler defalarca tekrarlanarak sınırlı bir doz aralığında ve bir defaya mahsus olmak üzere dozla sayım arasında lineer bir ilişki gözlenebilmiştir. Ayrıca bu kalemlerden hazırlanan bazı numunelerden elde edilen sinyaller diğer 4 kategorinin birine veya birkaçına da girmektedir. Son derece kararsız ve tekrarlanabilirliği olmayan bu sinyallerin sebebinin, dozla duyarlı bileşenlerin tüm kalem içerisinde homojen olarak dağılması olduğu değerlendirilmektedir. Chung Hwa Ex-Exb 111 ve Red/Blue 4418-06 CB marka kalemlere artan değerlerde dozlar verilerek dozla bağıllıkları incelenmiştir.

4.1.2 Doz-Cevap Eğrileri



Şekil 4.1.2. 1 4418-06 CB Red/Blue marka mavi renkli kalem için doz-cevap eğrisi

Şekil 4.1.2.1’de 4418-06 CB Red/Blue marka mavi renkli kalem için doz-cevap eğrisi görülmektedir. Işınlama süresindeki artışa rağmen sayım değerleri düzensiz olarak değişmekte, ancak defalarca tekrarlanan deneyler sonucunda 1-4 Gy doz aralığında (7-28 saniye ışınlama süresi), sayım değerlerinde lineer sayılabilecek bir değişim görülmektedir.

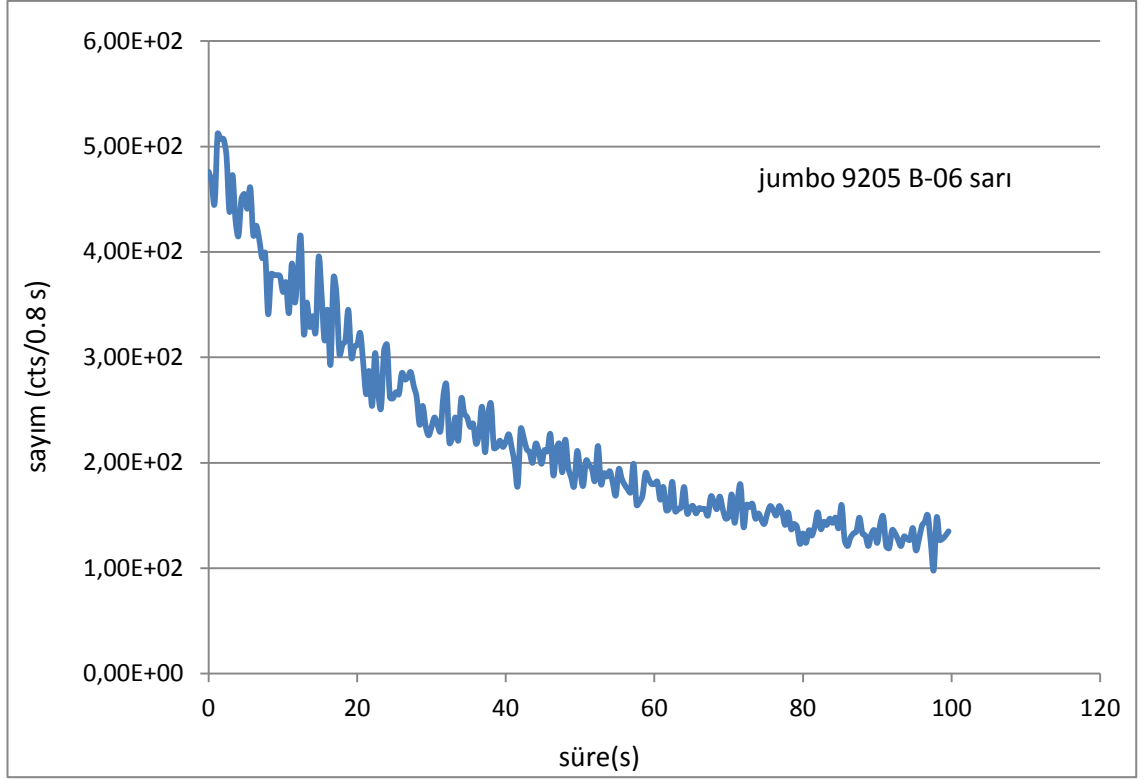


Şekil 4.1.2. 2 Chung Hwa Ex-Exb 111 marka kalem için doz cevap eğrisi

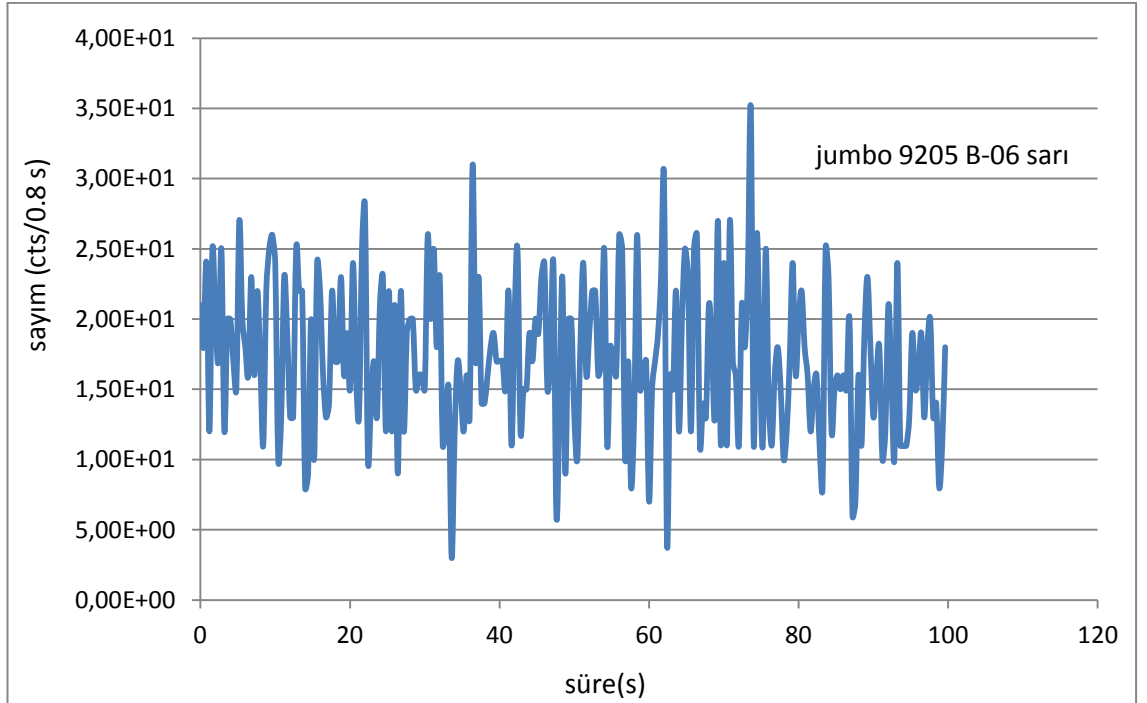
Benzer deney tekrarları ile Chung Hwa Ex-Exb 111 marka kalem için de lineer artışın gözlenebildiği bir doz-cevap eğrisi elde edilmiştir. Şekil 4.1.2.2'den görülebileceği gibi 400 mGy-4 Gy (3-28 saniye ışınlama süresi) aralığında bir defaya mahsus bir lineer artış gözlenebilmiştir.

