

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİF VE QUARTZ'IN DOZİMETRİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE
RADYASYON DOZİMETRİSİNE UYGUNLUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Esmâ BULUŞ KIRIKKAYA

57935

Ana Bilim Dalı : FİZİK

OCAK 1996

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİF VE QUARTZ'IN DOZİMETRİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE
RADYASYON DOZİMETRİSİNE UYGUNLUĞUNUN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Esmâ BULUŞ KIRIKKAYA**

**Tezin enstitüye verildiği tarih : 10.01.1996
Tezin savunulduğu tarih : 16.02.1996**

TEZ DANIŞMANI ÜYE ÜYE
Doç.Dr. Nafiye KIYAK Prof.Dr. Taner Bulat Prof. Dr. Yüksel Bektöre

(.....*Nafiye Kıyak*.....)

(.....*Taner Bulat*.....)

(.....*Yüksel Bektöre*.....)

OCAK 1996

ÖZET

LiF VE QUARTZ' IN DOZİMETRİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE RADYASYON DOZİMETRESİNE UYGUNLUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

ESMA BULUŞ KIRIKKAYA

Anahtar kelimeler : Termolüminesans, radyasyon dozimetrisi, LiF, quartz

Özet: Bu çalışmada, radyasyon dozimetrisinde yaygın olarak kullanılan LiF'ün dozimetrik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca toz quartz kristalleri de aynı amaç doğrultusunda incelenerek bu kristallerin radyasyon dozimetresine uygunluğu araştırılmıştır. Fiziksel bir yöntem olan termolüminesans olayı, bugün radyasyon uygulamalarının olduğu çeşitli alanlarda güvenilir bir dozimetrik teknik olarak kullanılmaktadır. Yiyecek ışınlamasından medikal uygulamalara kadar uzanan geniş bir kullanım alanına sahiptir. Halen LiF bu alanlarda yaygın olarak kullanılan dozimetrik malzemelerden biri durumundadır. Bu çalışmamızda toz, chip ve rod (çubuk) şekline getirilmiş LiF'ün verimliliği (termolüminesans verimi) incelenmiş, bunlardan toz LiF'ün en iyi verime sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun üzerine araştırmalarımız toz LiF üzerine yoğunlaştırılmış ve toz LiF içeren kapsüller farklı ışınlama dozlarında ışınlanmıştır. Işınlanan örnekler termolüminesans sayım sistemleri ile ölçülmüş ve bu verilerden hareketle bir doz cevap eğrisi elde edilmiştir. 0.5 Gy-3.5 Gy aralığında incelediğimiz toz LiF'ün lineer bir kalibrasyon eğrisi verdiği saptanmıştır. Elde ettiğimiz bulgulara göre, verimlilik, hata yüzdesi, hassasiyet, doz cevap ilişkisi gibi önemli dozimetrik faktörler göz önüne alındığında toz LiF'ün radyasyon dozimetresinde güvenle kullanılacak bir malzeme olduğu saptanmıştır. Kalibrasyon eğrisinin lineer olması, LiF'ün en önemli dozimetrik özelliği olup kalibrasyon işleminin tek bir referans dozimetre ile yapılabilmesi anlamını taşımaktadır.

Araştırdığımız ikinci malzeme, dozimetrik amaçlı kullanılmayan toz quartz kristalleridir. Quartz'ın radyasyona duyarlılığı LiF de izlediğimiz yöntemle incelenmiş ve termolüminesans özellikleri araştırılmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlar literatürle uyum içindedir.

ABSTRACT

APPLICATION STUDIES ON THERMOLUMINESCENCE PROPERTIES OF LiF AND QUARTZ IN RADIATION DOSIMETRY

ESMA BULUŞ KIRIKKAYA

Key words: Thermoluminescence, Radiation dosimetry, LiF, Quartz

Abstract: In this study, as a first step the thermoluminescence properties of LiF was investigated. Then, the powder cristalline quartz was also examined for the same purposes as LiF to determine its availability for radiation processing. Recently, termoluminescence technique which is a physical effect has been used in the various fields of radiation applications as a reliable dosimetric method. It has a wide application range from food irradiation to medical treatments. At present, LiF is one of the commenly used dosimetric material in these fields. In this study, powder, cheap and rod LiF samples were investigated according to their efficiency, accuracy, reliability and uncertainties. The powder samples have been found having more TL efficiency in comparisan with other forms related to the irraddiation doses. Thus, we concentrated on powder LiF measurements and then obtained a dose - response curve in the dose range between 0.5 Gy-3.5 Gy, giving a linear dose-calibration curve. According to the results obtained, LiF is confirmed as a dosimetric material with respect to the dosimetric factors such as efficiency, accuracy, precision and linear response with irradiation dose. Having a lineer calibration curve is one of the most important characteristic of LiF and therefore the calibration procedure may be done by a single reference dosimeter.

The second material investigated for the purposes of dosimetric aspects was cristalline quartz powder samples. Thermoluminescence properties of quartz was examined in same way that we followed for LiF. The obtained results are in good agreement with the literature.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Atom enerjisinin barışçıl amaçlarla tıpta, kanser tedavisinde ve endüstride artan bir ilgiyle uygulanması, bu uygulamalar esnasında ne kadar ve hangi duyarlılıkta radyasyon dozu veriliyor sorusunu gündeme getirmektedir. Halen bu alanda uygulanan ve uygulanması yönünde araştırmaları süren çeşitli teknikler mevcuttur. Bir fiziksel olay olan termolüminesans, radyasyon dozunun ne kadar güvenilirlikle verildiği sorusuna yanıt vermek üzere bugün çeşitli alanlarda kullanılmakta olan bir tekniktir. Ancak bu nokta, dozimetrik malzeme olarak kullanılan maddeler açısından son derece önemlidir. Araştırma konumuz olan LiF halen bu alanda kullanılan bir dozimetrik malzemedir. Çalışmamızda öncelikle LiF üzerinde durulması, bilinen ve kabul gören bir maddeyi incelemek, onun dozimetrik özelliklerini belirlemek ve ardından henüz bu alanda kullanılmayan bir başka maddeyi, yani quartz'ın termolüminesans özelliklerinin incelenmesinde bir ön adım olarak değerlendirme amacına yöneliktir.

Atom enerjisinin barışçıl amaçlarla kullanılmasının yüzyılımızın son çeyreğinde gerçekleştiği göz önüne alınırsa, yaptığımız çalışma hem çok güncel ve hem de bu alanda yapılan çalışmalara bir halka niteliğinde olduğu inancındayım.

Bu çalışmada, yakın ilgisi ve özverili desteğini çalışmanın her aşamasında esirgemeyen değerli hocam Doç.Dr.Nafiye Kıyak'a, tez aşamasına gelinceye kadar katkılarını sunan değerli Dekanımız Prof.Dr.Yüksel Bektöre, Prof.Dr.Latif Topaktaş, Prof.Dr.İsmihan Yusubov ve Doç. Dr.Afet Fetullayev hocalarıma, çalışmamızın deneysel kısmının gerçekleşmesinde labratuvar olanaklarını sunan Endüstri Meslek Lisesi ile Birol Engin in şahsında Ankara Nükleer Araştırma Merkezine, kullanılan malzemelerin kütle ölçüm işlemlerinde yardımda bulunan Yard.Doç.Güller Gözel'e, şekillerin bilgisayarda çizilmesinde emeği geçen Ayşe Yılmaz ve Tamer Sezgin arkadaşlarıma, yazım işlerinde bilgisayarlarını kullandığım ve yardımlarını gördüğüm Gonca, Arslan, Sakın ailelerine ve Kemal Özcan'a, tezde bulunan fotoğrafların çıkarılmasında gereken itinaı gösteren Hilmi Fotograf Stüdyosuna, ve bu uzun çalışma boyunca moral desteğini her an hissettiğim sevgili eşim Hüseyin Kırıkkaya'ya teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. RADYASYON FİZİĞİ VE RADYASYON DOZİMETRİSİ.....	4
2.1 Radyasyon ve Enerji.....	4
2.2 Radyoaktivite ve Radyoaktif Işımlar.....	4
2.3 Radyoaktif Bozunum Yasası ve Bozunum Yarıömrü.....	6
2.4 Radyasyonların Madde ile Etkileşmesi.....	7
2.4.1 Parçacık karakterli ışınlar.....	7
2.4.2 Elektromagnetik karakterli ışınlar.....	8
2.5 Radyasyonların Deteksiyonu ve Ölçülmesi.....	8
2.6 Radyasyon Dozimetri ve Doz Birimleri.....	9
BÖLÜM 3. TERMOLÜMİNESANS OLAY.....	11
3.1 Katılarda Enerji Bandları.....	11
3.1.1 Kristallerde bağlanma şekilleri.....	11
3.1.2 Katılarda enerji band teorisi.....	12
3.1.3 Fermi enerjisi.....	12
3.1.4 Yalıtkanlar, yarı iletkenler ve iletkenler.....	15
3.2 Termolüminesans Kusurların Meydana Gelişi.....	16
3.3 TL Mekanizması.....	18
3.3.1 TL olayının meydana gelişi.....	18
3.3.2 Elektronun çıkarılma olasılığı.....	19
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	20

4.1 Anilasyon İşlemi.....	20
4.2 Örneklerin Işınlanması.....	20
4.3 Ölçüm İşlemleri.....	20
BÖLÜM 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	24
5.1 LiF'ün TL özelliklerinin İncelenmesi.....	24
5.2 Toz LiF'ün TL Özelliklerin İncelenmesi.....	25
5.3 Quartz'ın TL Özelliklerin İncelenmesi.....	30
SONUÇ.....	34
KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ.....	37



SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

A : Yüzey

A : Kütle numarası

c : Işık hızı

e : Elektron

E_f : Fermi enerjisi

E_k : Kinetik enerji

$f(E)$: Enerji düzeylerin dolu olma olasılığı

h : Plank sabiti

k : Boltzman sabiti

Gy : Gray

P_0 : Frekans faktörü

p : Elektronları tuzaklardan çıkarılma olasılığı

Q : Radyasyon miktarı

R : Röntgen

$T_{1/2}$: Yarı ömür

T : Mutlak sıcaklık

v : Hız

Z : Atom numarası

ν : Frekans

σ : Nötrino

α : Alfa ışınması

β : Beta ışınması

γ : Gama ışınması

λ : Bozunma sabiti

φ : Akı

ηC : Nano coulomb

μC : Micro coulomb

TL : Termolüminesans

ANAEM : Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Altı hidrojen atomundan oluşan bir sistemin potansiyel enerjisinin çekirdekler arası uzaklığa bağlı olarak değişimi.....	13
Şekil 3.2 Bir katı maddedeki enerji bandlarının gösterimi ve Fermi enerji düzeyi.....	14
Şekil 3.3 Bir katı maddede enerji düzeylerinin dolu olma olasılığının enerji ile değişimi...14	
Şekil 3.4 İletken, yarı iletken ve yalıtkan maddelerde yasak bölge genişliği.....	15
Şekil 3.5 Halojenik kristallerde görülen belli başlı kusurlar.....	16
Şekil 3.6 Termolüminesans olay.....	17
Şekil 3.7 Kristal yapıdaki bazı kusurlar.....	18
Şekil 4.5 TL okuyucusunun blok diyagramı.....	21
Resim 4.1 LiF ve quartz malzemeler ve ışınlama kapsülleri.....	22
Resim 4.2. LiF ve quartz malzemelerin aniliye İşlemleri için kullanılan fırın.....	22
Resim 4.3. Örneklerin ışınlanmasında kullanılan ⁶⁰ Co gama kaynağı.....	23
Resim 4.4. Örneklerin sayıldığı termolüminesans sayma sistemi	23
Şekil 5.1. 10Gy'e ışınlanmış LiF örneklerin verdikleri TL sayımları.....	25
Şekil 5.2. 10 Gy'e ⁶⁰ Co gama radyasyon dozu verilmiş olan çubuk,chip ve toz LiF örneklerin TLsayımları.....	26
Şekil 5.3. Toz LiF'ün doz-kalibrasyon eğrisi.....	29
Şekil 5.4. Farklı dozlarla ışınlanmış toz quartz malzemeler için doz-kalibrasyon eğrisi.....	31
Şekil 5.5. 1000Gy ve 500Gy'e ışınlanmış toz quartz örneklerin TL sayımları.....	32
Şekil 5.6. 10Gy'e ışınlanmış toz quartz örneklerin TL sayımları.....	33

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1 Örneklere verilen radyasyon dozu ve kaynak karşısında tutulma süreleri.....	21
Tablo 5.1 10 Gy'e ışınlanmış malzemelerin her sayımda ölçülen miktarları ve Tlsayımları	24
Tablo 5.2 0.5 Gy-3.5 Gy doz aralığında toz LiF örnekler için elde edilen Tlsayım ölçümleri ile bunların normalize, ortalama, standart sapma ve bağıl hata hesapları.....	27
Tablo 5.3 ⁶⁰ Co gama kaynağı ile ışınlanmış toz quartz kristal örneklerle verilen radyasyon dozları ve alınan ölçümler.....	30

1. GİRİŞ

Bilim tarihindeki en önemli dönemlerden biri, çekirdek kaynaklı ışınların bulunması ile başlayan ve fisyon olayının keşfine kadar uzanan 1896 - 1936 yılları arasına rastlayan dönemdir. 1896 'da Becquere 'in radyoaktiviteyi keşfi, Madam Curie'nin radyum elementini buluşu ve atom ağırlığını saptaması, Rutherford ve Soddy'nin (1902) radyoaktif bozunma teorisini bilim dünyasına kazandırmaları ve radyoaktif ışınların (alfa, beta ve gama) bulunması ile gelişen bir buluşlar zinciri oluştu. Daha sonra Planck'ın kurduğu Quantum Teorisi'nin ardından Einstein'ın Relativite Teorisi'ni bilim dünyasına sunması ve 1932 yılında Chadwick'in nötronu keşfiyle bilimsel gelişmeler zirveye ulaştı. Bunu takip eden gelişme ise, nükleer fisyon ve zincir reaksiyonun keşfidir. Saraç (1978)

Nükleer reaktörlerde meydana gelen fisyon ürünü radyoizotoplarla, nötron bombardımanına tutularak elde edilen bazı izotopların gama kaynağı olarak kullanılmaya başlaması ile radyasyonlar günlük yaşantımızın içine girmiştir. Bu gün radyasyon uygulamaları çeşitli alanlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu alanlar kısa başlıklar altında aşağıda özetlenmektedir.

