

**SODYUM KlorÜR VE POTASYUM KlorÜR'ÜN
OPTİK UYARMALI LÜMİNESANS (OSL) KİNETİĞİ**

Mustafa Hicabi BÖLÜKDEMİR

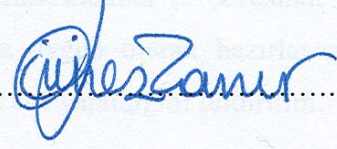
**DOKTORA TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2007
ANKARA**

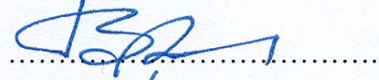
Mustafa Hicabi BÖLÜKDEMİR tarafından hazırlanan SODYUM Klorür ve POTASYUM Klorür'ün optik uyarmalı lüminesans (OSL) kinetiği adlı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ayşe Güneş TANIR
(Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı)



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

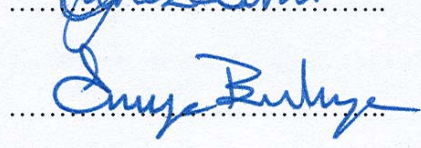
Prof. Dr. Başar ŞARER
(Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi)



Prof. Dr. Ayşe Güneş TANIR
(Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi)



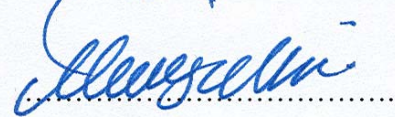
Doç.Dr. Enver BULUR
(Fizik Anabilim Dalı, ODTÜ)



Doç.Dr. Şeref OKUDUCU
(Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi)



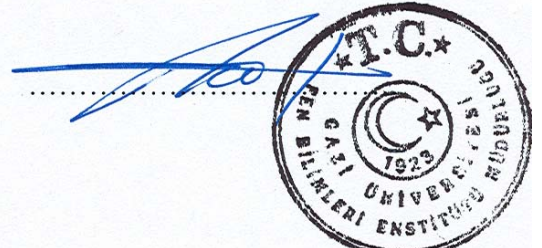
Yrd. Doç.Dr. Niyazi MERİÇ
(Fizik Mühendisliği A.B.D., Ankara Üniversitesi)



Tarih : 26 / Ekim / 2007

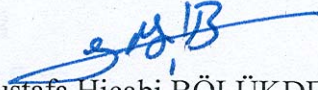
Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof.Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.


Mustafa Hicabi BÖLÜKDEMİR

**SODYUM KLORÜR VE POTASYUM KLORÜR'ÜN
OPTİK UYARMALI LÜMİNESANS (OSL) KİNETİĞİ
(Doktora Tezi)**

Mustafa Hicabi BÖLÜKDEMİR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2007**

ÖZET

Tarihlendirme uygulamalarıyla popüler hale gelen Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) tekniği, son yıllarda dozimetri çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. OSL sinyalinin bozunma şekli, doz ve sıcaklık bağımlılığı ve doz kararlılığı materyallere göre değiştiği için bu özelliklerin belirlenmesi materyal hakkında bilgi edinilmesi açısından önemlidir. Literatürdeki OSL çalışmalarında daha çok, iyi lüminesans özellikleri sergileyen kuvars ve sentetik materyaller kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada ilk önce feldspat numuneler için kullanılan ELSEC-OSL 9010 Sayma Sistemi kuvars, $Al_2O_3 : C$ vb. gibi görünür ışıkla uyarılabilen materyallerden gelen OSL'yi ölçmek modifiye edilmiştir. Daha sonra klor bileşenli ticari kalitedeki Alkali Halojenür'lerin (özellikle NaCl ve KCl) bozunma eğrileri, doz cevapları, sıcaklık bağımlılığı ve doz kararlılığı gibi OSL özellikleri incelenmiştir. Eğri-fit, pik-şekil ve ilk-artış yöntemleri kullanılarak materyallerin OSL karakteristikleri laboratuvar radyasyon dozuna ve sıcaklığa bağlı olarak

incelenmiştir. Bu çalışmaların sonucunda NaCl'ün aktivasyon enerjisinin doz arttıkça azaldığı ve bozunma sabitinin farklı radyasyon tiplerinde farklı oranlarda azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca NaCl'ün OSL sinyallerinin kullanılan diğer materyallerden daha kararlı, güvenilir ve kabul edilebilir olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 202.1.108
Anahtar Kelimeler : lüminesans dozimetri, infrared uyarmalı lüminesans (IRSL), mavi ışık uyarmalı lüminesans (BSL), eşdeğer doz (ED), aktivasyon enerjisi, termal tavlama
Sayfa adedi : 107
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ayşe Güneş TANIR