4.1.3 Infrared Uyarım Sonuçları

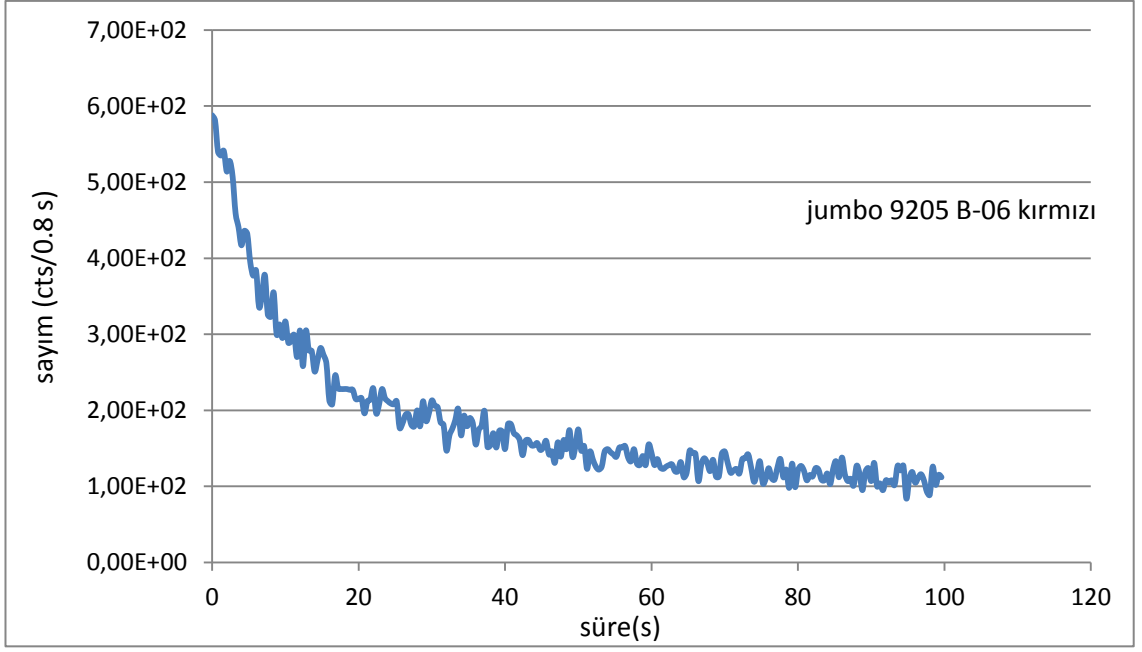
IR ışık ile uyarılan örneklerden JUMBO marka sarı ve kırmızı kalemden sinyal alınabilmiştir. Sinyal çok sayıda hazırlanan disk ve kaplardan ancak birinde görülebilmştir. Bir kez sinyal gözlenen örneğe daha sonra doz verilse bile sinyal yeniden gözlenememektedir.



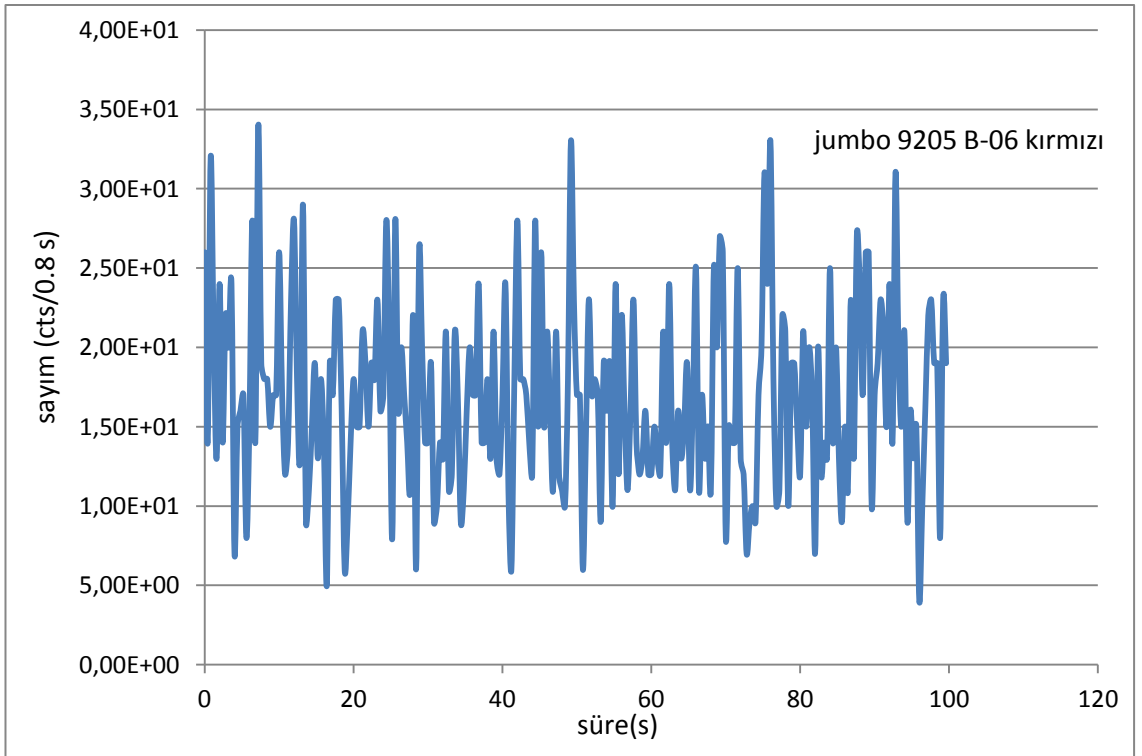
Şekil 4.1.3. 1 JUMBO 9205 B-06 marka sarı renkli kalemin IR ile uyarılmasıyla elde edilen sinyal.



Şekil 4.1.3. 2 JUMBO 9205 B-06 marka sarı renkli kalemde ilk okuma sonrasında OSL sinyalinin bozulması



Şekil 4.1.3. 3 JUMBO 9205 B-06 marka kırmızı renkli kalemin IR ile uyarılmasıyla elde edilen sinyal



Şekil 4.1.3. 4 JUMBO 9205 B-06 marka kırmızı renkli kalemde ilk okuma sonrasında OSL sinyalinin bozulması