Radyasyonların uygulanma alanları :

a) Tıpta çeşitli hastalıkların teşhisinde, kanser, tümör ve deri hastalıklarının tedavisinde Co-60 ve Cs-132 kaynakları kullanılmaktadır. Son zamanlarda elektron ışınları da bu amaçla kullanılmaya başlanmıştır.

b) Gıdaların bozulmasını önlemek amacıyla, sterilizasyon, mikroorganizmalardan arındırılması, olgunlaşmanın geciktirilmesi ve filizlenmenin önlenmesi gibi işlemlerde kullanılır.

c) Atık (pis) suların arıtılması ve tıpta araç temizliğinde yararlanır.

d) Çeşitli malzemelerin kalınlığı, düzgün bir yapıya sahip olup olmadığı, imalat hatalarının kontrolü ve kalite kontrolde kullanılır.

e) Biyolojik ve jeolojik kalıntıların incelenmesi ve yaşlarının tayin edilmesi işlemlerinde kullanılır.

f) Çeşitli bilim dallarında araştırma - geliştirme amacıyla kullanılır.

Termolüminesans Olay ve Radyasyon Dozimetreğine Uygulanması

Termolüminesans tekniği yukarda saydığımız uygulamalarda alınan radyasyon dozunun belirlenmesinde kullanılan bir fiziksel yöntemdir.

Termolüminesans olayı ilk defa 1663 yılında Robert Boyle tarafından elmasta gözlenmiştir. Radyoaktivitenin keşfinden hemen sonra H. Becquerel, termolüminesans ve anilasyon olaylarını incelemiştir. Ancak termolüminesans olayının dozimetreye uygulanması 1950 sonlarında mümkün olabilmıştır. Daniels (1953), termolüminesans olayının radyasyon dozimetresinde kullanılabileceğini açıklamış ve grubuyla beraber TL ölçme sistemlerini geliştiren ilk kişi olmuştur. 1950'den sonra bir çok araştırma grubu TL üzerinde çalışmaya başlamıştır. Schulman ve grubu, Ginter ve Kirk, Cameron ve grubu TL eğrileri, LiF dozimetresinin özellikleri ve CaF fosforu oluşturulması ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Soyberk (1981)

Termolüminesans, kristal yapılı katı maddeler için oluşturulan bandlar teorisi ile açıklanmaktadır. (Bölüm 3). Bu teoriye göre, bir katıda valans ve iletkenlik bandlarının arasında tanımlanan bir yasak bölge bulunmakta ve iletkenlik bandı altında bulunan bu bölgede elektronların yakalandığı çeşitli enerjilerde tuzak seviyeleri ve potansiyel çukurları bulunmaktadır. Valans bandda yer alan elektronlar radyasyonun etkisiyle uyarılırlar ve iletkenlik bandına geçmeye çalışırlar. Bir kısım elektron, bu geçiş sırasında yasak bölgede yer alan bu tuzak ve potansiyel çukurlarına yakalanırlar. Termik enerji aldıklarında tuzaklarda yakalanan elektronlar yeniden iletkenlik bandına çıkabilir ve bir ışık salarak tekrar valans banda dönerler. Bu elektronların uyarıldıkları seviyelerden kararlı enerji seviyelerine dönüşleri esnasında yayınladıkları ışığın şiddeti, tuzaklarda yakalanmış elektronların sayısı, yani kristal tarafından yutulan radyasyon dozu ile orantılıdır. Madde tarafından alınan radyasyon dozunun bu şekilde belirlenmesine "Termolüminesans İşlem" denir.

Bir fiziksel teknik olarak termolüminesans olayın dozimetrik amaçlarla radyasyon işlemlerinde uygulama alanları aşağıda sunulmaktadır:

- a) Tıpta, kanserli dokuya verilen soğurulma dozunun doğruluk derecesinin tayininde;
- b) Yıllık çevresel doğal radyasyonun saptanmasında, alfa, beta ve gama radyasyonlarının ilgili ölçüm tekniklerinin incelenmesinde;
- c) Yarı iletkenlerde, malzeme araştırmalarında;

d) Arkeolojik ve jeolojik yaş tayininde kullanılır.

Bir çok mineralin, suni olarak uyarılmadan da ısıtılınca TL gösterdikleri uzun zamandan beri bilinen bir gerçektir. TL, seramik, kil ve benzeri sıcaklık etkisi altında oluşmuş materyallerde de etkili bir yöntemdir. Malzeme, sıcaklık altında şekillenirken elektron tuzakları tümüyle elektronlardan boşaltılmış olur ve o andan itibaren çevre radyasyonu altında bu tuzaklar yeniden dolmaya başlamaktadır. Tuzakların doluluk oranı malzemenin yaşı ile orantılıdır.

Alkali halojenürlerin tipik bir örneği olan LiF' ün termolüminesans özelliklerinin radyasyon dozimetresine uygunluğu dolayısıyla bir çok defalar incelenmiştir. Ancak quartz son yıllarda artan bir ilgiyle incelenen ve doğada en çok bulunan madde durumundadır.

Bu çalışmanın amacı, LiF ve quartz'ın termolüminesans özelliklerinin incelenmesi ve radyasyon dozimetresine uygun olup olmadığının araştırılmasıdır.



2. RADYASYON FİZİĞİ VE RADYASYON DOZİMETRESİ

Bu bölümde araştırma konularımıza destek olmak üzere radyasyon dozimetresine yönelik ön bilgi verilmesi amaçlanmaktadır. Önce radyasyon ve radyoaktif ışınlar hakkında ön bir bilgi sunulmakta ve ardından da radyasyonların madde ile etkileşimleri ve radyasyon doz birimleri ile ilgili özet bilgi verilmektedir.

2.1 Radyasyon ve Enerji

Radyasyon boşlukta yayılabilen bir enerji şekli olup elektromagnetik (dalga radyasyonu) ve parçacık yapılı radyasyon olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Kuantum teorisine göre bir dalga hareketinde enerji, kuantum veya foton adı verilen kesikli enerji paketleri halinde yayılır ve yutulur. Bu enerji $E = h \nu$ bağıntısı ile hesaplanır. Burada $h = 6,62 \cdot 10^{-27}$ erg.sn olup plank sabitini, ν ise birim zamanda geçen dalgaların sayısını ifade etmektedir.

Parçacık karakterli radyasyonlar hareket halindeki çok ufak atomaltı taneciklerden meydana gelmektedir. Bu parçacıkların hızı ışık hızına göre çok küçük olduğundan kinetik enerjisi klasik mekanik yasalarına göre,

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.1)$$

ile hesaplanır. Parçacığın hızı ışık hızına yaklaştığında ise enerjisi, relativite teorisine göre

$$E_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

formülünden hareketle bulunur. Burada m , parçacığın durgun haldeki kütleini, c , ışığın, v ise parçacığın hızını göstermektedir. Atomaltı parçacıklar için enerji birimi olarak elektronvolt (eV) kullanılır ve 1 eV, bir elektron yükü taşıyan herhangi bir parçacığın bir voltluk potansiyel altında hızlandırılması ile kazandığı enerji olarak tanımlanır.

2.2 Radyoaktivite ve Radyoaktif Işımlar

Atom, merkezinde yarıçapı ortalama 10^{-12} cm dolayında bir çekirdek ve etrafında elektron bulutundan meydana gelir. Çekirdek nükleon adı verilen, proton ve nötronlardan oluşmuştur. Radyoaktivite, atom çekirdeğinin parçacık veya enerji yayınlamak suretiyle kendiliğinden bozulması olayı olup, bu bozulma çekirdek kararlı bir duruma gelinceye kadar devam eder. Bir çekirdeğin kararlı olup olmadığı içindeki nötron proton oranı ve çekirdek içindeki

düzenle ilgilidir. Kararsız bir çekirdek, yapısını yani nötron/proton oranını kendiliğinden bozulma yoluyla değiştirerek kararlı bir duruma geçmeye çalışır. Bu özelliğe sahip atom çekirdeğine radyoaktif çekirdek denir. Radyoaktif bir çekirdek, türüne göre dışarıya üç çeşit ışın yayar. Bu ışınlar aşağıda kısaca anlatılmaktadır. Göksel (1973)

Alfa ışınları

Bu ışınlar iki nötron ve iki protondan meydana gelmiş (+) yüklü He çekirdekleridir. Alfa salan bir A_ZX çekirdeği,



bağıntısı uyarınca ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ ürün çekirdeğe dönüşür. Alfa bozunumuna örnek olarak

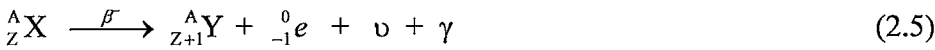


bozunumu verilebilir.

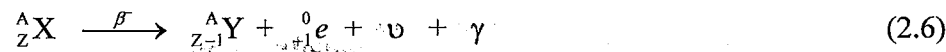
Alfa parçacıkları, çekirdek kaynaklı ışınlar içinde en ağır olanıdır. Ağır ve yüklü oluşları nedeniyle madde içinden geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirerek enerjilerini çok çabuk kaybederler. Bu nedenle girici değildir. Bir dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak, herhangi bir yolla vücut içine alındıklarında son derece tehlikeli olabilmektedirler.

Beta ışınları

Bunlar (-) veya (+) yüklü elektronlardır. Beta bozunumunda kütle numarası değişmez, yalnızca proton sayısında değişme olur. Beta atan bir A_ZX çekirdeği, ν nötrinoları göstermek üzere,



veya



bağıntısına göre ürün çekirdeğe dönüşür. Örnek olarak ${}^{234}_{90}\text{Th}$ bozunumu ile meydana gelen ürün çekirdek, Th -234'ün



bozunumu verilebilir.

Beta parçacıkları alfalardan derece olarak yedi bin kez daha hafiftirler. Bu nedenle alfa ışınlarına göre biraz daha giricidirler. Enerjileri, bir maksimumdan geçen geniş bir dağılım gösterir. Bunun nedeni olarak, birlikte atıldıkları "nötrino" olarak adlandırılan yüksüz, çok ufak parçacıklar (ν) gösterilmektedir. Beta parçacık enerjisi 0 ile 5 MeV arasında değişmekte olup iç ve dış radyasyon tehlikesi oluştururlar.

Gama ışınları

Yüksek enerjili, maddeye o oranda girici, elektromagnetik dalga yapısında, çekirdek kökenli ışınlardır. Atom çekirdeğinin parçacık salması (genellikle beta) sonrasında, çekirdeğin yeniden düzenlenmesi sırasında yayınlanırlar. Gama enerjileri 0.1 MeV ile 3 MeV arasında değişir. Yüksek girici özelliklerinden ötürü dış radyasyon tehlikesi oluştururlar.

2.3 Radyoaktif Bozunum Yasası ve Bozunum Yarıömrü

Doğal ya da yapay her radyoaktif çekirdeğin kendine özgü bir bozunma karakteristiği vardır. Bunlar, çekirdeğin yayınladığı ışının cinsi, enerjisi ve bozunma hızı olarak özetlenebilir. Bozunan radyoaktif maddenin tüm atomları aynı anda bozulmaz. Birim zaman içinde bozunan çekirdeklerin sayısı, kalan ve bozunmaya hazır çekirdeklerin sayısı ile orantılıdır. Orantı katsayısı ise "bozunma sabiti" olarak adlandırılır.

$N(t)$, t anında bozunmamış olarak mevcut radyoaktif çekirdeklerin sayısı olsun. Birim zamanda bozunan çekirdek sayısı, radyoaktif bozunum yasası uyarınca,

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (2.8)$$

şeklinde yazılmaktadır. λ , bozunma sabiti olup, denklemdaki (-) işaret, mevcut radyoaktif çekirdek sayısındaki azalmayı göstermektedir. $t=0$ anında, yani başlangıçtaki radyoaktif çekirdek sayısı $N(0)$ ise, Dk.(2.8)'nin çözümü, t anında hala bozunmamış olarak var olan çekirdek sayısı,

$$N(t) = N(0) e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

olarak bulunacaktır.

"Bozunma yarıömrü" , mevcut radyoaktif çekirdek sayısının radyoaktif bozunum ile yarıya inmesi için geçen zaman süresi olarak tanımlanmaktadır. Yani $N(t) = N(0)/2$ olması için geçecek olan $t=T_{1/2}$ süresi, yarıömür, Dk. (2.9)'dan

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.10)$$

olarak bulunur.

Radyoaktifliğin ortadan (pratikçe) kalkması için 10 yarıömrün geçmesi yeterli sayılmaktadır.

2.4 Radyasyonların Madde ile Etkileşmesi

Çekirdek kaynaklı ışınlar enerjilerini içinden geçtikleri ortama vermek suretiyle zayıflayarak yutulurlar. Bu olayı parçacık ve dalga yapıları için inceleyelim.

2.4.1 Parçacık karakterli ışınlar

Bu ışınlar, parçacık enerjisi, kütlesi ve yükü ile ışınların içinden geçtikleri ortamın özelliklerine bağlı olarak yutulurlar. Alfa parçacığı, (+) yüklü He çekirdekleri olduğundan, bir atomun elektronlarına yaklaştığında, elektrostatik çekim kuvvetinin etkisinde kalarak atomun elektronları ile çekirdeği birbirlerini kuvvetlice iteceklerdir. Elektron kütlesinden yaklaşık 7000 kat fazla kütleli oluşları ve 10 MeV dolayındaki yüksek enerjileri nedeniyle alfa ışınlarının, atomların yörünge elektronları ve çekirdekleri ile etkileşme olasılığı çok yüksektir. Bu esnada iyonizasyon ve uyarılma olaylarından biri veya her ikisi de meydana gelebilir ve alfa parçacıkları çok kısa bir mesafede enerjilerini, yolları üzerinde cm başına 50.000 ile 80.000 iyon çifti meydana getirerek kaydedebilirler. Bir elektronun durgun kütlesi ve yüküne eşit kütle ve yüke sahip olan beta parçacıkları, absorplayıcı maddenin atomlarının elektronları ve çekirdeği ile etkileşmelere girerek iyonizasyon ve uyarılma olaylarına neden olur. Ayrıca yüksek enerjili beta parçacıkları atom çekirdeklerini saran elektron bulutuna nüfuz ederek, yörünge elektronlarının çeşitli enerji seviyeleri arasından geçerken kuvvetli elektrostatik çekimine uğrayarak hızları değişir ve bundan ötürü " Frenleme Işınları " denilen X ışınları yayınlarlar.