OPTICALLY STIMULATED LUMINESCENCE (OSL) KINETICS OF SODIUM CHLORIDE AND POTASSIUM CHLORIDE

(Ph.D. Thesis)

Mustafa Hicabi BÖLÜKDEMİR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2007

ABSTRACT

Recently, Optically Stimulated Luminescence (OSL) processes became by dating applications have intensively been used in dosimetry. Since decay shape, dose and temperature dependence and dose stable of OSL signals have altered according to materials, the determination of this feature is important to provide information about materials. Quartz and synthetic materials displaying fine luminescence characteristics have commonly been applied at OSL technics in the literature. In this study, firstly, ELSEC-OSL 9010 Read Systems used for feldspar samples have been modified to measure OSL from materials that can be stimulated with visible light same as quartz, $Al_2O_3:C$ etc. Then OSL characteristics like decay curves, dose response, temperature dependence and dose stable of Alkali Halide (especially NaCl and KCl) with chlorine component in commercial quality have been investigated. Besides, OSL characteristics of materials using Curve-Fitting, Peak-Shape and Initial-Rise methods have been investigated by depending on laboratory radiation doses and temperature.

In conclusion, the activation energy of NaCl decrease with the increase of dose, and decay constant of NaCl decrease in different radiation type as dose increase. Also it has been seen that OSL signals of NaCl is more stable, reliable and acceptable than other materials used in this work.

Science code	: 202.1.108
Key words	: luminescence dosimetry, infrared stimulated luminescence (IRSL), blue light stimulated luminescence (BSL), equivalent dose, activation energy, thermal annealing
Page number	: 107
Adviser	: Prof. Dr. Ayşe Güneş TANIR

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince yapıcı önerileriyle yol gösterici olan, yardım ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr. Ayşe Güneş TANIR'a; çalışmalarım sırasında verdiği çok değerli bilgilerle cesaretimin bir kat daha artmasını sağlayan değerli hocam Doç.Dr. Enver BULUR'a (ODTÜ Öğretim Üyesi); doktora çalışmalarım süresince her konuda beni sabır ve anlayışla destekleyen sevgili eşim Seda'ya; bugüne kadar maddi-manevi desteklerini esirgemeyen sevgili anne-babama, acizane en içten teşekkürlerimi sunmaktan onur duyarım.

Bu çalışmanın bir kısmı 106T478 (TBAG-HD/211) nolu TUBİTAK Hızlı Destek Projesi'nden alınan destek ile gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LÜMİNESANSIN TEMEL KAVRAM VE TANIMLARI	8
2.1. Lüminesans	8
2.2. Band Modeli	10
2.3. Termolüminesans	15
2.4. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL)	16
2.5. OSL Sinyalinin Düzenlenmesi (Sıfırlanması)	28
2.6. Doz Tahmini	29
3. OSL'DE DOZİMETRİ UYGULAMALARI	33
3.1. Personel Dozimetri	33
3.2. Çevre Dozimetri	33
3.3. Medikal Dozimetri	34
3.4. Geriye Dönük Dozimetri	34

	Sayfa
4. ALKALİ HALOJENÜRLER.....	36
4.1. Alkali Halojenürlerde Band Modeli ve Kusurlar	37
4.2. Alkali Halojenürlerde Soğurma Karakteristikleri	40
5. TUZAK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN METOTLAR	42
5.1. İlk-Artış Metodu	42
5.2. Pik-Şekil Metodu	43
5.3. Eğri Fit Metodu	45
6. MATERYAL VE METOD	47
6.1. ELSEC 9010 OSL Sayma Sistemi	47
6.2. Uyarma Sisteminin Modifikasyonu ve Test Edilmesi	48
6.3. Dedeksiyon Filtreleri.....	52
6.4. Beta Kaynağı ve Radyasyonu	53
6.5. OSL 9010 Sayma Sisteminin Kalibrasyonu.....	54
7. DENEYSEL İŞLEMLER VE SONUÇLAR.....	57
7.1. IRSL Deneyleri-1	58
7.2. IRSL Deneyleri-2	67
7.3. IRSL Deneyleri-3	71
7.4. BSL Deneyleri.....	73
7.5. NaCl'ün Bozunma Sabitinin Doz Bağımlılığı	86
8. TARTIŞMA	91
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	102
EKLER.....	104