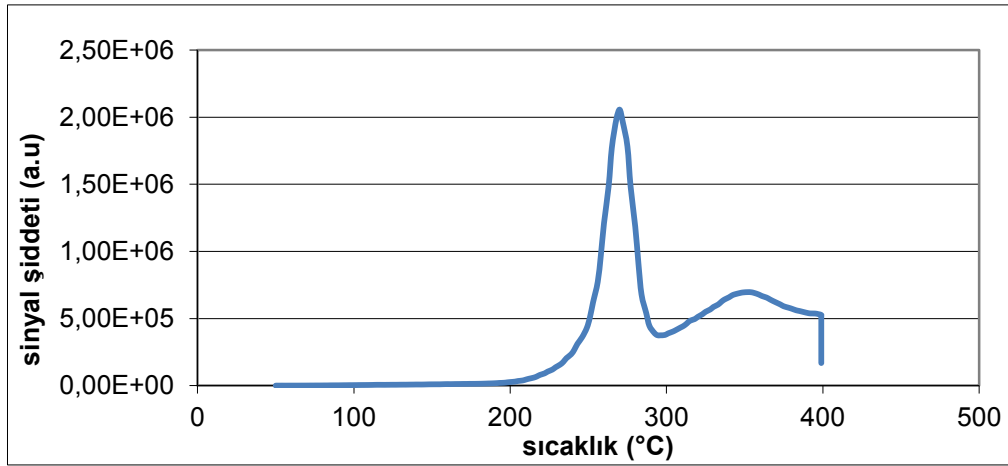
18 farklı kalem örneği IR ışıkla da uyarılmış ve yalnızca iki kalemde OSL bozunum sinyali görülmüştür. JUMBO 9205 B-06 marka sarı ve kırmızı renkli kalemler IR'ye duyarlıdır. Şekil 4.1.3.1 ve şekil 4.1.3.3' de bu kalemlerden hazırlanan bazı numunelerde görülen bozunum eğrisi gösterilmektedir. Yapılan çalışmalarda bu sinyallerin doza bağlılık göstermediği anlaşılmıştır. Ayrıca mavi uyarımda da karşımıza çıkan, sinyalin sadece bir kez görülmesi ve ilk okumadan sonra sinyal şeklinin bozulması durumu burada da geçerlidir. Şekil 4.1.3.2 ve Şekil 4.1.3.4' de sinyal şeklinin ilk okuma sonrasında nasıl bozulduğu gösterilmektedir.

4.2 KURŞUNKALEMLERİN TERMOLÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

18 farklı kalemin TL sinyali incelenmiş ve TL cevabı olan iki kalem ile geriye dönük kaza dozu tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Bu kalemler JUMBO 9205 B-06 marka sarı ve yeşil renkli kalemlerdir.

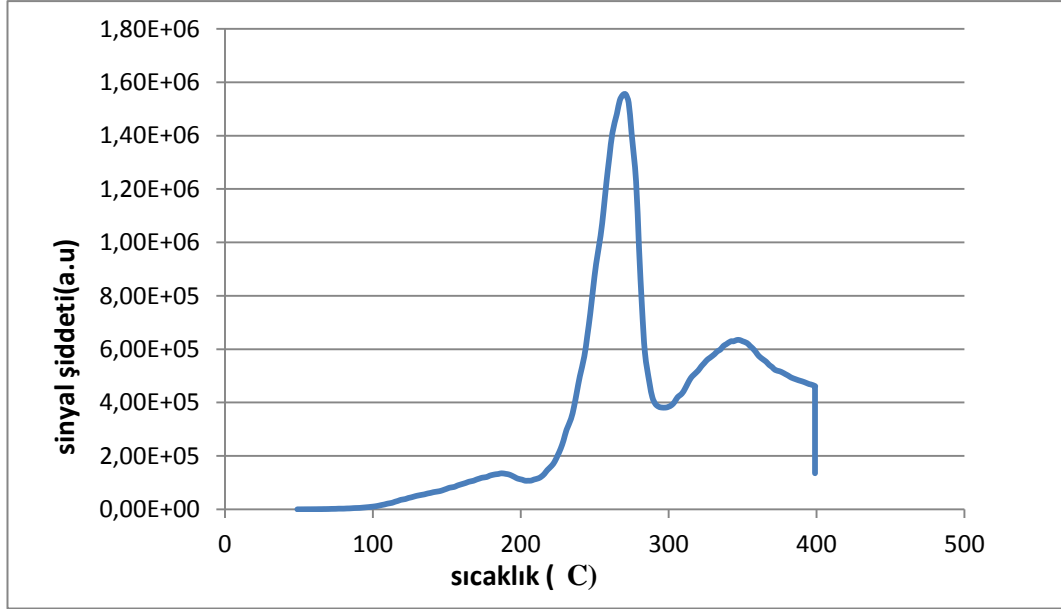
4.2.1 Işıma Eğrileri

JUMBO 9205 B-06 sarı ve yeşil renkli kalemlerde de dozimetrik tepe 270 °C civarında pik vermektedir.



Şekil 4.2.1. 1 JUMBO 9205 B-06 sarı renkli kaleme ait ışımaya eğrisi

Şekil 4.2.1.1 sarı renkli kaleme ait ışıma eğrisini göstermektedir. Sarı renkli kalemin yaklaşık 270°C ve 360°C civarlarında iki tepeye sahip olduğu görülmektedir. Bunlardan 270°C piki dozla değişim göstermektedir.

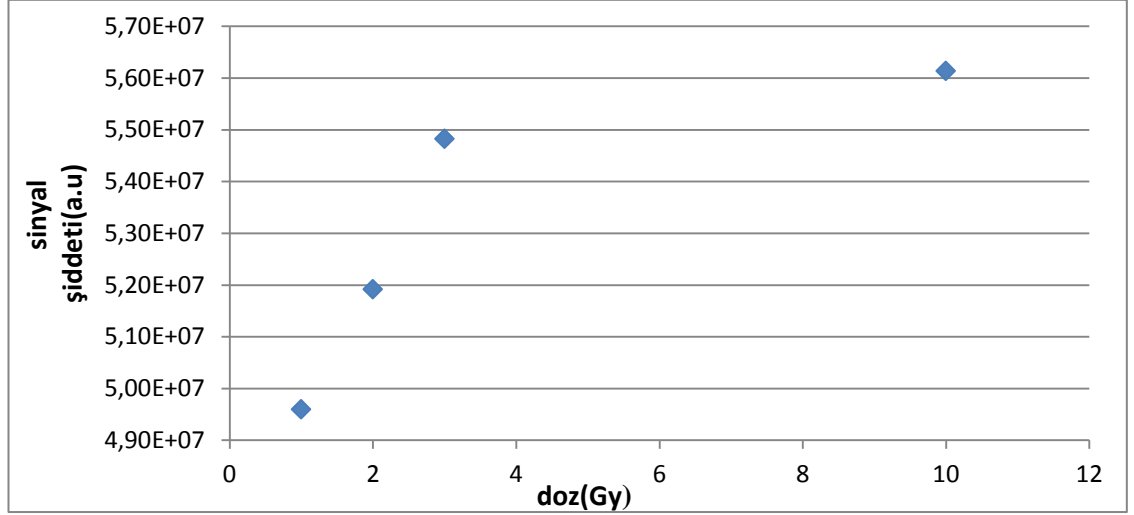


Şekil 4.2.1. 2 JUMBO 9205 B-06 yeşil renkli kaleme ait ışıma eğrisi

Şekil 4.2.1.2 de ise yeşil renkli kalemin ışıma eğrisi görülmektedir. 270°C ve 360°C pikleri aynı olmakla beraber 180°C civarında bir tepe daha vardır. Dozla değişim gösteren tepe, sarı kalemde olduğu gibi 270°C tepesidir.