2.4.2 Elektromagnetik karakterli ışınlar

Gama ışınları ve benzeri elektromagnetik ışınlar madde ile etkileşmelerinde başlıca üç şekilde enerji kaybederek yutulurlar.

Fotoelektrik olay

Gama ışını, enerjisinin tümünü akıma bağlı elektronlardan birine vererek kaybolur. Bu enerji elektronu, çekirdeğin elektrik alanından koparmaya ve ona kinetik enerji vermeye harcanır. Atomdan kopan ve hız kazanan bu elektrona fotoelektron denir.

Compton olayı

Bir gama fotonu bir elektronla etkileşmesinde enerjisinin bir kısmını elektrona verir ve foton azalmış bir enerji ile başka bir doğrultuda yoluna devam eder .

Çift oluşum

Bu olayda bir gama fotonu, bir atom çekirdeği yakınında ve bu çekirdeğin kuvvetli magnetik alanı içinde kaybolur ve yerine biri negatif diğeri pozitif olan bir elektron çifti ortaya çıkar. Fotonun bir elektron çifti yaratacak miktarda enerjisi (1.02 MeV 'den büyük) varsa bu enerjiyi her iki elektron arasında kinetik enerji olarak paylaşılır ve atomdan büyük bir hızla ayrılırlar.

2.5 Radyasyonların Deteksiyonu ve Ölçülmesi

Bütün radyasyon deteksiyon metotları, bunların içinden geçtikleri ortamlarda iyonizasyon meydana getirme özelliklerine dayanır. Genellikle kullanılan radyasyon deteksiyon ortamları şunlardır.

Gaz iyonizasyon cihazları

İyonlaştırıcı radyasyonların gaz içinde meydana getirdikleri iyonların toplanması ve sayılması esasına dayanır. İyon sayısı, radyasyon miktarı ile orantılı olup burda iyon sayısından hareketle radyasyon miktarı belirlenir.

Fotografik emülsiyonlar

Radyoaktif maddelerin yayınladıkları radyasyonlarla fotoğraf plaklarının karartma özelliği göstermesi ve bunun radyasyon miktarı ile artması gibi nedenlerle bu teknik, nükleer radyasyonların deteksiyonunda kullanılan ilk yöntemdir.

Sintillasyon detektörleri

Sintillasyon fosforu adı verilen maddeye radyasyon enerjisinin transferi ile bu maddenin görünen ışık şeklinde veya görünen ışığa yakın dalga boylarında enerjinin yeniden yayınlanması olayıdır.

Kimyasal bozulma detektörleri

Bu detektörlerde radyasyon etkisi ile meydana gelen iyonların ya yeni kimyasal bileşikler oluşturmaları üzere veya ışınlama öncesi var olan kimyasal özellikleri değiştirmelerinden faydalanılır (Kimyasal bozulma sistemlerinin en önemli sakıncası radyasyon duyarlılıklarının az oluşudur).

Lüminesans ortamlar (Termolüminesans dozimetreleri)

Nükleer radyasyonlara maruz bırakılmak sureti ile uyarılmış bazı katı maddelerin ısıtılması ile bu maddelerin ışık yayması olayına termolüminesans adı verilir. Radyasyon etkisiyle uyarılarak normal seviyelerden iletkenlik bandına çıkarılan ve aradaki tuzaklarda tutulan elektronlar, ısıtma yolu ile enerji alarak bu tuzaklardan kurtulup tekrar normal seviyelerine dönüşleri sırasında, iki enerji seviyesi arasındaki enerji farkına eşit enerjide görünen bir ışık yayımlarlar. Yayınlanan ışığın şiddeti, tuzaklarda yakalanmış elektronların sayısı ve dolayısıyla kristal tarafından absorblanmış radyasyon dozuyula orantılıdır. Bu lüminesans ışık şiddetinin ölçülmesiyle yutulmuş radyasyon dozu saptanabilir. (Bölüm 3)

2.6 Radyasyon Dozimetrisi ve Doz Birimleri

Radyasyon dozimetrisi, konusu itibarı ile iyonlaştırıcı radyasyon miktarının ölçülmesi anlamına gelir. Bir radyasyon demetinin şiddetini ölçmenin yolu, belirli bir yerdeki birim yüzeyden geçen parçacıkların veya enerji kuvantlarının sayısının belirlenmesine dayanır. Akı olarak adlandırılan bu sayı ϕ ile gösterilir.

$$\phi = \frac{n}{A} \text{ foton/s.cm}^2 \quad (2.11)$$

Burada, n foton ya da parçacık sayısını, A radyasyonun geçtiği yüzey alanını ifade eder. Bir alan içinde belirli bir anda geçen toplam radyasyon miktarı ise Q

$$Q = \phi \cdot t \quad (2.12)$$

denkleminde hareketle bulunur. Burada t zamanı göstermektedir. (2.11) denklemi (2.12) ye uygulanırsa,

$$Q = \frac{n}{A} t \quad (2.13)$$

elde edilir. Bu radyasyon miktarının bir kısmı malzemenin cinsine bağlı olarak yutulacaktır. Dış ortamdaki enerjinin geçiş hızına "ışınlama dozu" ve malzemedeki enerji yutulma hızına da "absorplama dozu" adı verilir .

İşınlama doz birimi olarak Rontgen ve absorplama doz birimi olarak da Rad olmak üzere iki temel doz birimi kullanılmaktaydı. Ancak Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonunun önerileri doğrultusunda, işınlama dozu olarak Rontgen yerine Coloumb/kg (C/kg), absorblama birimi rad yerine de Gray kullanılmaya başlanmıştır.

İşınlama doz birimleri:

Rontgen (eski birim): Normal şartlarda (0 °C ve 760mm Hg basıncı altında) 1cm³ havada bir elektrostatik yük birimlik elektrik yükü taşıyan iyon çeşitleri meydana getiren X veya gama ışınları miktar olarak tanımlanır.

$$1 \text{ C/kg (yeni birim)} = 3876 \text{ R} \quad \text{veya} \quad 1 \text{ R} = 2.5 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \quad \text{dir.}$$

Absorplama doz birimi:

Rad (eski birim): İşınlanan maddenin bir gramında 100 erg'lik enerji yutulmasını sağlayan radyasyon miktarına 1rad denir.

Havada 1 Röntgenlik gama ışını, su içinde 0.87 Rad'lık absorplama dozu meydana getirir.

Gray (yeni birim): 100 Rad

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

3.TERMOLÜMİNESANS OLAYI

Bu bölümde çalışmamızın ana konusu olan TL olayı ve bu olayı meydana getiren fiziksel mekanizmalar incelenmekte, bu bağlamda katılarda enerji bandları ile TL kusurlarını oluşturan etkenler üzerinde durulmaktadır.

3.1 Katılarda Enerji Bandları

Doğada katılar, atomların dizilişine göre sınıflandırılırlar. Atomları düzensiz olarak sıralanan katılara amorf maddeler denir (cam ve polimer gibi). Atomları düzgün ve bazı geometrik şekilleri belirleyecek biçimde dizilen (silisyum, karbon, germanyum gibi) katılara da kristal adı verilir. Burada katı kelimesi kristal anlamında kullanılacaktır.

3.1.1 Kristallerde bağlanma şekilleri

Kristallerde çeşitli bağlanma şekilleri vardır ancak konumuzla ilgili olarak burada kovalent, iyonik ve metalik bağlanmalardan bahsedilmektedir. İyonik bağlanma, elektronlarını kolaylıkla veren atomlarla, kolaylıkla elektron alabilen atomların etkileşmesi sonucu ortaya çıkar. Böylece katıda artı ve eksi iyonlar oluşur. İyonik bağ bu zıt elektrik yüklü iyonlar arasında oluşan elektrostatik çekimden ileri gelir. Madde içinde elektronlar serbest halde olmayıp iyonlar tarafından kuvvetle tutulduklarından ısı ve enerji iletmezler. Bu nedenle, iyonik katılar zayıf iletkenler olarak bilinir.

Kovalent bağlanmada atomlar birbirlerine elektron çiftleri ile bağlanırlar. Bu elektronlar bağlanan atomların ikisine birden aittir. Elmas, kovalent bağlı kristallerden biridir. Karbon atomunun en dış yörüngesinde dört elektronu vardır. Her karbon atomu kendisine en yakın dört atom ile bağlantı halindedir. Bağ oluşturan atomlar arasındaki uzaklık ve bağlar arasındaki açılar birbirine eşittir. Bu tür katılarda elektronlar, bağlar tarafından kuvvetle tutulduklarından serbest halde bulunmaz ve bu nedenle kovalent kristaller yalıtkan olarak bilinirler.

Metallerde görülen metalik bağlarda, metalin herbir atomundan serbest hale geçmiş elektron veya elektronlar mevcuttur. Metal atomlarının en dış yörüngelerindeki elektron sayısı azdır; yani sıkı kovalent bağ kurmak için yeterli değildir. İç elektronların oluşturduğu kararlı kısım çekirdeğin etkisini azalttığından, bu elektronlar atoma zayıf bir şekilde bağlıdırlar. Bu durumda valans elektronları, pozitif iyonların oluşturduğu potansiyel içinde serbestçe hareket eden bir gaz bulutu olarak düşünülebilir. Metallerin iletken olma özelliği bu serbest elektron bulutunun varlığı ile açıklanır.

3.1.2 Katılarda enerji bant teorisi

Bir atomdaki elektronlar, çekirdeğe göre belirli enerji düzeylerinde bulunurlar. Her düzey bir enerjiye karşılıktır ve elektron, düzeyler arasında kesinlikle bulunamaz. Atomlar, molekül ya da katı yapıyı oluşturmak için biraraya gelince elektronların enerji düzeyleri değişir. Çünkü herhangi bir elektron birden fazla çekirdeğin etkisine girer. Bu durumda da elektron bir atomun değil birden fazla atomun ortak malıdır.

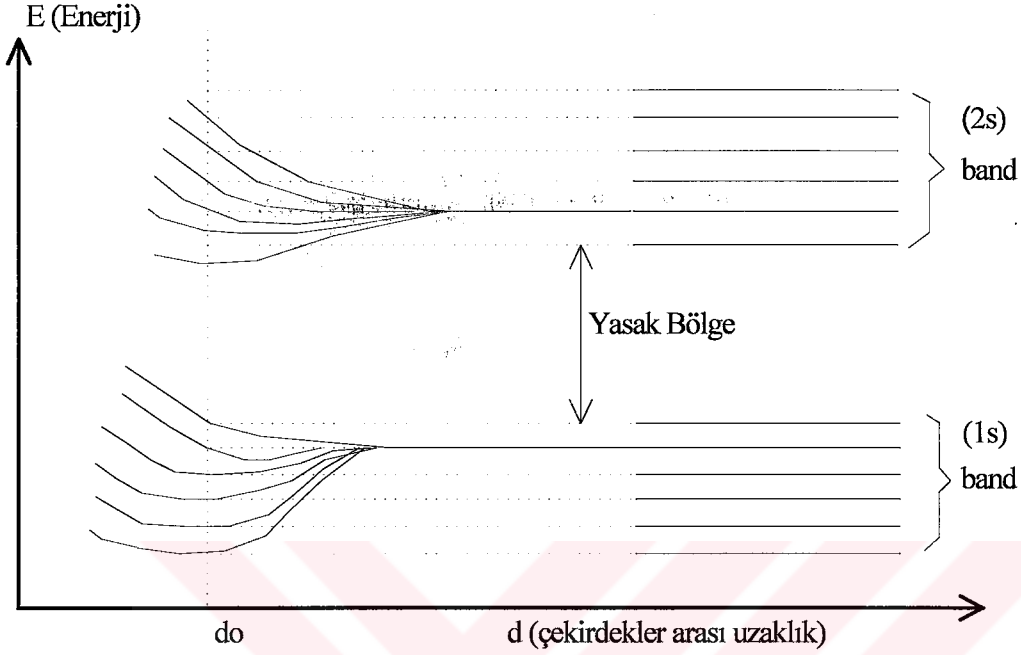
Atomlar bir katı kristali oluşturmak üzere biraraya geldiklerinde komşu atomların üst düzeydeki elektronları atomları birbirine bağlayacak biçimde etkileşirler. Bu bağ elektronların birbirleriyle kuvvetle etkileşmeleri nedeniyle üst enerji düzeyleri belirgin bir biçimde değişir. Atomların birbirini etkilemesinin sonucu olarak enerji seviyeleri üstüste gelir ve kristal yapı içinde enerji bandları oluşur. Bandlar birbirine yakın, çok sayıda enerji seviyesinden meydana gelir.

Atomlar biraraya gelip katıları oluştururken değerlik (valans) elektronlarının yer aldığı enerji bandlarına valans bandı denir. Bir katıda valans bandının üstünde yer alan ve tümü ile boş olan banda ise iletkenlik bandı adı verilir. Kristal içerisinde valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki bölgeye yasaklanmış bölge denir. Bu bölgede elektron bulunmaz. Şekil 3.1 altı hidrojen atomundan oluşan sistem için 1 S ve 2 S düzeylerindeki yarılmalar görülmektedir. Etkileşmenin başladığı uzaklık bu iki düzey için farklıdır. Elektronların çekirdeğe daha uzakta olması nedeniyle 2 S düzeyindeki yarılmaları daha önce başlar. Yanyana gelen atomların sayısı arttıkça belli bir uzaklığı için band genişliği aynı kalmak koşulu ile yarılan enerji düzeylerinin sayısı artar ve bir band oluşturur.