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Alkali halojenürlerde F merkezi elektron-deşik tekrar-birleşme'sinde soğurulan piklerin dalga boyları ve etkin atom numarası	41
Çizelge 7.1. Ön-ısıtma sıcaklığı için algoritma.....	59
Çizelge 7.2. Farklı beta dozları için eğri-fit, ilk-artış ve pik-şekil metotları kullanılarak bulunan aktivasyon enerji değerleri.....	64
Çizelge 7.3. Doz cevap eğrisi için algoritma	68
Çizelge 7.4. Ön-ısıtma sıcaklığı için algoritma.....	74
Çizelge 7.5. Doz-cevap eğrisi için algoritma	79
Çizelge 7.6. Bozunma sabitinin doza bağlı gelişiminin fit sonuçları.....	88

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sistematik enerji diyagramı gösterimi a) floresansta elektronun uyarılması ve salınımı, b) fosforesansta bir elektronun uyarılması, tuzaklanması, tekrar serbest kalması ve salınması.....	9
Şekil 2.2. OSL ve TL işlemini gösteren basit band modeli	10
Şekil 2.3. Mutlak sıfırda yalıtkan içindeki enerji seviyeleri	12
Şekil 2.4. Kristaldeki bir kusur merkezinin konfigürasyon koordinat Diyagramı.....	14
Şekil 2.5. OSL okuma metotlarının gösterimi	17
Şekil 2.6. OSL bozunma eğrisine deneysel bir örnek	18
Şekil 2.7. Basit Genel Tek-Tuzak (GOT) enerji seviye diyagramı.....	19
Şekil 2.8. Termal olarak sıfırlanmış kuvars tek-tanecik OSL bozunma eğrisi	30
Şekil 4.1. Tipik bir kaya tuzu yapısı	36
Şekil 4.2. Alkali halojenür kristallerde genel elektronik geçişler	37
Şekil 4.3. a) İki boyutlu ideal kristal, b) Schottky kusuru (katyon ve anyon boşlukları), Frenkel kusuru (boşlukta sıkışan katyon ve anyonlar), yabancı katkı atomu	39
Şekil 5.1. Tipik bir TL pik (Glow-Peak) şekli	44
Şekil 6.1. Lüminesans sayma sistemi için genel şematik gösterim.....	47
Şekil 6.2. OSL 9010 sayma sistemi deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	48
Şekil 6.3. Fotoçoğaltıcı tüp önüne IR ışığı kesmek için konulan Schott BG-39 optik filtrenin geçirgenlik spektrumu	49
Şekil 6.4. Mavi LED takımına uygulanan akımla tablet üzerine sağlanan gücün değişimi	51

Şekil	Sayfa
Şekil 6.5. Mavi LED'in emisyon spektrumu ve Schott GG420 (Mavi LED'lerin önüne kesici filtre olarak konur) ile Hoya U340 (Fotoçoğaltıcı önüne dedeksiyon için konur) filtrelerinin geçirgenlikleri	52
Şekil 6.6. Stronsiyum-90 beta kaynağı.....	53
Şekil 6.7. OSL 9010 sisteminde önerilen tipik H.T. eğrisi ve değeri	54
Şekil 6.8. Fotoçoğaltıcının H.T. voltajının tespitini sağlayan kalibrasyon eğrisi	55
Şekil 6.9. OSL 9010 sistemindeki önyükselticinin eşik değerini bulmak için yapılan kalibrasyon eğrisi	56
Şekil 7.1. NaCl tabletleri için toplam IRSL şiddetinin sıcaklıkla değişimi	60
Şekil 7.2. KCl tabletleri için toplam IRSL şiddetinin sıcaklıkla değişimi	60
Şekil 7.3. NaCl'den alınan normalize toplam IRSL sayımlarının sıcaklıkla değişimi.....	62
Şekil 7.4. İlk-Artış metoduna göre normalize IRSL şiddetlerin logaritmasının 1/T'ye göre değişimi	62
Şekil 7.5. IRSL sinyallerinin azalma hızının sıcaklıkla değişimi	63
Şekil 7.6. KCl'den alınan normalize toplam IRSL sayımlarının sıcaklıkla değişimi.....	65
Şekil 7.7. 10 Gy beta dozuna maruz bırakılmış NaCl tabletinden elde edilen CW-OSL ve PS lüminesans eğrileri	66
Şekil 7.8. 10 Gy beta dozuna maruz bırakılmış KCl tabletinden elde edilen CW-OSL ve PS lüminesans eğrileri	66
Şekil 7.9. NaCl'den elde edilen bozunma eğrileri	68
Şekil 7.10. NaCl'den elde edilen bozunma eğrileri	69
Şekil 7.11. Tek tablet kullanılarak NaCl'den elde edilen doz-cevap eğrisi	71
Şekil 7.12. Tek tablet kullanılarak x-ışınına maruz bırakılmış NaCl'den elde edilen bozunma eğrileri	72