4.2.2 Doz -Cevap Eğrileri

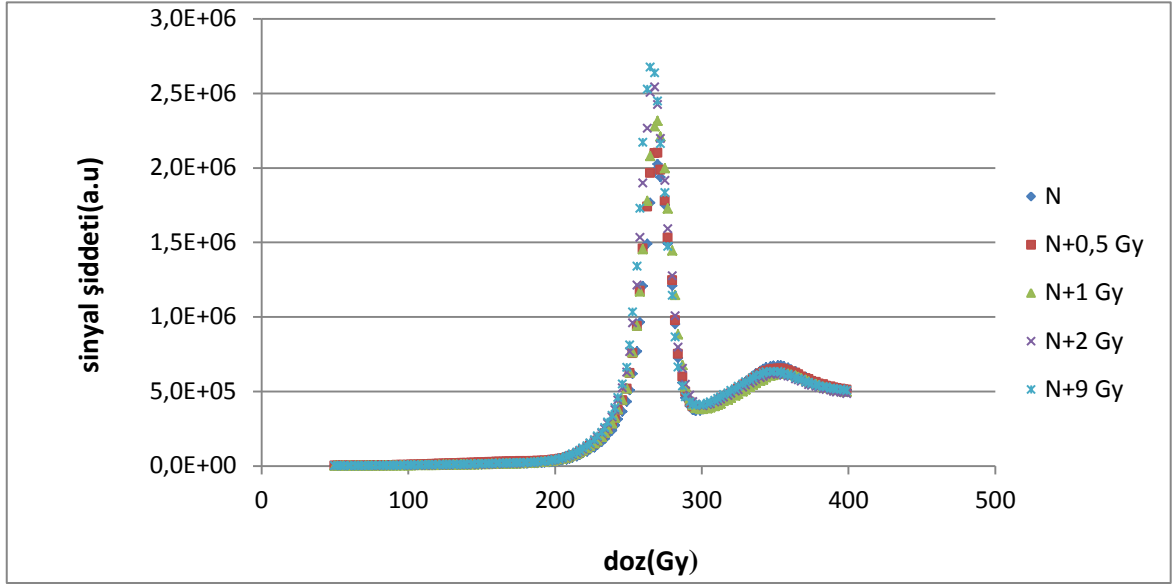
Cs-137 kaynağıyla 1, 2, 3 ve 10 Gy doz verilerek doz cevap eğrisi aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Numune miktarının yetersiz olması ve bir kez ısıtılan numunelerin yeniden kullanılamaması dolayısıyla eğri 4 farklı doz değeri için çizilmiştir.



Şekil 4.2.2. 1 JUMBO 9205 B-06 sarı renkli kaleme ait doz cevap eğrisi

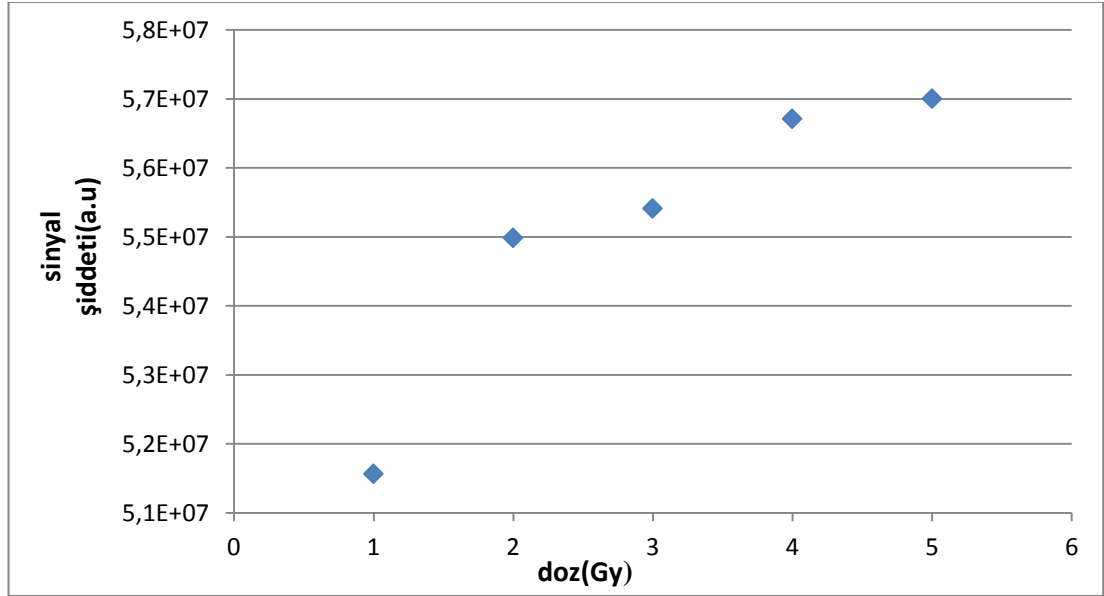
Şekil 4.2.2.1 de sarı renkli kaleme verilen 1, 2, 3 ve 10 Gy doz değerlerine karşı termoluminesans sinyalindeki şiddet artışı verilmektedir. Daha önce açıklandığı üzere, bir kez ısıtılan numunenin yeniden kullanılamaması ve hazırlanan her numunenin de doza duyarlı olmaması dolayısıyla ancak 4 farklı doz değerinde ışınlamalar yapılabilmektedir. Bu değerler öncelikle kaza dozu olarak saptanan 1 Gy'den başlatılmış ve TLD-100'ler için üst sınır olan 10 Gy de sonlandırılmıştır. Sonuç olarak artan doza karşı artan bir sinyal şiddeti saptanmıştır.

Sarı renkli kaleme kaza senaryosu gereği 1 Gy doz verildikten sonra üzerine 0.5, 1, 2 ve 9 Gy ilave dozlar verilmiştir. Işıma eğrileri aşağıdaki grafikte verilmektedir.



Şekil 4.2.2. 2 JUMBO 9205 B-06 sarı renkli kalem için, N; kaza dozu olmak üzere, artan dozlarla karşı ışına eğrileri

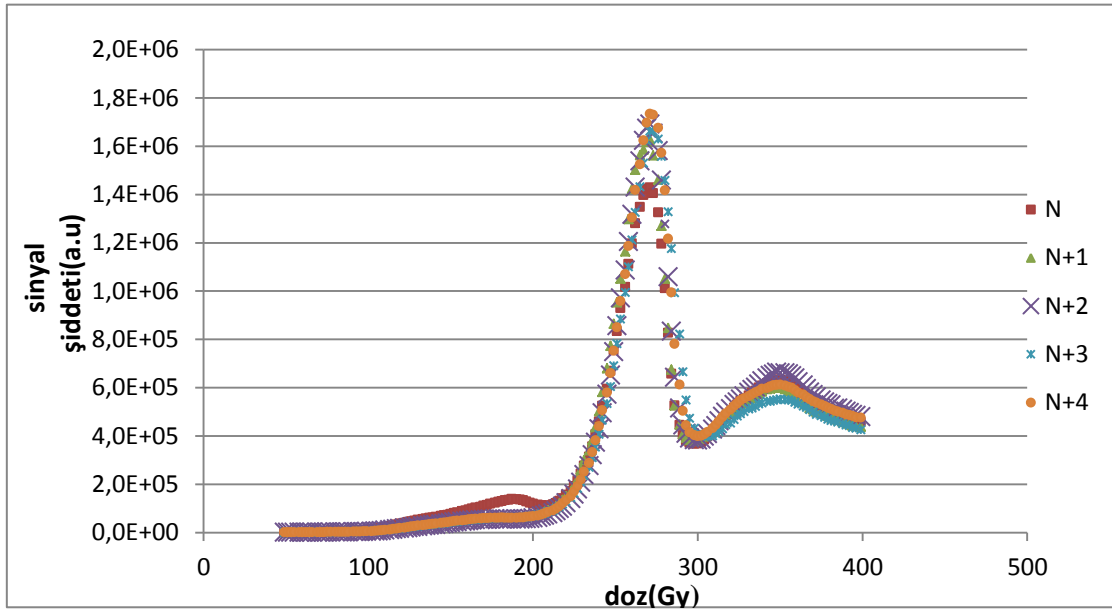
Şekil 4.2.2.2 de 1 Gy kaza dozu üzerine verilen çeşitli doz değerlerine karşı elde edilen ışına eğrileri gösterilmektedir. 270°C pikindeki artış net olarak gözlenebilmektedir.