3.1.3 Fermi enerjisi

Valans bandında yer alan elektron boşlukları diğer elektronların her zaman geçiş yapabilmelerini sağlarlar. Herhangi bir elektron, denge durumunun bozulması nedeniyle, bu elektron boşluklarından birine geldiğinde o bölgedeki yeri boş kalır. Bu durumda, elektronun valans bandına gelmesi yerine, boşluğun o noktaya gittiği düşünülebilir. Benzer şekilde, valans bandından çıkıp giden bir elektrondan geride kalan boşluğun dışardan geldiği söylenebilir. Bu geçişlerde hareket edenin elektron olduğu açıktır. Ancak, valans bandındaki iletkenliğin kolayca açıklanabilmesi boşlukların yer değiştirdiği görüşü ile konuyu daha iyi anlamamızı sağlar. Hareket ettiği kabul edilen bu boşluklara delik (hole) adı verilir. İletkenlik bandındaki elektronlarla valans bandındaki delikler denge halindedir. Bu istatistiksel denge 'Fermi Enerji Düzeyi' ile sağlanır. Fermi düzeyi gerçekte var olmayan ancak yasak enerji bölgesinin herhangi bir yerinde bulunduğu kabul edilen bir enerji düzeyidir (Şekil 3.2).

Bu düzeyin konumu iletkenlik ve valans bandlarındaki elektron ve delik sayılarına bağlıdır. Herhangi bir nedenle elektron veya delik sayıları artarsa dengeyi korumak için sırasıyla iletkenlik veya valans bandına doğru yaklaşır.



Şekil 3.1 Altı Hidrojen atomundan oluşan bir sistemin potansiyel enerjisinin çekirdekler arası uzaklığa bağlı değişimi.

E_f Fermi Enerji düzeyine sahip bir düzeyin , böyle bir katı yapı içinde dolu olma olasılığı;

$$f(E) = \frac{1}{e^{(E-E_f)/kT} + 1} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Burada E fermi enerjisini, k boltzman sabitini, T ise mutlak sıcaklığı ifade etmektedir. Yalçın Buget (1981)

Bu denklem (3.1)'deki verilere göre tüm sıcaklıklar için olasılık $f(E)$

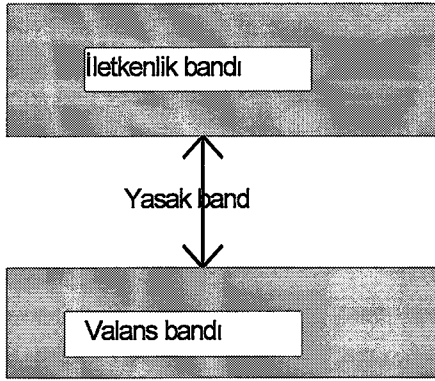
$$E < E_f \quad \text{için} \quad f(E) \rightarrow 1$$

$$E = E_f \quad \text{için} \quad f(E) = 1/2$$

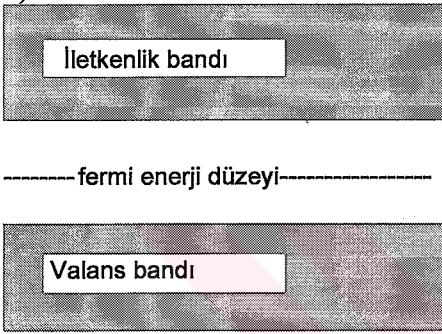
$$E > E_f \quad \text{için} \quad f(E) \rightarrow 0$$

değerlerini almaktadır.

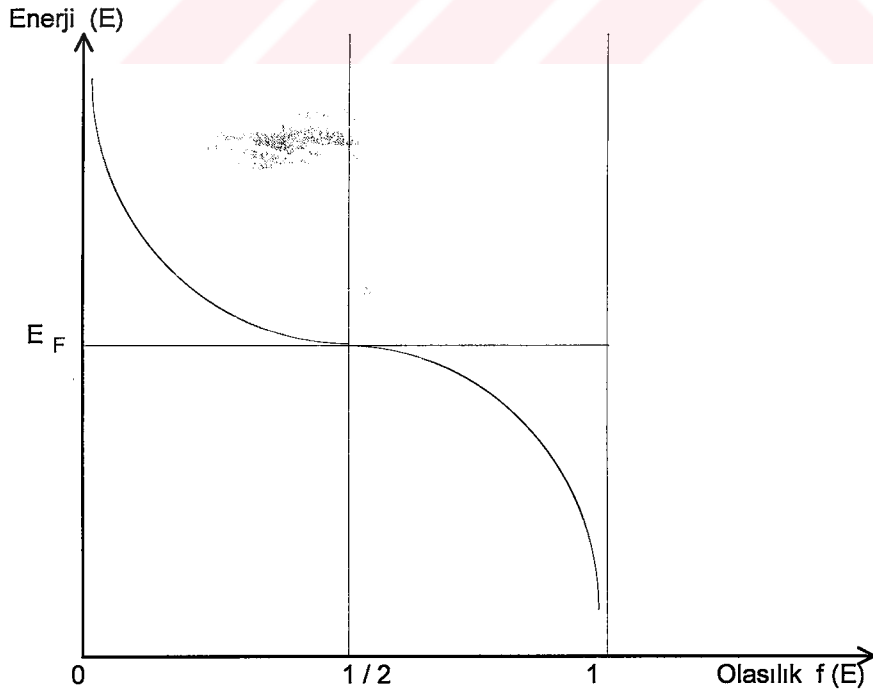
a)



b)



Şekil 3.2 Bir katıda iletkenlik ve valans bandlarının gösterimi ve fermi enerji düzeyi

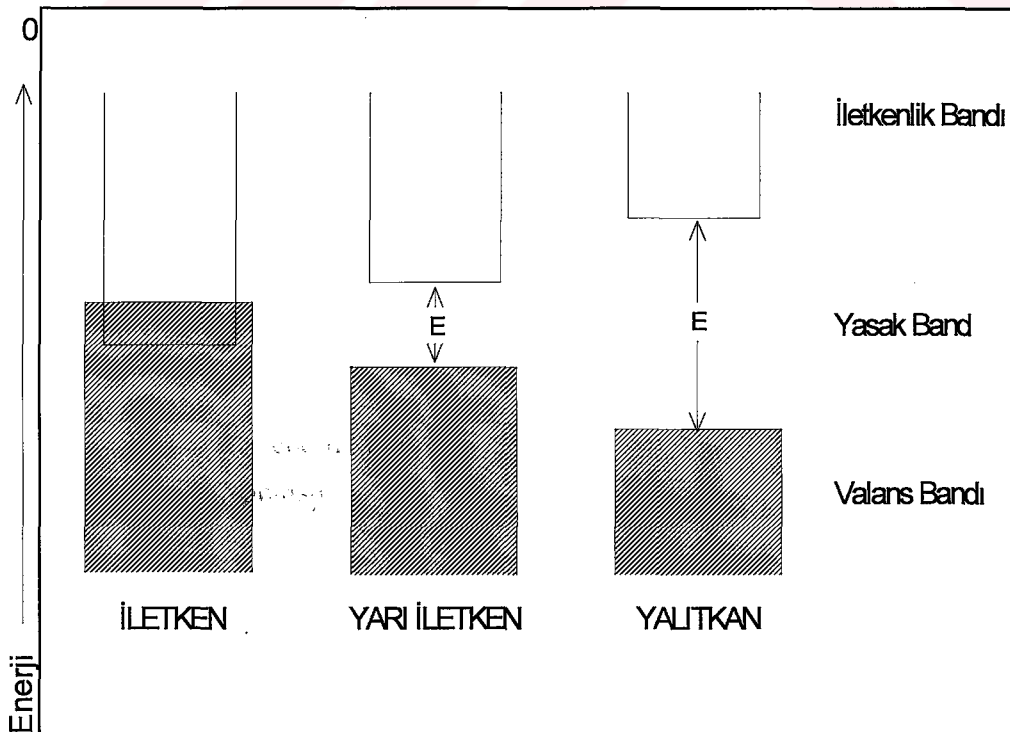


Şekil 3.3 Bir katıda enerji düzeylerinin dolu olma olasılığının enerji ile değişimi.

Dolu olma olasılığının enerji ile değişimi şekil 3.3'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi fermi enerjisinden yukarı çıkıldıkça veya aşağı inildikçe olasılık sırasıyla 0 ve 1 değerlerine yaklaşır. Daha önce belirttiğimiz gibi, bu iki band arasındaki yasak bölgede elektronun bulunma olasılığı sıfırdır. Oysa, kristal yapı içine karışmış yabancı atomlar veya atomların dizilişinde ortaya çıkan düzen bozuklukları gibi nedenlerle katı içinde serbest elektron yakalayan merkezler oluşur. " Elektron Tuzakları " adı verilen bu merkezler yasak enerji aralığı boyunca yer alabilirler.

3.1.4 Yalıtkanlar, yarı iletkenler ve iletkenler

Katılar elektriksel iletkenlik bakımından yalıtkan, iletken ve yarı iletkenler olmak üzere üç grupta toplanır. Gruplandırma enerji band kuramının sonuçlarına göre yapılır (Şekil 3.4). Yalıtkanlarda valans bandı tümüyle dolu, iletkenlik bandı ise tümüyle boş durumdadır. Ayrıca bu iki band arasındaki yasak enerji bölgesi, bir elektronun valans bandından iletkenlik bandına atlayamayacağı kadar geniştir. Dolayısıyla normal oda sıcaklığında elektronların valans bandından iletkenlik bandına geçmeleri olanaksızdır. Bu tür katılar, bu nedenle ısı ve elektriği iletmezler. Yasak enerji bölgesi olmayan, yani valans ve iletkenlik bandları üst üste binen katılar iletkenlerdir. Tüm metaller bu gruba girer. Bu tür kristallerde Fermi Enerji düzeyi çakışan bandların üzerinde yer alır. Yarı iletkenlerde, iletkenlik ve valans bandları arasındaki enerji aralığı ne metallerde görüldüğü kadar dar ve ne de yalıtkanlarda olduğu gibi geniştir. Bu nedenle elektronlar, normal oda sıcaklığında valans bandından geçebilir ve dolayısıyla zayıf iletkenliği sağlayabilirler.



Şekil 3.4 İletken-yarı iletken ve yalıtkan maddelerde yasak bölge genişliği.

3.2 Termolüminesans Kusurlarının Meydana Gelişi

TL olayı kristal yapıya sahip cisimlerde meydana gelmektedir. Genel olarak bu olaya uygun maddeler halojenürler, alkali toprak sülfatları, metal oksitleri, metal sülfürleri ve karışık bileşikler gibi maddelerdir. İdeal bir alkali halojenür kristali yanyana dizilmiş yüzey merkezli kübik şebeke yapısına sahiptir. Bu kristalde her alkali ve her halojen iyonu kendilerinden eşit mesafede bulunan altı halojen ve alkali iyonu ile çevrilmiştir. Ancak hakiki kristallerde bu yapıda bazı kusurlar bulunabilmektedir.

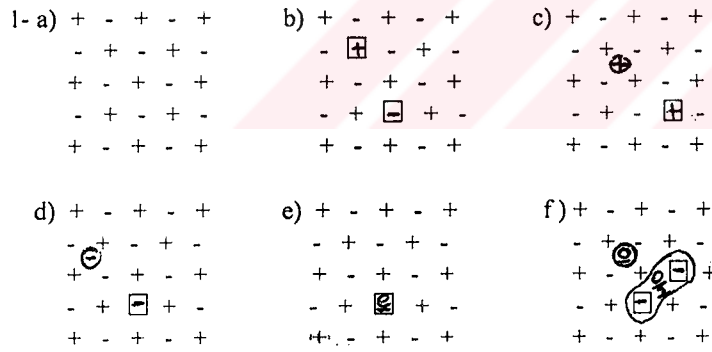
Halojenür kristallerde görülen belli başlı kusurlar şekil 3.5'de iki boyutlu şebeke içinde gösterilmiştir. Bu kusurlar; Soyberk (1981)

a) alkali iyon boşlukları

b) halojen iyon boşlukları.

c) interstisyel alkali iyonlar

d) interstisyel halojen iyonları gibi kusurlardır.



Şekil 3.5. Halojenik kristallerde görülen belli başlı kusurlar. Soyberk (1981)

+	Alkali iyon	-	Halojen iyonu
□	Alkali iyon boşluğu	□	Halojen iyon boşluğu
⊕	İnterstisyel alkali iyonu	⊖	İnterstisyel halojen iyonu
e	Elektron	□	F merkezi
		⊙	H merkezi
		0/2	V _k merkezi

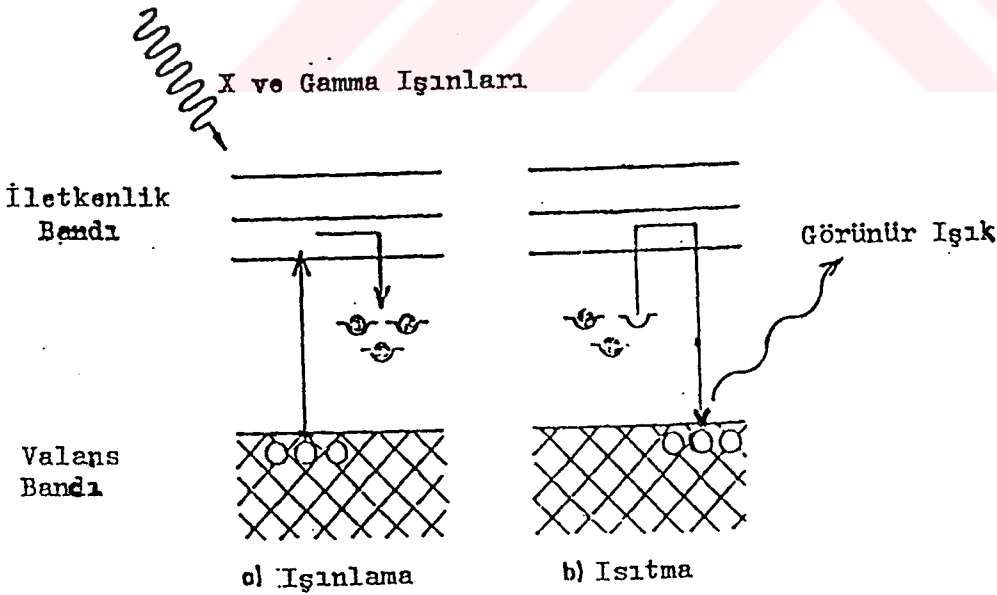
Şekil 3.5.a'da kusursuz bir kristal yapısı görülmektedir. Halojenürlerde en çok rastlanan kusurlar şebekedeki pozitif ve negatif iyon boşluklarıdır. (Şekil 3.5.b)

Alkali ve halojen iyonlarının yerlerinden çıkarak arkalarında boşluklar bırakması ve interstisyel durumunu alması da sık sık rastlanan kusurlardır.(Şekil 3.5.c.d).