Şekil	Sayfa
Şekil 7.13. Tek tablet kullanılarak x-ışınına maruz bırakılmış NaCl'den elde edilen doz cevap eğrisi	72
Şekil 7.14. NaCl'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi	75
Şekil 7.15. KCl'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi	75
Şekil 7.16. BaCl ₂ 'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi	76
Şekil 7.17. MgCl ₂ 'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi	76
Şekil 7.18. RbCl'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi	77
Şekil 7.19. SrCl ₂ 'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi	77
Şekil 7.20. CaCl ₂ 'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi	78
Şekil 7.21. NaCl'den elde edilen BSL bozunma eğrisi.....	80
Şekil 7.22. KCl'den elde edilen BSL bozunma eğrisi	80
Şekil 7.23. RbCl'den elde edilen BSL bozunma eğrisi.....	81
Şekil 7.24. Tek tablet kullanılarak NaCl'den elde edilen doz-cevap eğrisi	81
Şekil 7.25. NaCl'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı	83
Şekil 7.26. KCl'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı	83
Şekil 7.27. RbCl'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı	84
Şekil 7.28. SrCl ₂ 'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı	84
Şekil 7.29. MgCl ₂ 'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı	85
Şekil 7.30. CaCl ₂ 'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı	85
Şekil 7.31. BaCl ₂ 'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı	86
Şekil 7.32. NaCl'ün IRSL sayımları için bozunma sabitinin beta dozuna bağlılığı	89

Şekil	Sayfa
Şekil 7.33. NaCl'ün BSL eğrileri için bozunma sabitinin beta dozuna bağlılığı	89
Şekil 7.34. NaCl'ün BSL eğrileri için bozunma sabitinin x-ışını dozuna bağlılığı.....	90

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Laboratuvardaki ELSEC 9010 OSL sayma sistemi.....	105
Resim 1.2. IR-LED takımının devre tablası.....	106
Resim 1.3. IR-LED takımının önden görünüşü	106

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
E	Aktivasyon enerjisi
E_{uy}	Uyarılmış durum enerjisi
e^-	Elektron
E_c	İletim bandı enerjisi
E_v	Valans bandı enerjisi
E_s	Sığ tuzak derinliği
E_t	Kararlı tuzak derinliği
E_g	Yasak band aralığı
E_f	Fermi enerji seviyesi
eV	Elektron volt, enerji birimi
F	Renk tuzak merkezi
γ	Gamma ışını
G	Taban durum
Gy	Gray (Radyasyon soğurma birimi)=J/kg
H	Derin tuzak
$I_{OSL}(t)$	OSL sinyalinin şiddeti
k	Boltzmann sabiti
$L(N), L_N$	Doğal lüminesans sinyali
$L(\beta)$	β dozuna karşılık gelen lüminesans sinyali
$L(N+\beta)$	Doğal + artan dozlara karşılık gelen lüminesans sinyali
M	Yarı kararlı durum