Şekil 4.2.2. 3 JUMBO 9205 B-06 yeşil renkli kaleme ait doz cevap eğrisi

Benzer işlemler yeşil renkli kalem için de yapılmıştır. Farklı olarak yeşil kalemlerden önce numune hazırlanmış, sonra beta kaynağıyla ışınlanmıştır. Yeşil kalem örneklerine 1, 2, 3, 4 ve 5 Gy doz verilerek doz cevap eğrisi çizilmiştir (Şekil 4.2.2.3).

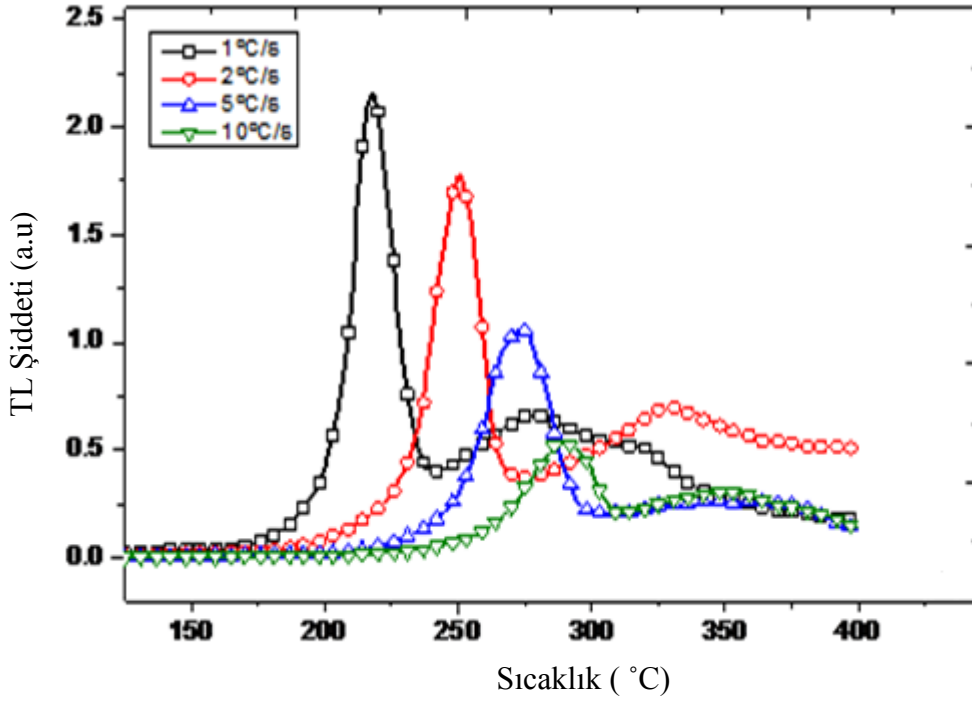
Benzer bir kaza durumu yeşil renkli kalem için de oluşturulmuş ve ardından 1 Gy kaza dozu almış olan numuneye artan dozlar verilerek ışınma eğrileri Şekil 4.2.2.4 de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.2.2. 4 JUMBO 9205 B-06 yeşil renkli kalem için, N; kaza dozu olmak üzere, artan dozlarla karşı ışınma eğrileri

Burada da 270°C pikiinde artışlar net olarak gözlenmektedir.

4.2.3 Isıtma Hızına Bağlılık



Şekil 4.2.3.1 Farklı ısıtma hızlarında ışıma eğrileri

JUMBO 9205 B-06 sarı renkli kalem için farklı ısıtma hızlarında okuma yapılmıştır. Termoluminesans dozimetride, ısıtma hızı arttıkça ışıma eğrisinde ilgililen tepenin sağa doğru kayması ve TL şiddetinin düşmesi beklenmektedir. Isıtma hızlarına göre ışıma eğrisinde gözlenen değişim, kinetik parametrelerin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Şekil 4.2.3.1 de 1, 2, 5 ve 10°C/s'lik ısıtma hızlarında, ışıma eğrisindeki değişimler gösterilmiştir. Beklendiği gibi pik noktası sağa doğru yani daha yüksek sıcaklık değerlerine kaymış ve TL şiddeti düşmüştür. Bunun bir nedeni termal sönümdür. Diğer nedeni ise ısıtma hızı arttıkça, numunenin hızlı sıcaklık artışına paralel olarak aynı hızda ısınmasının mümkün olamaması ve elektronlar sanki daha yüksek sıcaklık değerlerinde tuzaklardan kurtuluyormuş izlenimi vermesidir.

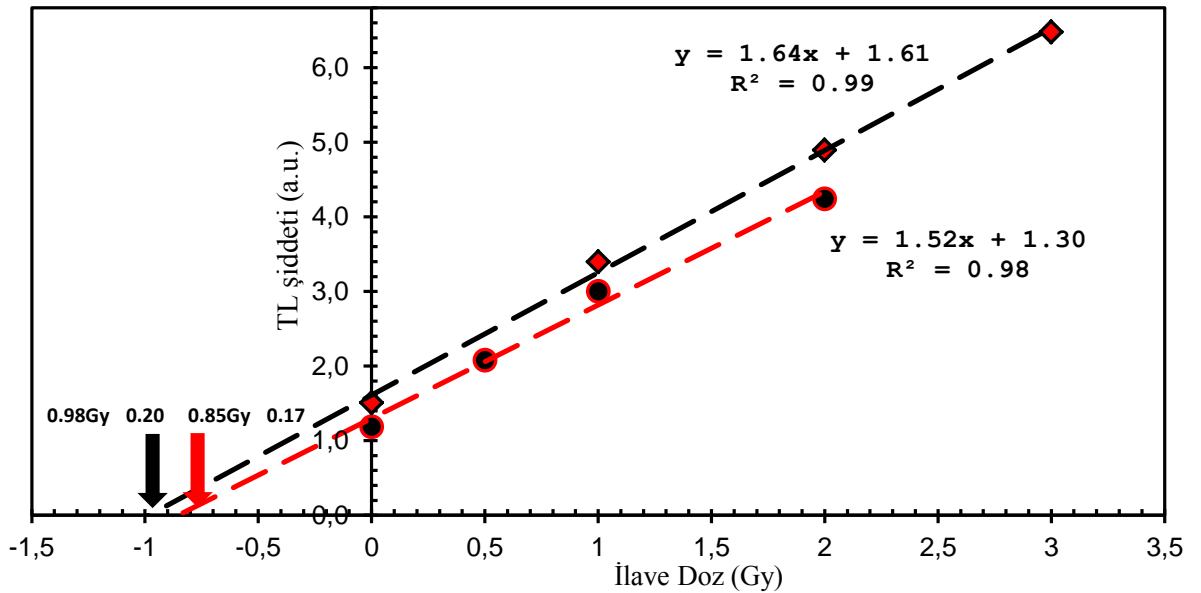
Bu tezde doz değerlendirmeleri için yapılan ölçümler, daha önce de belirtildiği gibi 2°C/s'lik ısıtma hızında yapılmıştır.