Bu kusurlara ilaveten kristal bünyesine girmiş yabancı atomların meydana getirdiği kusurlar da vardır. Bunlar şebeke boşluklarına yerleşen veya şebeke arasına interstisyel olarak giren çeşitli birleşme değerlerindeki anyon ve katyonların neden olduğu kusurlardır ve bu kusurlar çeşitli pozitif ve negatif yükleri tutan tuzakların oluşmasına neden olurlar.

Enerji karakterli ışınlarla yapılan ışınlamalarda kristalde serbest kalan bir elektron bu lokalize olmuş pozitif yükler tarafından çekilir ve yakalanır(Şekil 3.5.e). Böyle bir boşluğa bağlı fazla bir elektronu bulunan negatif iyon boşluğuna " F merkezi " denir. F merkezi alkali halojen kristallerinde basit bir yakalanmış elektron tuzacıdır.

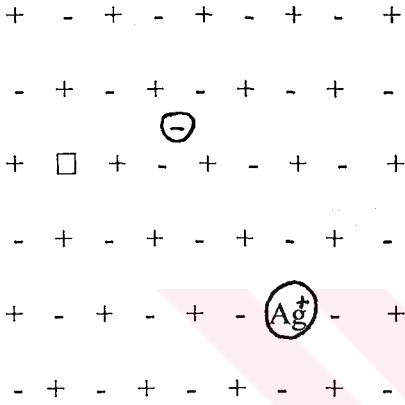
Enerji karakterli ışınlar, aşırı yüklerin lokalize olduğu interstisyel halojen iyonlarının meydana gelmesini ve normal şebeke iyonlarından elektron kopararak "delik" denilen ve kristal içerisinde hareket edebilen pozitif yüklerin oluşmasına neden olurlar (şekil 3.6). Genellikle kendileri yüksüz iken elektron verip pozitif olarak yüklenen tuzaklara "donör" ve elektron alıp negatif olarak yüklenen tuzaklara da "aktivatör" merkezleri denir.



Şekil 3.6 Termoluminesans olay Attik(1966)

3.3 TL Mekanizması

TL mekanizmasının ayrıntıları net olarak bilinmemekte ancak kristal yapısındaki kirlilik ve kristal yapısının oluşumu esnasında meydana gelen yapısal bozukluklara bağlı olarak açıklama yapılmaktadır. TL, Kovalent ve iyonik katılarda görülür; metallerde, iletkenlik bandı ile valans bandı içiçe olması nedeni ile görülmez. Bir iyonik kristal pozitif veya negatif iyon kafeslerinden oluşur. Örneğin kalsiyum karbonat ve sodyum klorit gibi çok çeşitli kusurlar oluşabilir. Bunlardan basit üç kusur şekil 3.7 de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Kristal yapıdaki çeşitli kusurlar

3.3.1 TL olayın meydana gelişi:

TL olayının meydana gelmesindeki en önemli aşama ısı enerjisi ile uyarmadır. Tuzaklarda yakalanmış elektronların kurtulabilmeleri için bir miktar enerjiye gerek vardır. Bu enerji kristale ısı yoluyla veya optik yolla verilebilir. Elektronların derin tuzaklardan kurtulma olasılığı uyarma enerjisine bağlıdır. Tuzaklardan kurtulan elektronlar iletkenlik bandına geçerler.

Uyarma ile iletkenlik bandına geçen elektronların izleyeceği üç yol vardır.

- İletkenlik,
- Termik yolla uyarılan ekzo -elektron emisyonu,
- Termik yolla uyarılan lüminesans.

Termik uyarma ile iletkenlik bandına çıkan elektronlar zıt yüklü aktivator merkezleri ile yeniden birleşme yaparak fazla enerjilerini ışık kuantları halinde yayımlayabilirler. Bu olaya Termolüminesans denir. TL olayında elde edilen ışıltama eğrilerinin maksimumlarına karşıt gelen sıcaklıklar tuzak derinliklerini belirler. İletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu ile tuzaklardan kurtulan elektron arasında bir orantı vardır.

İletkenlik bandı altında E derinliğinde bulunan tuzaklarda yakalanmış elektronlar, bu E enerjisine eşit enerjiye sahip olmadıkça tuzaklardan kurtulamazlar. Elektronların ısı yoluyla iletkenlik bandına geçmeleri bir "P" olasılığı ile meydana gelir. Bu olasılık iyon şebekesinin titreşim spektrumuna ve T mutlak sıcaklığına bağlıdır.

3.3.2 Elektronun Çıkarılma Olasılığı

"E" aktivasyon enerjisinde, "T" mutlak sıcaklıkta bulunan bir tuzaktan elektronun kurtulma olasılığı: $P = P_0 e^{E/kT}$ (3.2)

bağıntısı ile verilmektedir. Burada K; boltzman sabiti, P_0 ; frekans faktörü ($10^{13} \text{ sn}^{-1} - 10^{14} \text{ sn}^{-1}$). olmaktadır. Tuzaklardaki elektronların sayısını "n" ile gösterelim.

Birim zamanda tuzaklardan boşalan elektronların sayısı;

$$\frac{dn(t)}{dt} = -n(t) \cdot P \quad (3.3)$$

olacaktır. Bu iki denklemden,

$$\frac{dn(t)}{dt} = -n(t) \cdot P_0 e^{-E/kT} \quad (3.4)$$

elde edilir. Kristal sabit bir

$$q = \frac{dT}{dt} \quad (3.5)$$

ısıtma hızı ile ısıtılırsa son denklemde dt yerine dT/q konularak

$$\frac{dn(t)}{dT} = -P \frac{n(t)}{q} e^{-E/kT} \quad (3.6)$$

eşitliği elde edilir. Bu bağıntının entegre edilmesi ile

$$n = n_0 \exp\left(-\int_{T_1}^{T_2} \frac{P_0}{q} e^{-E/kT} dT\right) \quad (3.7)$$

bulunur. Burada "n₀" başlangıçta tuzaklarda bulunan elektronların toplamını göstermektedir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmamızın bu bölümü LiF ve Quartz kristallerinin TL özelliklerini incelemek amacıyla anilasyon işlemlerini, örnek malzemelerin, ışınlanmasını ve ölçüm işlemlerini kapsamaktadır. Deneysel çalışmamızda iki tür malzeme , LiF ve Quartz incelenecek, bunlardan öncelikle LiF' in üç değişik tipi toz, road ve cheap kendi içinde değerlendirme yoluna gidilecektir ve en verimli olan formu belirlenecektir. Bu çalışmada kullanılan LiF ve Quartz örnekler ve ışınlama kapsülleri Resim 4.1 de görülmektedir.

4.1 Anilasyon İşlemi :

Anilasyon (tavlama) , kristallerin içinde bulunan tuzakların, elektronlardan tümüyle boşaltılması için yapılan bir işlemdir. TL özelliklerini incelediğimiz ve radyasyon dozimetresine uygunluğunu araştırdığımız toz LiF, rod LiF, cheap LiF ve toz Quartz örnekleri, öncelikle anilasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Anilasyon işlemi , Kocaeli Endüstri Meslek Lisesinde gerçekleştirilmiştir. Bunun için Resim 4.2 de gösterilen Nüve marka MF 120 model Cr- Ni-Cr thermocouple cinsi bir fırın kullanılmış olup LiF ve Quartz örnekleri ısıya dayanıklı porselen krozelere ayrı ayrı konularak 1 saat süreyle 400 °C sıcaklıkta fırında tutulmuşlardır. Örnekler daha sonra aynı fırında soğumaya bırakılmış ve ışık almamasına özen gösterilmiştir.

4.2 Örneklerin Işınlanması :

Aniliye edilen örnekler , loş bir ortamda ışık almayacak şekilde renkli polietilen kapsüllere doldurulmuşlardır. Bu iş için 3 mm çapında , 20 mm boyunda 21 adet kapsül kullanılmış olup bu kapsüller yaklaşık 60 mg toz kristal alabilecek hacme sahiptir. Hazırladığımız örnekler, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM) de bulunan bir Co-60 gama kaynağı ile ışınlamaya tabi tutuldular. Işınlama işlemi için ISSLADOVATELY marka P-30 model bir cihaz kullanılmış olup, 4. 9. 1995 tarihi itibarıyla cihazın gücü 10568 Curie ve doz hızı 0.58 Mrad/sn olarak belirlenmiştir. Kullanılan cihaz Resim 4.2 de gösterilmekte, Örnekler verilen gama radyasyon dozu ve kaynak karşısında tutulma süreleri ise Tablo 4.1 de verilmektedir.

4.3 Ölçüm İşlemleri :

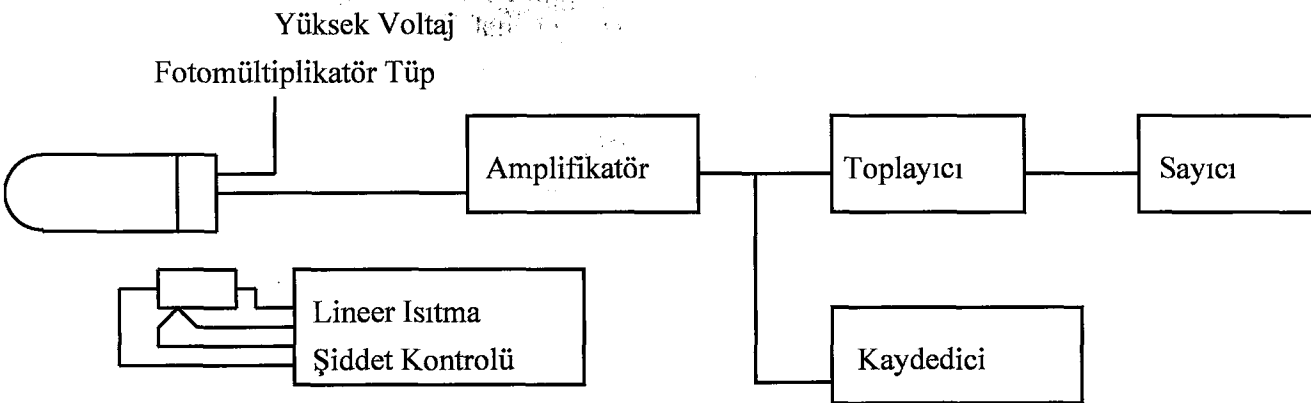
Işınlanan örneklerin TL ölçümleri ve değerlendirilmeleri ANAEM de gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Toledo marka 654 TLD model bir sayma sistemi kullanılmıştır. Aletin ısıtma hızı 5 C/s ve çıkabildiği maksimum sıcaklık 380 °C ve çalışma voltajı 990 V olarak tesbit edilmiştir. Aletin duyarlılığı ise background sayımları alınarak

test edilmiştir. Resim 4.4 de TL ölçümlerinin gerçekleştirildiği sayma sistemi görülmektedir.

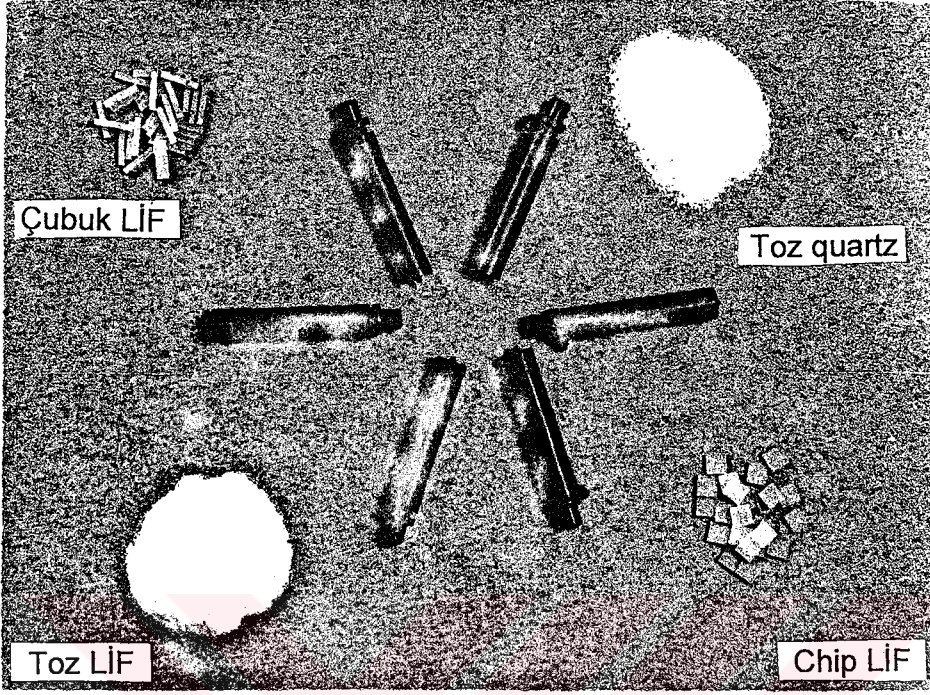
Toz kristaller, cheap ve rod şeklindeki örnekler , farklı bir yaklaşımla ölçüldüler. Loş bir odada, çeşitli dozlarda ışınlanmış rod LiF ve cheap LiF örnekler, tek tek sistemin thermocouple'na yerleştirildiler. Ölçümler alınırken aynı anda her ölçüm için TL eğrileri (glow-curve) bir kaydedici sistem tarafından çizildi. Ayrıca her alınan ölçümden sonra background sayımı alınarak aletin duyarlılığı kontrol edildi. Çeşitli dozlarda ışınlanan toz LiF ve toz Quartz örneklerinin bulunduğu kapsüller ışık almayan loş ortamda tek tek açılarak ölçümler gerçekleştirildi. Örneklerden her defasında aynı hacimde ölçmek amacıyla dispenser kullanıldı ve 15 mg lık miktarlar thermocouple a boşaltılarak değerlendirildi . Her ölçüm sonrası, cheap ve rod örneklerde olduğu gibi background sayımı alınarak aletin duyarlılığı test edildi ve yine her ölçüm için TLeğrisi alınarak ölçme işlemleri tamamlandı.