ns	Nano saniye, $1\text{ ns} = 10^{-9}\text{ s}$
p	Elektronun tuzaktan kaçma olasılığı
Φ	Foton akısı
R	Tekrar-birleşme merkezi
s	Sıklık faktörü
^{90}Sr	Stronsiyum-90
σ	Fotoiyonizasyon tesir kesiti
τ	Tuzak ömrü
T	Sıcaklık
T_s	Sığ tuzak
T_t	Kararlı tuzak seviyesi
^{90}Y	Yutrium-90
Z_{eff}	Etkin atom sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
BSL	Mavi Işık Uyarmalı Lüminesans
CW-OSL	Sürekli dalga OSL
ED	Eşdeğer doz
ESR	Elektron Spin Rezonans
GC	Termolüminesans sıcaklık eğrisi
G-LED	Yeşil ışık yayan diyot
GOT	Basit genel tek tuzak
H.T.	Yüksek voltaj
IR	İnfrared (Kızıl ötesi, Enfrarüj)
IRSL	İnfrared Uyarmalı Lüminesans
LED	Işık Yayan Diyot
LM-OSL	Lineer Modülasyon OSL
OSL	Optik Uyarmalı Lüminesans
POSL	Pulslu OSL
PS	Pik şekil
P.M.	Fotoçoğaltıcı
SAR	Tek Tablet Yeniden Oluşturma
TL	Termolüminesans
TLD	Termolüminesans dozimetre
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UV	Ultra-viyole (mor ötesi)

1.GİRİŞ

Optik Uyarmalı Lüminesans (*Optically Stimulated Luminescence-OSL*), radyasyon almış bir yalıtkan veya yarı iletken den ışığa maruz kalma esnasında yayınlanan lüminesanstır. OSL şiddeti, materyal tarafından soğurulan radyasyon dozunun bir fonksiyonudur ve bu nedenle, şiddet radyasyon dozimetri metodunun temeli olarak kullanılabilir. Lüminesans işlemi, radyasyonun, valans elektronunu iyonize etmesi ve elektron/deşik (hole) çiftinin oluşması ile başlar. Materyal içinde önceden var olan kusurlar, ışımasız tuzak geçişleri boyunca serbest elektronların ve deşiklerin yerini belirler. Radyasyon almış materyallerin sonradan uygun bir dalgaboyuna sahip ışık ile aydınlatılması (illumination), tuzaklanmış elektronlar tarafından enerjinin soğurulmasına ve lokalize tuzaklardan delokalize iletkenlik bandına geçişlere yol açar. Lokalize olmuş boşluklarla serbest elektronların yeniden birleşmesi, *ışımali emisyon* ile sonuçlanır. Bu bir OSL sinyalıdır ve OSL sinyali soğurulmuş radyasyon dozu ile orantılıdır [1-3].

Lüminesans çalışmaları 1920'li yıllara dayanırken OSL çalışmaları ilk kez 1950'li yıllarda ortaya çıkmıştır. OSL'nin dozimetri olarak çalışılması 1950'lerde Antonov-Romanovskii ve ark. (1956) tarafından ilk kez önerilmiş [4] ve daha sonra Bräunlich ve ark. (1967) [5] ve Sanborn ve Beard (1967) tarafından [6] kullanılmıştır. Ancak bu hızlı gelişmelere rağmen, radyasyon dozimetre'sinde OSL kullanımı, iyi lüminesans materyalinin (Bkz. Bölüm 3.4) yokluğundan dolayı fazla çalışılamamıştır [1].

OSL, tarihlendirme amacıyla ilk kez Huntley ve ark. (1985) tarafından önerilmiştir [7]. Son yıllarda ise, materyalleri tarihlendirmek amacıyla, arkeolojik ve jeolojik materyaller tarafından soğurulan çevresel radyasyon dozunun belirlenmesi için popüler bir yöntem olmuştur [8]. Ayrıca OSL, dozimetre ve katıhal fiziği araştırmalarında; yalıtkan ve yarı iletkenlerde bazı tuzak ve tekrar-birleşme merkezlerinin parametrelerini ve yapı kusurlarını incelemek için bir araç olarak kullanılır.

OSL yöntemi, bir mineralin soğurduğu radyasyon dozunun tespit edilmesi için Termolüminesansı (TL) ve Elektron Spin Rezonansı (ESR) tamamlayıcı bir yöntemdir. Kristal içinde tuzaklanmış yüklerin çıkarılması, TL’de sıcaklık ile OSL’de ışık ile yapılır. Uyarıcı olarak kullanılan ışığın dalga boyu infrared bölgede ise yöntem infrared uyarmalı lüminesans (*Infrared stimulated luminescence-IRSL*), mavi ışığın dalga boyu civarında ise mavi ışık uyarmalı lüminesans (*Blue light stimulated luminescence-BSL*) olarak adlandırılır.