4.3 KAZA DOZUNUN SAPTANMASI

Kaza dozu almış numuneler üzerine ilave dozlar verilmiş ve kaza dozu MAAD yöntemiyle saptanmıştır.

Oluşturulan kaza senaryosu gereği Cs-137 kaynağından 0.5 m mesafede sarı kalem 1 Gy doz alacak şekilde ışınlanmış, kalemden bir parça kesilip kaza dozuna karşılık gelen lüminesans şiddetinin belirlenmesi için ayrılmış, ardından kalemin geri kalan kısmına ilave dozlar verilmiştir. Her bir ışınlamadan sonra kalemin bir kısmı ölçüm için ayrılarak, geri kalan kısma ilave doz verilmiştir.

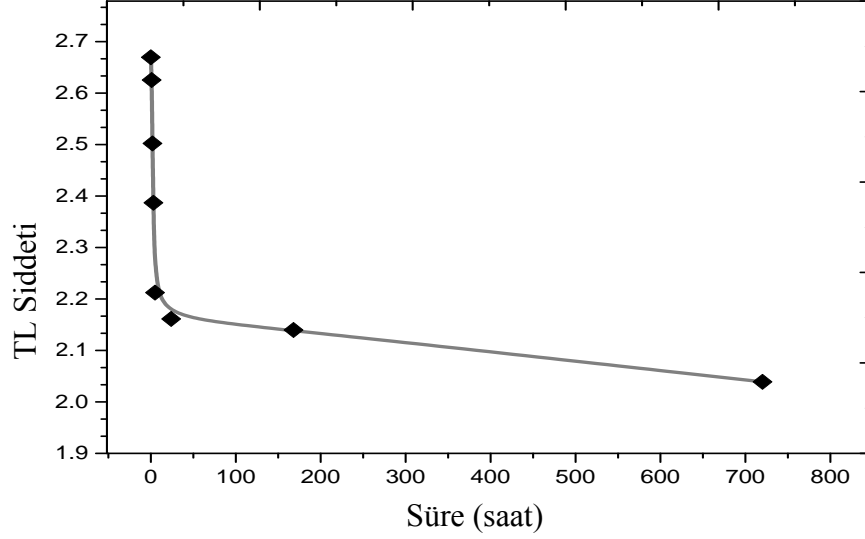
Yeşil kalem ise ahşap kısmından ayrılıp toz haline getirilerek RISØ cihazında kaza dozu ve ilave dozlarla maruz bırakılmıştır.



Şekil 4.3.1 Kaza dozunun MAAD yöntemiyle saptanması. Kare şekilli çizgi sarı kalemden, yuvarlak şekilli çizgi yeşil kalemden elde edilen sonuçları göstermektedir

Şekil 4.3.1 de görüleceği üzere Cs-137 kaynağı ile 1 Gy doz alacak şekilde ışınlanan sarı renkli kalemden kaza dozu 0.98 ± 0.20 Gy olarak, Sr-90 kaynağıyla 1 Gy doz alacak şekilde ışınlanan yeşil renkli kalemden ise kaza dozu 0.85 ± 0.17 Gy olarak saptanmıştır. Cs-137 ışınlamalarında, sarı kalemin yanına, içerisine TLD-100'ler yerleştirilen ikinci bir kalem konularak doz ölçümü farklı bir yolla daha yapılmıştır. TLD-100 kristallerinden elde edilen sonuçların ortalaması ise 1.30 ± 0.09 Gy bulunmuştur.

4.4 ZAMANA BAĞLI SÖNÜM



Şekil 4.4. 1 Zamana Bağlı Sönüm

JUMBO 9205 B-06 sarı renkli kalem için sönüm deneyi yapılmıştır. Şekil 4.4.1'de zamana bağlı sönüm grafiği görülmektedir. Numuneler sırasıyla 0, 1, 2, 3, 5, 30, 168 ve 720 saat süreyle bekletilerek okumalar yapılmış ve sinyal şiddetindeki azalma belirlenmiştir. İlk 30 saat içinde son derece hızlı bir sönüm görülmüştür. Ölçümlerde bu sönüm etkisinden nispeten kurtulabilmek için, ışınlamalardan sonra 30 saat beklendikten sonra okuma yapılmıştır.

4.5 X-IŞIN FLORESANS YÖNTEMİYLE NUMUNE ANALİZİ

Numunelerin, Ankara Üniversitesi YEBİM’de XRF analizleri yapılarak madde içerikleri belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.5.1 de verilmektedir.

Çizelge 4.5. 1 TL sinyali alınan JUMBO 9205 B-06 sarı ve yeşil kalem ile uygun sinyal vermeyen 3 diğer kalem numunelerine ait XRF analizi sonuçları

Element (%)	JUMBO 9205 B-06 (yeşil)	JUMBO 9205 B-06 (sarı)	JUMBO 9205 B-06 (sarı) (yanmış örnek)	JUMBO 9205 B-06 (Turuncu)	CHUNG HWA DRAWING 101 HB	SUPER B WRITER 4200-12CB
Na	0,6	0,603	0,66	0,818	0,079	0,085
Mg	1,879	1,61	2,094	0,089	0,28	0,447
Al	14,73	12,34	15,09	6,004	1,245	2,584
Si	20,71	17,42	20,06	11,249	9,288	11,008
P	0,0641	0,0408	0,0237	0,01289	0,00366	0,02441
S	5,69	4,971	0,3989	0,04046	0,05548	0,1733
Cl	0,4846	0,2253	0,07929	0,1044	0,01213	0,0243
K	0,137	0,0813	0,1013	0,0931	0,5634	0,7656
Ca	0,9611	1,325	1,232	0,2731	0,4086	1,484
Ti	0,5183	0,5018	0,4107	0,1383	0,2028	0,5097
V	0,0093	0,0079	0,0018	0,00252	0,00568	0,01198
Cr	0,0079	0,00539	0,00971	0,00402	0,0047	0,00835
Mn	0,00164	0,00169	0,00077	0,00036	0,00924	0,02539
Fe	0,2758	0,2709	0,1797	0,2918	2,311	3,756
Element(ppm)						
Co	19,5	22,7	11,7	5,3	23,3	43,3
Ni	29,9	22,9	60,9	23,9	25,6	51,5
Cu	210,8	10,6	11,8	10,4	70,7	93,9
Zn	12	64,8	52,6	70,4	40,9	448,3
Ga	22,9	24,3	20,4	26,6	8	10,2
Ge	0,7	0,6	1,2	1	0,5	0,7
As	1	1,3	2	0,6	3,6	8,2
Se	0,6	0,4	1,3	0,3	0,3	1,3
Br	254	1,5	3	1	0,3	6,9
Rb	1,8	1,7	2,8	4,2	19,7	22,2
Sr	19	14,9	17,2	12,2	40	72