Tablo 4.1 Örneklere verilen radyasyon dozu ve kaynak karşısında tutulma süreleri

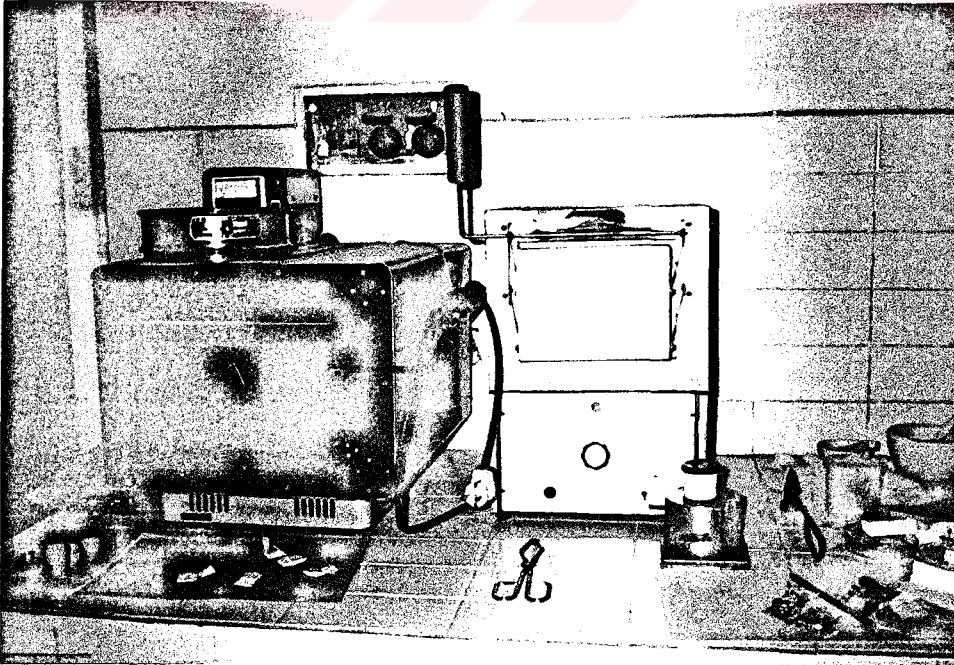
DOZ(Gy)	SÜRE (s)
5	3.1
10	6.2
100	62
500	310
1000	620



Şekil 4.5 TL okuyucusunun diyagramı



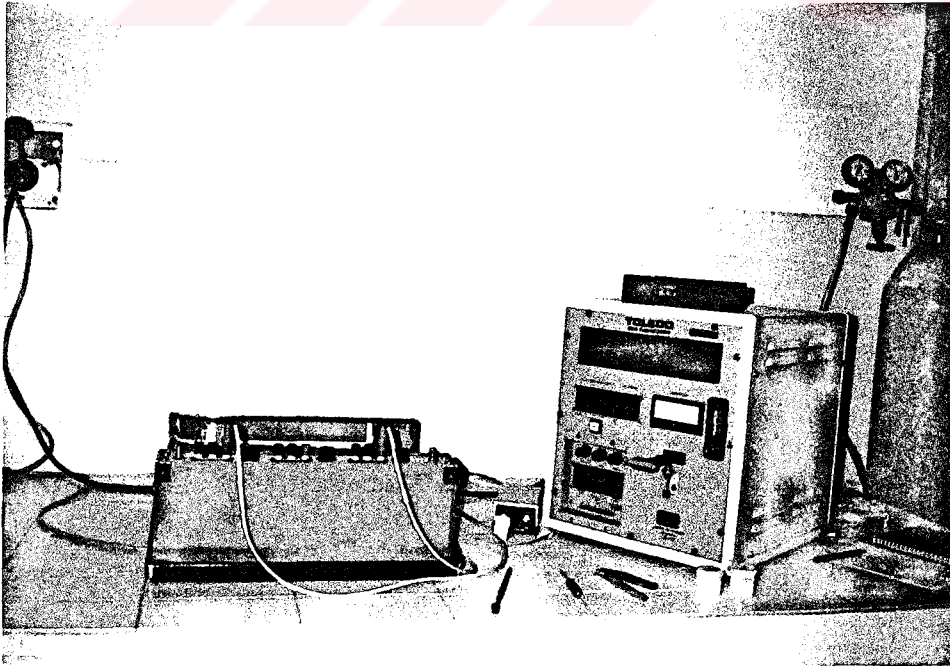
Resim 4.1 : LiF ve Quartz malzemeler ve ışınlama kapsülleri



Resim 4.2 LiF ve quartz malzemelerin aniliye işlemlerinin yapıldığı fırın



Resim 4.3 Örneklerin ışınlanmasında kullanılan ^{60}Co Gama Kaynağı



Resim 4.4 Örneklerin sayıldığı TL sayma sistemi

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde öncelikle LiF'ün üç değişik formu TL verimliliği açısından araştırıldı. Verimi en yüksek olan form, çeşitli dozlarda ışınlanarak doz-TL cevap ilişkisi üzerinde çalışıldı ve radyasyon dozimetresine uygunluğu araştırıldı.

LiF çalışmasının yanısıra TL özelliklerini saptamak ve radyasyon dozimetresine uygunluğunu araştırmak üzere toz quartz kristalleri üzerinde de aynı çalışmalar gerçekleştirildi.

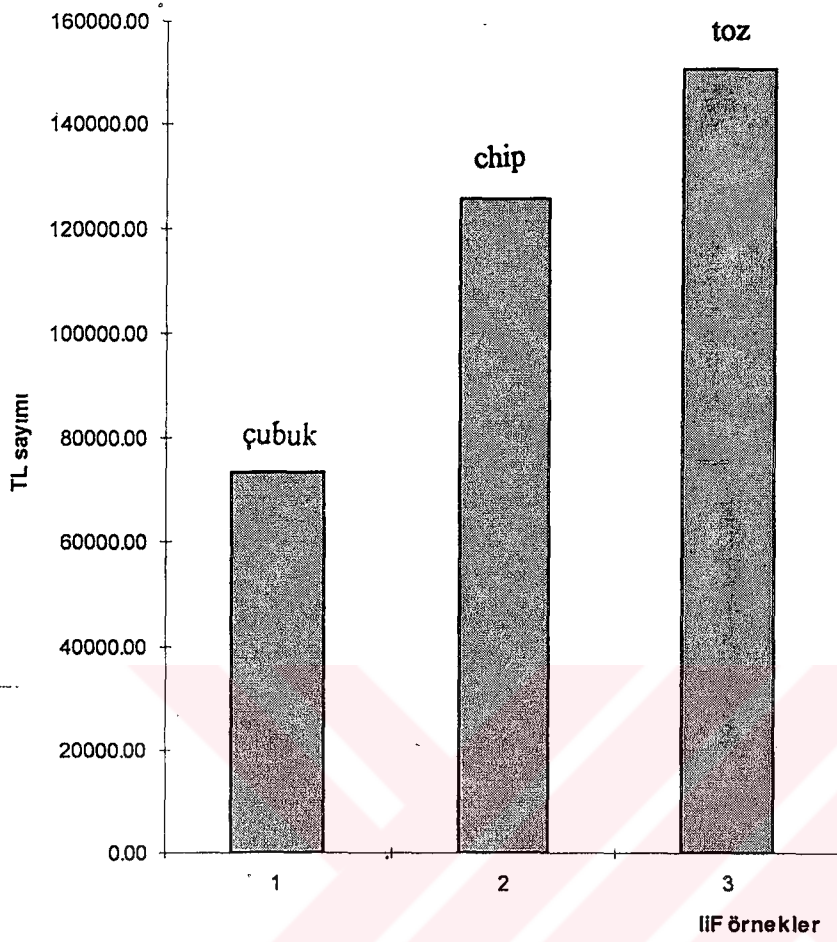
5.1 LiF'ün TL Özelliklerinin İncelenmesi

Araştırmamızın ilk bölümünde elimizde bulunan üç farklı formdaki LiF örnekleri, TL verimini saptamak amacıyla 10Gy gama ışınlama dozuyla ışınlandılar. Her örnek ayrı ayrı aynı sayım sisteminde ve Bölüm 4. de anlatılan esaslar dahilinde ölçüldü. TL ölçümleri yapılan örneklerin miktarları ile TL sayımları Tablo5.1 de verilmektedir.

Tablo 5.1 10 Gy'e ışınlanmış malzemeler her sayımda ölçülen miktarları ve TL sayımları.

LİF ÖRNEKLER	ÖLÇÜ MİKTARI (mg)	TL SAYIM
Çubuk	1.57 ± 0.02	73628.33
Chip	24.37 ± 0.03	125567.50
Toz	15 ± 0.00	150809.00

Tablo 5.1 de görüldüğü gibi toz LiF örneklerin TL sayımlarının ortalama değeri diğerlerine oranla oldukça yüksek bulundu. Bu sonuç toz LiF'ün radyasyon dozimetrisi açısından LiF'ün en uygun formu olarak değerlendirilebilir. Şekil 5.1 de her üç toz, chip ve çubuk LiF örneğin çizilen TL 'Glow-curve' leri verilmektedir. Toz, chip ve çubuk örneklerin hepsi 240 °C peak vermekte ve şekil itibarı ile üç peakin de birbirine özdeş ve LiF'e özgü olduğu görülmektedir. Şekil 5.2 deki grafikte LiF örneklerin verdiği TL sayımları yer almakta olup bu şekilde de toz LiF kristallerin dozimetrik verimlilik açısından en uygun malzeme biçimi olduğu net olarak görülmektedir. Diğer LiF örnekler, özellikle çubuk, en az TL sayımını vermektedir.



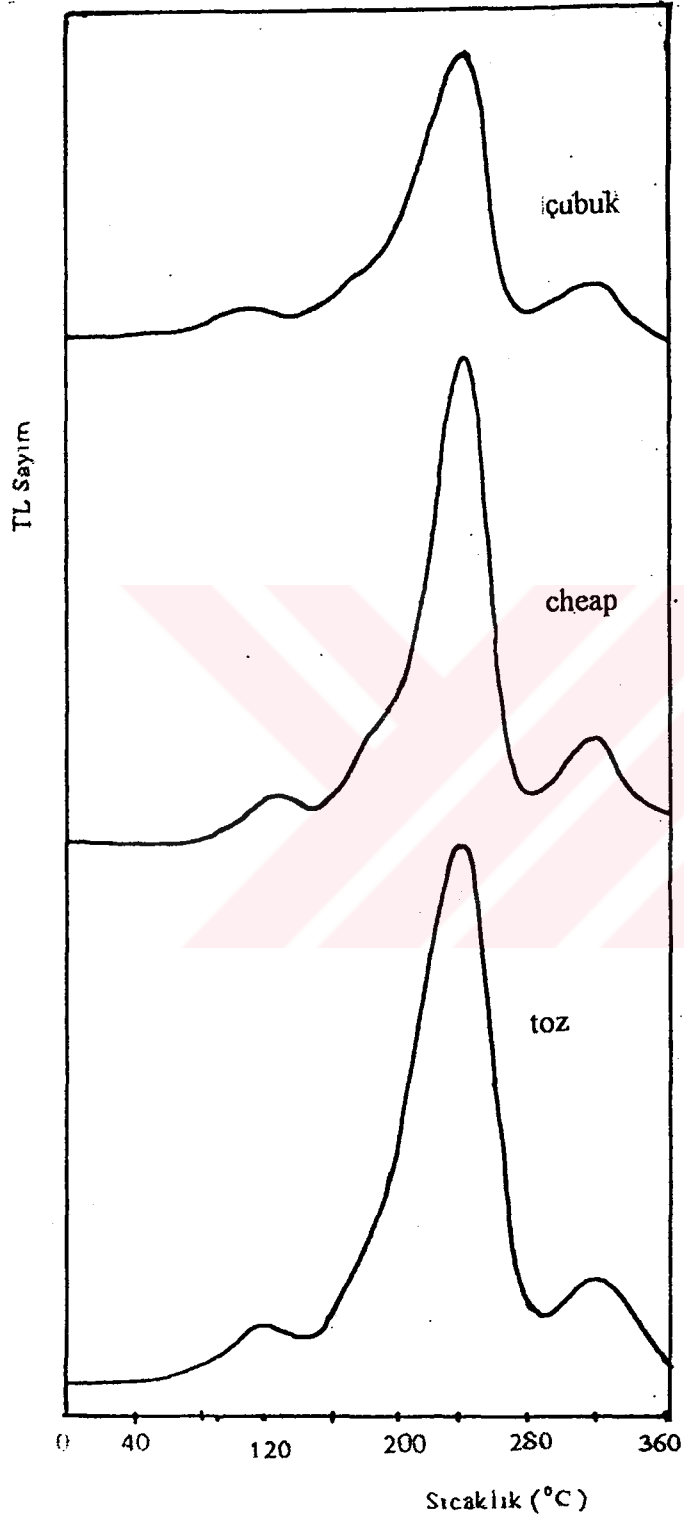
Şekil 5.1 10Gy'e ışınlanmış LiF örneklerin verdikleri TL sayımları

Bunun nedeni ise yoğun katı yapının içinde çubuğun iç bölümlerinde yer alan moleküllerin verdiği TL quantını engellediği söylenebilir. Bu itibarla bundan sonraki bölümde en uygun malzeme biçimi olarak belirlediğimiz toz LiF örneklerin çeşitli dozlara verdiği TL sayımları ile doz-kalibrasyon eğrisi üzerinde çalışılacaktır.