Hem OSL hem de TL teknikleri çevre, kaza, medikal ve uzay dozimetresinde doz tahmini için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çevre dozimetresinde alfa (α), beta (β) ve gamma (γ) radyasyonları; medikal teşhis ve tedavide x- ve γ - ışınları; uzay dozimetrisi ve tümör tedavisinde (brakiterapi) ise yüklü parçacıklar en baskın radyasyon tipleridir [9]. Son 10 yıldır OSL çalışmaları çok yaygın olarak sürdürülmektedir. Farklı iyonize radyasyon tiplerinde farklı materyallerin verdiği OSL cevapları incelenmektedir. Fakat buna rağmen hala OSL sinyalinin mekanizması tam olarak anlaşılabilmiş değildir.

OSL’de, hedef materyaller (genellikle kuvars doğal tanecikleri ve feldspatlar) laboratuvarında uygun dalga boyu ve şiddetteki kararlı ışık kaynaklarına maruz bırakılır ve bu işlem esnasında mineralden gelen lüminesans uyarma zamanının bir fonksiyonu olarak gözlenir. Uyarma periyodu esnasındaki yayınlanan lüminesansın toplamı, mineralin ışığa en son maruz kaldığı günden bugüne kadar soğurduğu radyasyon dozunun bir ölçümüdür. Bu doz, *soğurma dozu* olarak bilinir. Bilinen radyasyon dozlarına karşı sinyallerin kalibrasyonu yoluyla soğurulan doz elde edilebilir ve çevresel doz hızının farklı bir tanımlanması yoluyla örneğin yaşı belirlenebilir.

Şimdilerde “sürekli dalga OSL” (Continous Wave OSL, CW-OSL) olarak bilinen metodu tarihlendirme çalışmalarında ilk kez Huntley ve ark. (1985) kullanmıştır. Kuvars ve feldspatlardaki ilk OSL ölçümleri argon iyon lazeri kullanılarak yapılmıştır [7]. Ancak filtreli lambalar ve daha sonra ışık yayan diyotlara (LED) dayalı daha ucuz uyarma sistemlerinin gelişmesi, OSL uygulamalarında büyük artışa

öncülük etmiştir. Hütt ve ark. (1988) infrared'e yakın (800Δ80 nm civarında) dalga boyları kullanarak feldspatlardan lüminesans sinyallerinin uyarılabileceğini göstermiştir [10]. Yeterli güce sahip mavi-LED'ler (470nm) kullanılabilir olana kadar [11], kuvarslar için filtrelenmiş halojen lambalardan gelen yeşil ışık kullanılmıştır [12]. Diyotların, kısa uyarma sinyallerini vermek için uygun olması ve lambalardan daha uzun çalışma ömürlerine sahip olmasından dolayı, tek tabletin “eşdeğer dozu”nu (ED) belirlemek için laboratuvar çalışmalarını oluşturmak mümkün olmuştur.

Duller (1991), feldspatlarda ED'nin belirlenmesi için *ilave doz metodunu* geliştirmiştir ve bu metot geniş ölçüde kabul edilmiştir [13]. Benzer bir işlem Murray ve ark. (1997) tarafından kuvarslar için filtrelenmiş lamba sistemleri kullanılarak geliştirilmiştir [14]. Kuvarsın OSL özelliklerinin 5 yıllık çalışılmasından sonra Murray ve Wintle (2000) *tek tablet yeniden oluşturma* doz (Single Aliquot Regeneration Additive Dose-SAR) yöntemini geliştirmiştir [15]. Bu yöntemi geliştirirken Murray ve Roberts'ın (1998) önerdiği işlemlerin sonucundan yararlanılmıştır [16]. Murray ve Wintle duyarlılığı düzeltilmiş doğal OSL sinyali ile aynı kuvars tabletin laboratuvar radyasyonu ile üretilen eşdeğer-düzeltilmiş sinyalini karşılaştırmıştır [15]. Bu yöntem bugüne kadar hem tarihlendirme hem de kaza dozimetresinde güvenilir bir şekilde kullanılmaktadır.