Çizelge 4.5. 1 TL sinyali alınan JUMBO 9205 B-06 sarı ve yeşil kalem ile uygun sinyal vermeyen 3 diğer kalem numunelerine ait XRF analizi sonuçları (devam)

Element (ppm)	JUMBO 9205 B-06 (yeşil)	JUMBO 9205 B-06 (sarı)	JUMBO 9205 B-06 (sarı) (yanmış örnek)	JUMBO 9205 B-06 (Turuncu)	CHUNG HWA DRAWING 101 HB	SUPER B WRITER 4200- 12CB
Y	4,8	3,3	6,1	2,8	6	9,6
Zr	17,3	15,2	18	11	59,9	97
Nb	4,5	5,1	32,4	12,9	2,6	17,4
Mo	9,1	5,5	18	6,1	67,9	127,4
Cd	2	2,2	3,7	1,7	0,9	0,8
In	2,3	2,3	8,5	1,8	1	0,9
Sn	2,7	30,5	31,3	4	8,3	2,2
Sb	2,4	2,7	9,9	3,5	1,1	10,8
Te	9,4	3,8	15	3,2	1,6	1,5
I	5,2	6,7	26	5,6	2,9	2,7
Cs	14,4	12,4	50	10	5,1	5,1
Ba	49	29	71	46,6	75,6	99,9
La	30	42	162	29	16,6	10
Ce	42	38	150	32	41,7	38,9
Hf	10	3,2	6,8	2,5	5	6,6
Ta	11	3,7	7,1	2,9	6,1	8,3
W	1,5	3,6	7,6	3,2	7,6	17,4
Hg	1,1	1	2,1	0,9	0,8	1,1
Tl	1,3	1,3	2,5	1,1	0,9	1,2
Pb	12,2	27,3	16	6	17,6	35,5
Bi	1,1	0,9	2,3	0,7	0,7	1
Th	11,5	6,9	6,3	2,7	4,9	2
U	7,7	8,1	30	6,4	5,3	7,2

İyi sinyal alınan iki kaleme ilave olarak, sarı kalemin ısıtıldıktan sonraki numuneleri ve 3 adet sinyal gözlenemeyen numune seçilerek XRF analizleri yaptırılmıştır. Bazı kalemler doza duyarlıyken diğerlerinin neden duyarlı olmadığı madde içeriklerine bakılarak anlaşılmaya çalışılmıştır.

Çizelgeden görüleceği üzere kalemlerin içeriğinde yoğun olarak bulunan maddeler yüzdece ağırlıkları cinsinden, az miktarda olanlar ise ppm cinsinden ifade edilmektedir.

Yüzdece ağırlık açısından fazla olan maddeler kalemin temel bileşenlerini oluştururken, ppm düzeyindeki maddeler ise tuzak görevi görece yapıları oluşturabilirler.

Çizelge 4.6.1 incelendiğinde, kurşunkalemlerin çok çeşitli elementler içerdiği görülmektedir. Bu elementler kuşkusuz bazı bileşikler şeklinde malzeme içerisinde yer almaktadırlar. Lüminesans sinyaline sebep olan da elementin kendisi değil, genellikle oksitli bileşikleridir. Bu sebeple malzeme içerisinde yer alan belli başlı elementlerin oksitli bileşiklerinin yüzde miktarları hesaplanarak Çizelge 4.6.2 de verilmiştir. Bunlardan SiO₂, Al₂O₃ gibi bileşikler, son derece iyi bilinen dozimetrik malzemelerdir. Bu ana bileşiklere ilave olarak bazı element atomlarının da malzeme içerisinde tuzak görevini üstlendikleri ve gözlediğimiz lüminesansın kaynağının bu tür bileşik ve elementlerden biri veya birkaçı olabileceği değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.5.2 Oksitli bileşenler ve yüzdelik miktarları

TL sinyali		Var	Var	Yok	Yok	Yok	Yok
Element	Oksitli Bileşiği	Oksitli Bileşiğin Miktarı (%) (vesil kalem)	Oksitli Bileşiğin Miktarı (%) (sarı kalem)	Oksitli Bileşiğin Miktarı (%) (vanms sarı)	Oksitli Bileşiğin Miktarı (%) (jumbo turuncu)	Oksitli Bileşiğin Miktarı (%) (drawing)	Oksitli Bileşiğin Miktarı (%) (superb)
Si	SiO ₂	44.30	37.27	42,92	24,07	19,87	23,55
Al	Al ₂ O ₃	27.82	23.31	28,51	11,34	2,35	4,88
S	SO ₄	17.04	14.89	1,19	0,12	0,17	0,52
Mg	MgO	3.11	2.67	3,47	0,15	0,46	0,74
Ca	CaO	0.75	1.85	1,72	0,38	0,57	2,08
Mg	MgCO ₃	1.48	1.27	1,65	0,0005	0,012	0,033
Ca	CaCO ₃	0.75	1.04	0,97	0,21	0,32	1,16
Ti	TiO ₂	0.86	0.84	0,69	0,23	0,34	0,85
Na	Na ₂ O	0.80	0.81	0,89	1,10	0,11	0,11
Fe	FeO	0.39	0.35	0,23	0,38	2,97	4,83
Fe	Fe ₂ O ₃	0.35	0.19	0,26	0,42	3,30	5,37
K	K ₂ O	0.16	0.10	0,12	0,11	0,68	0,92
P	P ₂ O ₅	0.14	0.09	0,05	0,03	0,01	0,06
V	V ₂ O ₅	0.02	0.01	0,003	0,004	0,01	0,02
Cr	Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0,01	0,01	0,01	0,01

Çizelge 4.5.2 incelendiğinde sinyal veren kalemlerde, sinyal vermeyenlere göre SiO_2 miktarının yaklaşık 2 kat, Al_2O_3 miktarının 2-10 kat, SO_4 miktarının 28-140 kat, MgO miktarının 3-23 kat, MgCO_3 miktarının 38-2960 kat fazla olduğu gözlenmektedir. Diğer bileşikler ise sinyal veren kalemlerde fazla olabileceği gibi sinyal vermeyenlerde de fazla olabilmektedir. Bu sebeple tek tek üzerlerinde durulmamıştır.

Yukarıda değinilen bileşikler arasında SiO_2 , Al_2O_3 gibi dozimetrik özellikleri çok iyi bilinen bileşikler bulunmaktadır. Kurşun kalemlerdeki doza duyarlı bileşenlerin bunlar olduğu düşünülmektedir. Öte yandan MgCO_3 miktarındaki 2960 kata varan çok büyük miktardaki değişim de dikkat çekicidir. MgCO_3 , doğrudan bir lüminesans malzeme olmamakla beraber, kalemlerdeki miktarının artmasıyla doz hassasiyetine bir katkısı olabileceği düşünülebilir.