5.2 Toz LiF İçin Doz-Kalibrasyon Eğrisinin Çıkarılması

Bu bölümün amacı doğrultusunda toz LiF örnekler anilasyon işleminden sonra 0.5-3.5 Gy arasındaki çeşitli dozlarda kapsüller içine konularak ışınlandılar ve TL sayıcı sistemde Bölüm 4 deki esaslar çerçevesinde sayılarak değerlendirildiler. Alınan sayımlar her defasında kaynak sayımları ile test edildi ve böylece sistemin duyarlılığı sürekli kontrol altında tutuldu.

Her kapsülden yaklaşık 10 sayım elde edildi. Bu sayımlar normalize edildikten sonra elde edilen ortalama değerler, standart sapma ve bağıl hatalar Tablo 5.2 gösterilmektedir.



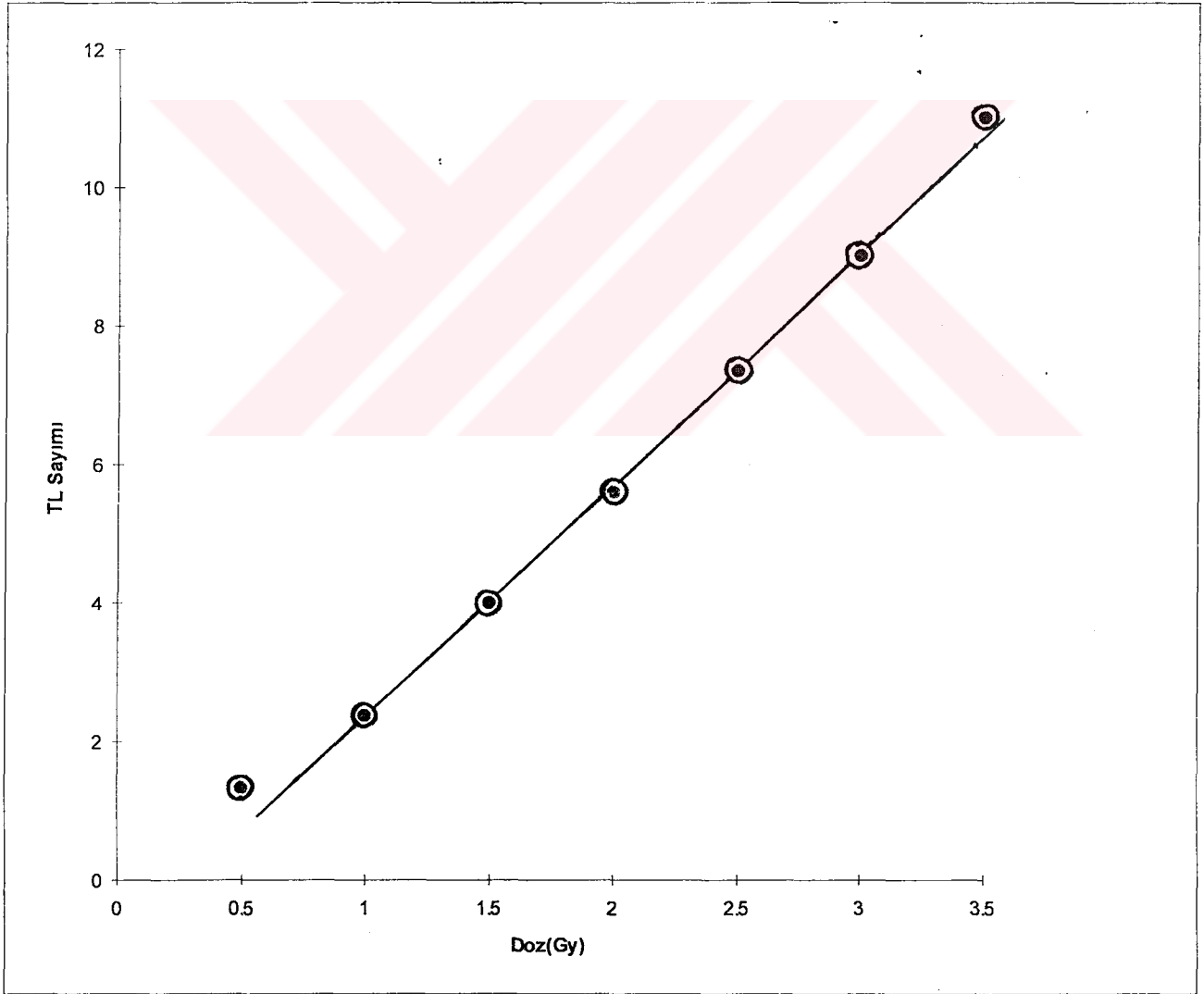
Şekil 5.2 10 Gy ^{60}Co gama radyasyon dozu verilmiş olan çubuk, chip ve toz LiF örneklerin TL sayımları.

TABLO 5.2 Toz LiF örneklere verilen ışınlama dozları ve her doz için alınan kaynak ve TL sayımları ile bunların normalize, ortalama değerleri ve hata analizleri

Verilen Doz (Gy)	Kaynak Sayımı (n C,10sn)	TL Sayım (μC,30sn)	Nrmalize	Ortalama \bar{X}	Standart sapma σ	Hata %	
1	0.5	76.5	1.40	1.40	1.34	0.0289	2.8
2		76.6	1.30	1.30			
3		77.0	1.35	1.35			
4		76.9	1.34	1.34			
5		76.9	1.32	1.32			
6		76.2	1.39	1.38			
7		76.5	1.32	1.32			
8		76.4	1.36	1.35			
9		76.7	1.32	1.32			
10		76.1	1.36	1.35			
1	1	76.3	2.63	2.63	2.67	0.070	2.6
2		76.4	2.78	2.78			
3		76.2	2.64	2.63			
4		76.5	2.66	2.66			
5		76.3	2.67	2.67			
6		76.4	2.64	2.64			
7		76.0	2.60	2.58			
8		75.9	2.85	2.83			
9		76.2	2.68	2.67			
10		76.4	2.66	2.66			
1	1.5	76.9	3.98	3.98	3.99	0.100	2.5
2		76.0	3.95	3.90			
3		76.7	3.97	3.95			
4		76.3	3.98	3.94			
5		76.5	3.95	3.92			
6		76.8	4.17	4.16			
7		76.6	3.90	3.88			
8		75.6	4.20	4.18			
9		76.7	4.00	3.98			

Verilen Doz (Gy)	Kaynak Sayımı (n C,10sn)	TL Sayım (μ C,30sn)	Normalize	Ortalama \bar{x}	Standart sapma σ	Hata %	
10	76.5	4.12	4.08				
1	2	76.9	5.70	5.70	5.6	0.097	1.7
2	76.7	5.59	5.57				
3	76.7	5.63	5.61				
4	76.3	5.41	5.36				
5	76.4	5.71	5.67				
6	76.7	5.61	5.59				
7	76.8	5.62	5.61				
8	76.3	5.64	5.59				
9	76.9	5.73	5.73				
10	76.5	5.71	5.68				
1	2.5	76.3	7.41	7.41	7.37	0.120	1.6
2	76.4	7.39	7.39				
3	76.0	7.32	7.29				
4	76.7	7.26	7.29				
5	75.9	7.24	7.20				
6	76.7	7.35	7.38				
7	76.5	7.31	7.32				
8	76.8	7.55	7.59				
9	76.6	7.31	7.33				
1	76.8	7.55	7.59				
10	3	75.8	8.71	8.71	9.02	0.136	1.5
2	75.7	8.95	8.93				
3	76.1	9.02	9.05				
4	76.1	8.96	8.99				
5	76.0	9.04	9.06				
6	76.2	9.05	9.09				
7	76.1	9.24	9.27				
8	76.3	9.08	9.13				
1	3.5	76.1	11.6	11.6	11.006	0.143	1.3
2	76.1	10.87	10.87				
3	76.4	11.21	11.25				

Verilen Doz (Gy)	Kaynak Sayımı (nC,10s)	TL Sayım (μC,30sn)	Normalize	Ortalama \bar{X}	Standart sapma σ	Hata %
4	76.8	11.06	11.16			
5	75.7	11.13	11.07			
6	75.9	11.04	11.01			
7	76.8	10.89	10.99			
8	76.1	10.89	10.87			
9	75.9	10.85	10.82			
10	76.8	10.89	10.86			



Şekil 5.3 Toz LiF'ün doz-kalibrasyon eğrisi

Toz LiF örneklerine verilen radyasyon dozu ile bunlara karşılık okunan TL sayımları arasında çizilen grafikte görüldüğü gibi, toz LiF'ün doz-TL cevap ilişkisi lineer bir artış göstermektedir (Şekil 5.3). Yani ışınlama dozu arttıkça TL okuma değerleri de yükselmekte ve bu lineer bir çizgi üzerinde olmaktadır. Bu sonuç, radyasyon dozimetrisi açısından son derece önemli olup bir dozimetrik malzeme için en önemli unsurlardan biri durumundadır. Dolayısıyla hala dozimetrik malzeme olarak kullanılan LiF'ün özellikle toz şeklindeki kullanımı radyasyon dozimetrisi açısından diğerlerine oranla en uygun şekil olarak bulunmuştur.

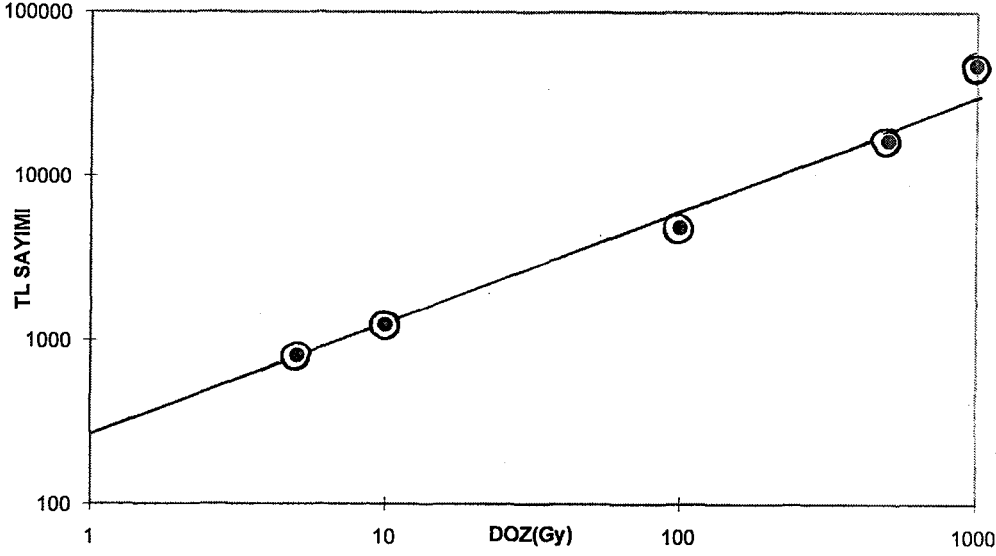
5.3 Quartz'ın TL Özelliklerinin İncelenmesi

Quartz'ın TL özelliklerini incelemek üzere toz Quartz kristalleri 400 °C de aniliye edildikten 1 saat sonra aniliye edildikleri fırınının içinde soğumaya bırakılmıştır. Soğutulduktan sonra 3mm çapında 20 mm uzunluğunda siyah teflon kapsüllere doldurularak 5Gy, 10Gy, 100Gy, 500Gy ve 1000Gy gama ışını altında radyasyona tabi tutuldular. Işınlanmış kapsüller tek tek açılarak TLD sayımları değerlendirildi ve her ölçüm için yaklaşık 15 mg toz quartz kristali kullanıldı.

Tablo 5.3 de toz kristallere verilen radyasyon dozları ve bunlara karşılık gelen ortalama TL okumaları verilmektedir. Bunun yanısıra doz TL sayım ilişkisi 5.4 grafiğinde ayrıca görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi doz arttıkça TL okunması lineer artış göstermektedir. Bu verilerden hareketle radyasyon dozu ile TLsayımları arasında arasında linner bir ilişki olduğu söylenebilir.