Ce, Sm ve Eu gibi farklı nadir toprak elementleriyle katkılanmış MgS, CaS, SrS ve SrSe, OSL dozimetri uygulamaları için önerilen ilk fosforlar arasındadır. Bu materyaller 1000nm civarındaki dalga boylarında infrared uyarma altında yüksek bir duyarlılığa ve yüksek bir verime, fakat oda sıcaklığında önemli bir lüminesans kaybına sahiptirler. Bu fosforlar aynı zamanda çok yüksek etkin atom sayısına sahiptirler ve bunun bir sonucu olarak personel dozimetre kullanımı için kabul edilemez olan foton enerji bağılılığı gösterirler. Çeşitli araştırma grupları, dozimetrik araç olarak optik uyardıyı kullanmayı denemiştir. Bu işlemi yaparken tuzaklanmış yük taşıyıcılarını derin tuzaklardan sıkı tuzaklara transfer etmek için ışığı kullanmışlar ve daha sonra sıkı tuzaklardan sızan yükler için oda sıcaklığında fosforesansı gözlemlemişlerdir [1].

OSL bozunma eğrilerinin şekli, kullanılan materyalin karakteristik özelliklerini anlamak için önemlidir. Çünkü OSL bozunma eğrisi her materyal için farklılık göstermektedir. Aynı zamanda OSL bozunma eğrisi, materyale uygulanan OSL işlemlerine bağlı olarak değişmektedir. Böylece OSL bozunma eğrisinden yararlanılarak materyalin yapısı hakkında yargılara varılabilir.

Smith ve Rhodes (1994), Bailey ve ark. (1997) ve Bailey (2000) OSL bozunma eğrilerinin şeklini inceleyerek bozunma eğrilerinin birkaç üstel fonksiyonun bileşiminden oluştuğunu (hızlı, orta, yavaş) göstermişlerdir [17-19]. Bazı çalışmalarda ise tek kuvars taneciklerinin OSL bozunma eğrilerinin şekil farklılıkları incelenmiştir [20].

Son yıllarda Bulur ve ark. (2002) tek tanecikli kuvarsların LM-OSL eğrilerinin özelliklerini gösterirken [21], Adamiec (2005) çok tanecikli tabletlerin OSL bozunma eğrilerinin özelliklerini göstermiştir [20].

Pulslu OSL (POSL) diye adlandırılan yeni bir modifikasyon McKeever, Akselrod ve ark. (1996) tarafından önerilmiştir ve lüminesans materyali olarak $Al_2O_3:C$ (TLD500) kristali kullanılmıştır [22-24]. Burada radyasyona maruz kalmış $Al_2O_3:C$ kristali bir pulslu ışık kaynağına maruz bırakılmış ve eşzamanlı olarak pulslar arasındaki (puls esnasında değil) yayınlanan lüminesans belirlenmiştir. Bu eşzamanlı düzenleme CW-OSL'dekine göre daha az optik filtre kullanmaya olanak sağlamıştır. Bu özellikler POSL metoduna hem yüksek duyarlılık hem de zayıf sıcaklık bağımlılığı kazandırmıştır. Aynı zamanda POSL'nin yüksek duyarlılık ve hızlı okuma özellikleri, büyük alan dedektörlerinde doz dağılımının görüntülenmesine olanak sağlamıştır [25].

OSL mekanizmasının kullanıldığı çalışmalarda temel ihtiyaçlardan birisi OSL sinyalinin tuzak parametrelerinin belirlenmesidir. Bazı çalışmalarda aktivasyon enerjisi (E), sıklık faktörü (s) ve tuzak ömrü (τ) gibi tuzak parametrelerini bulmak mümkündür. OSL'nin fiziksel mekanizması tam olarak anlaşılmadığı için OSL tuzak parametrelerin belirlenmesi kesin değildir. Termal aktivasyon enerjisini

laboratuvarında belirlemek için çeşitli metotlar vardır. Bräunlich (1967) tarafından gösterilen ilk-artış (initial-rise) metodunda, lüminesans şiddetinin $1/T$ 'ye karşı grafiği çizilip Arrhenius eşitliğinden yararlanarak parametreler elde edilmiştir. Chen (1969) TL tuzakları için aktivasyon enerjisini belirleyen pik-şekil (Peak-Shape) metodunu kullanmıştır. Chen bu çalışmasında pik-şekil analizinin farklı uyarma işlemlerini içerdiğinden dolayı OSL tuzakları için doğrudan kullanılamayacağını ve sadece TL tuzakları için öngörüldüğünü rapor etmiştir. Bunlardan birisi de Spooner (1994) ve Huntley ve ark. (1996)'in, uyarma sıcaklığında toplam lüminesanstaki azalmayı (termal sönme-thermal quenching) açıkladığı ilişkidir. Fakat termal sönme tuzak enerjisini değil tekrar-birleşme mekanizması hakkında bilgi verendeşik aktivasyon enerjisini açıklar [26-29].