Bir kez ölçüm alındıktan sonra yanarak özelliğini kaybeden sarı kalem örnekleri ile ısıtılmamış sarı kalem örnekleri karşılaştırıldığında SO_4 miktarının yanmış kalemde yaklaşık 12 kat azaldığı V_2O_5 miktarının ise 3 kat azaldığı görülmektedir. Diğer değişimler önemli ölçüde değildir.

Yukarıda değinilen SiO_2 , Al_2O_3 , MgCO_3 , SO_4 , V_2O_5 bileşiklerini içeren kalemlerden yararlanarak geriye dönük doz tayini yapılabileceği anlaşılmaktadır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Tez kapsamında kurşun kalemlerin termolüminesans ve optik uyarımlı lüminesans özellikleri incelenmiştir. Çalışmalar özellikle dozimetrik özellik gösterdikleri saptanan JUMBO 9205 B-06 marka sarı ve yeşil renkli kalemler üzerine yoğunlaştırılmıştır.

Kurşun kalemlerden kaza dozunun belirlenmesinde iki önemli husus ön plana çıkmaktadır. İlki, kalemlerle geriye dönük doz saptanması çalışmalarına başlanmadan önce, kalemlerin lüminesans davranışlarının dikkatlice incelenmesidir. Çok sayıda veya miktarda numune ile bu davranışlar hakkında yeterli bilgi edinildikten sonra kaza dozu ile ilgili ölçümler başlatılmalıdır. İstatistiksel olarak anlamlı sayılamayacak kadar az ölçüm alınarak, kalemlerin dozimetrik özellikleri hakkında hüküm vermek yanıltıcı olabilmektedir. Doza duyarlılık gösteren yapılar bir kurşunkalemin içinde homojen olarak dağılmadıkları için aynı kalemde hazırlanan bütün tabletler (disk veya kap) aynı dozimetrik özellikleri sergilemeyebilir. Bu durumda genel davranışın belirlenebilmesi için çok sayıda tablet üzerinde inceleme yapılmalıdır. İkinci husus ise kalemlerin doz cevaplarının lineer sayılabileceği bölgenin saptanmasıdır. Zira doza bağlı artış olsa bile doğrusallığı bozan değerlere MAAD grafiğinde yer verilirse, ekstrapolasyon sonucu kaza dozundan çok farklı değerler elde edilmektedir. Bu durumda eğrinin doğrusal fonksiyon dışında bir fonksiyona fit edilmesi düşünülebilirse de sonuç yine kaza dozundan büyük sapmalar gösterebilmektedir.

OSL yöntemiyle yapılan çalışmalarda sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Bir kaza durumunda OSL yöntemiyle incelenecek kalemlerin verdiği sinyallerin yorumlanması mümkün görülmemektedir. Zira aynı kaleme ait numunelerden birçok farklı şekilde sinyal ve sayım şiddeti elde edilmekte, OSL bozunumuna benzer sinyaller bile doza ilişkin anlamlı bilgiler içermemektedir.. Laboratuvar şartlarında, kontrollü deneyler yardımıyla bazı olumlu sonuçlar görülebilmişse de, bunlar sonuçlar bir kereye mahsustur ve onlarca farklı sonuç arasından seçilmiştir. Olası bir kaza durumu sonrasında, araştırmacılara izleyecekleri yol açısından sağlıklı bir fikir

verebilecek net bir sonuca ulaşamamıştır. Oysa TL ölçümleri ile çok daha doğru ve tekrarlanabilir sonuçlara ulaşılmış ve kaza dozları büyük bir yaklaşıklıkla hesaplanabilmiştir. Bununla birlikte yeterli zaman ayırabilecek ve elbette yeterli sabrı gösterebilecek araştırmacılar için kurşun kalemlerin OSL yöntemiyle incelenmesi konusunda yapılması gereken daha pek çok şey bulunabilir.

Sonuç olarak, radyolojik kazalardaki doz/doz hızı değerlerinin geriye dönük olarak belirlenmesinde bugüne kadar kullanılan malzemelere ilave olarak kurşun kalemlerin de bu amaçla kullanılabilirliği incelenmiş ve bazı kalemlerin son derece kullanışlı olabildiği görülmüştür. İçerisinde çok sayıda safsızlık barındıran kalemlerin dozimetrik özellik gösterebileceği ve retrospektif dozimetri amacıyla kullanılabilmesi ortaya konulmuştur.

Çin Halk Cumhuriyeti'nde üretim maliyetlerinin düşük olması nedeniyle bir çok ürün dünya pazarlarına bu ülkeden ihraç edilmektedir. Maliyetlerin düşük tutulmak istenmesi, üretilen her türlü eşyanın, ister istemez arzu edilen kalitede ve saflıkta malzemelerden oluşmasını engellemektedir. Bu durum her ne kadar tüketiciler açısından olumsuz ise de retrospektif dozimetri çalışmaları açısından oldukça elverişli fırsatlar sunmaktadır. Ürünlerin yapısına karışan çok sayıda istenmeyen madde, kaliteyi düşürmekle beraber, dozimetrik özelliği artırıcı bir etki doğurmaktadır.

Kurşun kalemler bu özelliği açısından ele alınmış ve geriye dönük dozimetre olarak kullanılabilme olanağının var olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Beerten K, Woda C, Vanhavere F. 2009. Thermoluminescence dosimetry of electronic components from personal objects. *Radiat Meas.*;44:620–5.
- Chen, R. 1969. Glow Curves with General Order Kinetics. *J. Electrochem. Soc.*, 116, 1254-1257
- Chen, R. 1969. 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.
- Discher M., Woda C. 2013. Thermoluminescence of glass display from mobile phones for retrospective and accident dosimetry. *Radiat Meas.*;30;1-10.
- 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.
- Grossweiner, L.I. 1953. A Note on the Analysis of First-Order Glow Curves. *J. Appl. Phys.*, 24, 1306-1307.
- Hutt, G., Brodski, L., Bailiff, I.K., Göksu, H.Y., Haskell, E., Jungner, H. And Stoneham, D. 1993. Accident dosimetry using environmental materials collected from regions downwind of Chernobyl: A preliminary evaluation, *Radiat. Prot. Dosim.* 47 307-311.
- Hutt, G., Brodski, L., Polyakov, V., 1996. Gamma-ray dose assessment after the 1994 radiation accident in Kiisa (Estonia): Preliminary results, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* 47 1329-1334.
- IAEA 1998. *The Radiological Accident in Tammiku*
- 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.
- Mott, N. F. 1948. Slip at Grain Boundaries and Grain Growth in Metals. H. H. Wills Physical Laboratory, Bristol.
- 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.
- Seitz, F. 1940. Modern Theory of Solids, McGraw-Hill Book Company, Inc., London.
- Şahiner, E. and Meriç, N. 2012. Infrared Stimulated Luminescence (IRSL) properties of natural aluminum corrosion. Geochronometria , 39-3, 227-232.
- Urbach, F. 1930. Zur Luminescenz der Alkali Halogenide. Wiener Ber. Ila, 139, 363-372.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aytaç BARIŞ

Doğum Yeri : ELAZIĞ

Doğum Tarihi : 27.06.1980

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu:

Lise : Malatya Hacı Ahmet Akıncı Lisesi (1997)

Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği
Bölümü (2009)