Tablo 5.3 ⁶⁰Co gama kaynağı ile ışınlanmış toz quartz kristal örneklerle verilen radyasyon dozları ve alınan TL ölçümleri

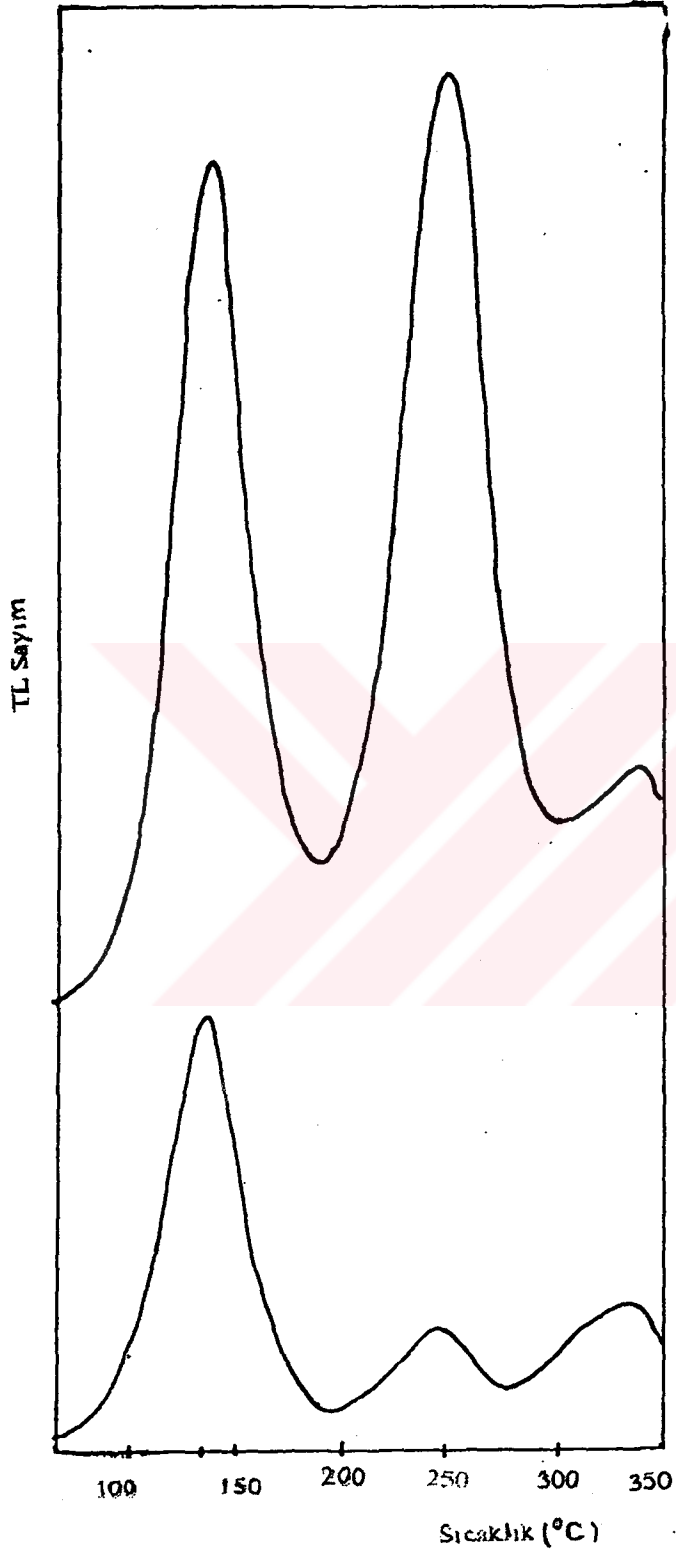
Doz (Gy)	TL Sayım \bar{x}
5	804
10	1241
100	4874
500	16501
1000	47519



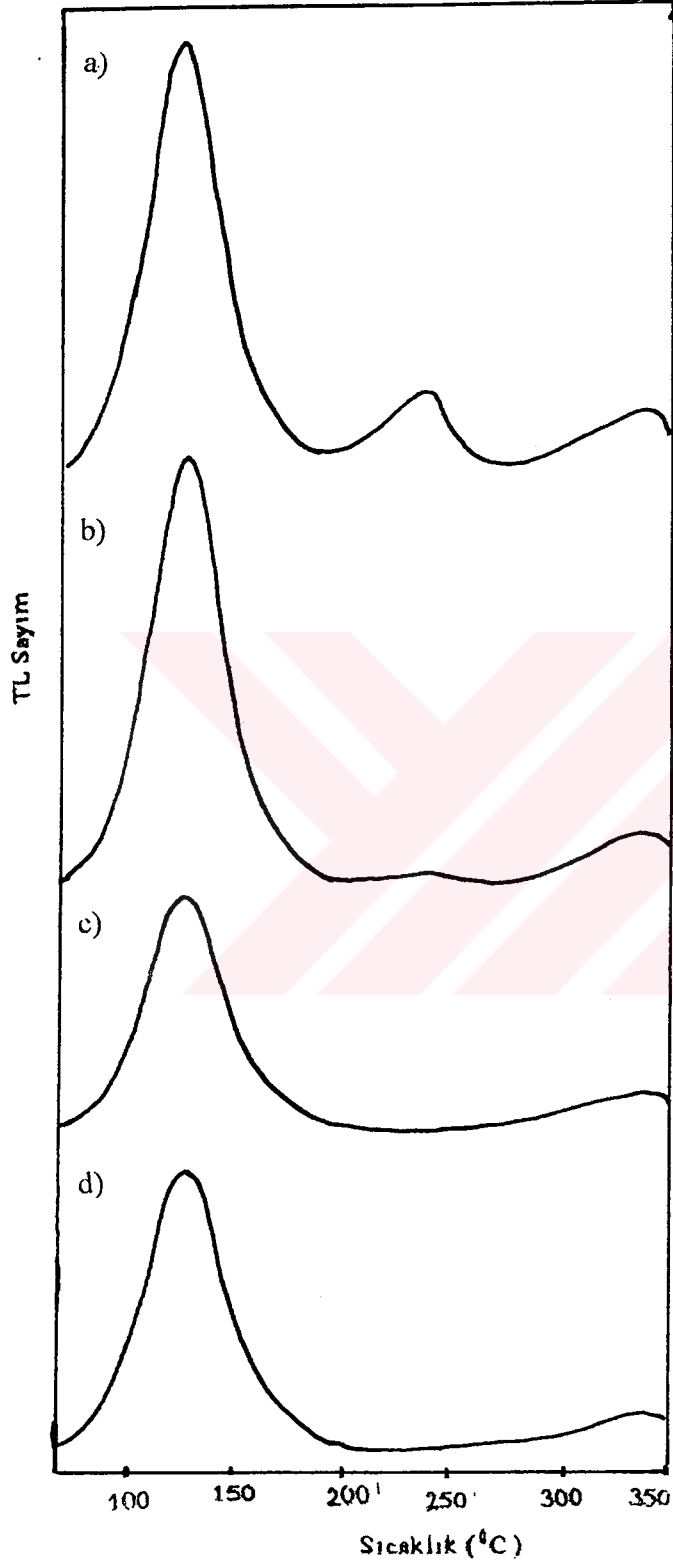
Şekil 5.4 Farklı dozlara ışınlanmış toz quartz kristalleri için doz-kalibrasyon eğrisi

Şekil 5.5 ve 5.6 de ışınlanmış TL kristallerinin "Glow Curve"leri yer almaktadır. Quartz kristallerinin 135 °C, 250°C ve 345°C civarında peak vermekte ve bu peak uzunlukları doz arttıkça artış göstermektedirler. Özellikle 1000 Gy'e ışınlanmış quartz kristalleri ile 500 Gy'e ışınlanmış toz örnekler karşılaştırılırsa radyasyon dozunun 250 °C peak de depolandığı ve peakin uzunluğunun radyasyon dozu arttıkça artış gösterdiği görülecektir. Buradan hareketle radyasyon dozunun 250 °C peak izlenerek daha hassas ve doğru saptanabileceğini saptamak doğru olacaktır. Öte yandan, 135 °C peakinde de 250 °C ye göre çok hızlı bir artış olmasa da radyasyon dozu ile orantılı olarak artış gösterdiği elde ettiğimiz sonuçlar arasındadır. Her iki peakten de hareketle verilen radyasyon dozunu bulmak mümkün olacaktır. Bütün bunların yanısıra, her iki peakin altındaki toplam alan da, toplam alınan doz açısından bize net bir fikir verebilecek durumdadır.

Ancak bu peaklerin ne denli kararlı olduğunu belirlemek bu aşamada önemli bir noktadır. Çünkü, radyasyona duyarlı görünen bu peakler zaman içinde azalmaya doğru gidiyor yani bir başka deyişle elektron tuzakları zaman içinde hızlı bir biçimde boşalıyor, o zaman elde ettiğimiz sonuçların radyasyon dozimetrisi açısından fazla bir anlamı olmayacaktır. Çünkü radyasyon dozimetrisinde alınan radyasyon dozunu belirlemede elektron tuzaklarının çevre koşullarından olabildiğince etkilenmeden ve kararlı olması istenilen bir özelliktir. Bu amaçla, araştırmamızın bu bölümünde quartz kristallerinin ışınlanır ışınlanmaz ve ışınlamadan 0.5 saat sonra, 1.5 saat sonra ve 3 saat sonra TL ölçümleri yapılmış ve "Glow Curve"leri çizilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 345 °C deki peak radyasyona duyarlı diğer peaklerin ise duyarlı olmadığı, zaman içinde peak yüksekliğinde azalma olduğu görülmektedir. Buradan radyasyon dozimetresi açısından 345 °C peakinin daha uygun olduğu söylenebilir.



Şekil 5.5 1000 Gy'e ve 500 Gy'e ışınlanmış toz quartz örneklerin TLsayımları



Şekil 5.6 10 Gy'e ışınlanmış toz quartz örneklerin TL sayımları; a) Işınlanmadan hemen sonra, b) Işınlanmadan 0,5 saat sonra, c) Işınlanmadan 1,5 saat sonra, d) Işınlanmadan 3 saat sonra.

SONUÇ

Radyoterapinin amacı, kanserli dokunun iyonlaştırıcı ışınlar (nükleer radyasyonlar) kullanılmak suretiyle yok edilmesi, ancak, kanserli dokunun çevresindeki diğer dokulara en az zarar verebilecek şekilde bu işlemin gerçekleştirilmesi olarak özetlenebilir. Radyoterapide ve diğer radyasyonların kullanıldığı alanlarda da en önemli parametre, şüphesiz radyasyon dozunun doğru ve hassas bir şekilde belirlenmesi konusunu kapsamına alan radyasyon dozimetrisidir.

Bugün, LiF radyasyon dozimetrisinde kullanılan en önemli dozimetrik malzemelerden biridir. LiF'ün TL özelliklerinden hareketle gerçekleştirilen doz belirleme çalışmaları çeşitli alanlarda, özellikle radyoterapide kullanılmaktadır. Biz bu çalışmamızda LiF'ün TL özelliklerini inceleyerek radyasyon dozimetrisinde kabul gören özelliklerini belirleme yoluna gittik. Ancak, bu alanda en yaygın olarak çubuk (rod) ve chip şeklindeki LiF dozimetrelerinin kullanılması bizleri ayrıca bu tür dozimetrelerle toz halindeki LiF'ün karşılaştırılmasını ve TL hassasiyetlerini belirlenmesini amaçlamamıza yöneltmiştir. Yaptığımız çalışma sonunda toz halindeki LiF kristallerinin çok daha hassas olduğu görülmüştür. Diğer örneklerde hassasiyetin nispeten toz örneklerle göre az olmasının sebebinin homojen kütle dağılımına bağlı olan bu örneklerde TL sinyallerinin detektöre ulaşmadan kendi içinde maskelendiği şeklinde yorumlanabilir. Çalışmamızın uzantısında toz LiF ile yaptığımız çalışmalar, toz LiF'ün dozimetrik uygulamalar için son derece uygun materyal olduğunu göstermiştir. Bağıl hatanın %5'in altında olması, doz kalibrasyon eğrisinin düzgün bir lineerlik göstermesi TL "glow curve"ün her dozda karakteristik sinyali veriyor olması bizim bu savımızı güçlendirmektedir.

Öte yandan quartz ile yaptığımız çalışmalarda da radyasyon dozimetrisi açısından uygun özellikler elde etmiş bulunmaktayız. Nitekim TL sayımları, verilen dozla lineer bir artış göstermektedir. "Glow curve" de elde ettiğimiz peaklerden 345 °C deki zamanla kararlı olup doza bağlı peak olarak değerlendirilebilmektedir. Diğer peakler çok kısa sürede elektron tuzaklarının boşalması ile şiddetini kaybetmektedir. Quartz ile yaptığımız çalışma, ileriye dönük olarak başka ayrıntıların incelenmesini gerektirdiğinden, bu çalışmamız ilerde yapacağımız çalışmaların bir ön plot çalışması niteliğindedir.

KAYNAKLAR

- 1- ATTIK, H.F. and Roesch, C.W.1966. Radiation dosimetry. p.269, London.
- 2- AKPINAR, S. 1973. Denel Fizik kürsüsü, İ.Ü. Matbaası, s.12-14, İstanbul.
- 3- BLATT, J.F. 1968. Principles of Physics.Printed U.S.A. p.754-756.
- 4- BLOCH, P. Paramagnetic resonance in LiF.p.317-321, Hospital of the University of Pennsylvania, Philadelphia.
- 5- EHLERMANN, D.A.E. and KHAN, H.M.1995. Radiat. Phys. Chem. Vol.46. No.4-6 p.1185-1187, Eisevier Science Ltd. printed in Great Britain.
- 6- FAIRBANKS, E.J. and DEWERD, L.A. 1991. Thermoluminescent characteristics of LiF: Mg, Ti from three manufacturers. p. 1-10, Wisconsin.
- 7- GEZİ, S.1992. Katıhal Fiziği. İ.T.Ü. Matbaası, s.492-498, İstanbul.
- 8- GÖKSEL, A.1973. Radyasyonun biyolojik etkileri ve radyasyon korunması. İ.Ü. Matbaası,s.6-65 ,103-113, İstanbul.
- 9- GRANT, R.M. and JONES, D.E. TLD supralinearity in LiF crystals. University of California Livermore, California.
- 10- KIYAK, N. 1990. Elektron spin resonance and thermoluminescence detection of irradiated eggs. Turkish journal of nuclear sciences, vol 17,no 1-2 p. 83-90
- 11- KIYAK, N. and YAŞAR, S. 1994. Intercomparison programme of absorbed dose for Co-60teletherapy units in Turkey, Measurement assurance in dosimetry. p. 157-163, International Atomic Energy Agency held in Vienna.
- 12- KIYAK. N. 1995. An application of thermoluminescence technique on radiation processing, radiation physics and chemistry, vol 40,no4-6,p. 721-723.
- 13- SARAÇ, A.İ. 1978. Radyoaktif bozunma radyasyonlarının tanıtılması ve deteksiyon prensipleri.Çekmece Nükleer A. ve E. M., s. 1-5, İstanbul.

- 14- SOYBERK, Ö. 1981. Termolüminesans ve ekzo-elektron dozimetresi ile yumuşak X ışığı dozimetresi. Ç.N.A.E.M., s. 7-9, İstanbul.
- 15- YAŞAR, S. 1990. Radyasyon dozu ölçülmesinde kullanılan dozimetrik yöntem ve cihazları. Ç.N.A.E.M., s.12-14, Bodrum.
- 16- YAŞAR, S. and KIYAK, N. 1991. TLD ile teleterapi cihazları için postayla doz mukayesesi. Ç.N.A.E.M. sağlık fiziği bölümü, İstanbul.
- 17- YALÇIN, C. Buget, N. 1981. Modern fizik ve atom fiziği. M.E.B. Basımevi, s. 146-149, İstanbul



ÖZGEÇMİŞ

1962 yılında Erzincan'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzincan'da tamamladı. 1981-82 döneminde girdiği Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1987 yılında mezun oldu.

1988 yılından beri Kocaeli Özel Seymen Lisesinde fizik öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