OSL ölçümlerinde kullanılan materyalin (özellikle dozimetri materyalinin) duyarlılığı ve kararlılığı önemlidir. Duyarlılık değişimi varsa bunun sebeplerini bilmek de önemlidir. Bu sebepler bilinirse duyarlılığın kararlı bir şekilde devam etmesi için daha iyi işlemler önerilebilir [8]. İyi bir lüminesans materyali, hem radyasyona oldukça duyarlı, hem de yüksek optik uyarma verimine, düşük etkin atom sayısı (Effective Atomic Number- Z_{eff}) ve iyi fading (solma) karakteristiklerine (yani, oda sıcaklığında kararlı lüminesans sinyali) sahip olmalıdır [1]. NaCl ve KCl bu potansiyele nispeten sahip kristallerdir.

NaCl kullanılarak yapılan çalışmalarda asıl ilgi TL özelliklerine odaklanmıştır [30]. NaCl'ün fotouyarmalı yük geçişleri ilk kez Stoddard (1960) tarafından açıklanmıştır. Stoddard düşük sıcaklıklarda (sıvı azot) radyasyona maruz bırakma işleminden sonra sığ tuzaklara bir geçiş olduğunu göstermiştir [31]. Nanto ve ark. (1991) tarafından katkılı NaCl'den gelen foto-uyarmalı lüminesansla ilgili pek çok deney sonucu tartışılmış [32] ve çeşitli fiziksel mekanizmalar tanımlanmıştır [33]. İlk kez Bailey ve ark. (2001) NaCl'ün tarihlendirme ve dozimetre ile ilişkili OSL özellikleriyle ilgilenmişler ve NaCl'den gelen OSL sinyalinin davranışının tarihlendirme için uygun olduğunu gözlemişlerdir [34]. Zhang ve ark. (2005) NaCl'ün tarihlendirme ile ilgili lüminesans özelliklerini daha geniş çapta incelemişler ve optik tarihlendirmede bir dozimetre olarak uygun olduğunu ifade etmişler [35].

Eu katkılı KCl Nanto ve ark. (1993) tarafından güçlü bir fosfor olarak önerilmiştir [36,37]. KCl hem X-ışını hem de UV radyasyonuna maruz bırakılarak OSL sinyali gözlenmiştir ve KCl potansiyel olarak UV dozimetre olarak önerilmiştir [36,37]. Bu materyalin OSL bozunma eğrileri farklı tavlama sıcaklıklarından sonra elde edilmiş ve üstel bir bozunum olmadığı gözlenmiştir. Bu çalışmayla, üstel olmayan bozunumun oluşumunun, farklı tuzaklardan salınan yüklerden dolayı basit üstel bozunumların süperpozisyonu olarak açıklanması destek görmemiştir [1]. KCl'den gelen OSL'nin tam mekanizması karmaşıktır ve daha ileri çalışmalara ihtiyaç duymaktadır. Nanto ve ark. (1993) KCl:Eu'dan oda sıcaklığında elden edilen OSL sinyalinin kararlı olduğunu, bu nedenle OSL mekanizması karmaşık olmasına rağmen OSL radyasyon dozimetresi olarak kullanılabilecek potansiyele sahip olduğunu ileri sürmüştür [1,36,37].

Katılarda lüminesans işlemlerinin oldukça karmaşık olduğu bilinmektedir ve şu anki deneysel gözlemleri tanımlamak için kullanılan modeller, gerçek durumun aşırı basitleştirilmiş halidir. Bu yüzden bu çalışmada, NaCl, KCl ve diğer alkali halojenürlerin OSL bozunum eğrilerinin sıcaklık ve nükleer radyasyon dozuna bağlılıkları incelenmiştir ve OSL parametreleri deneysel sonuçlara farklı yaklaşımlar kullanılarak tespit edilmiştir. Dozimetre çalışmaları için daha uygun olan materyali belirlemek üzere bu örneklerin lüminesans özellikleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır ve aynı zamanda IRSI'nin ve BSL'nin sıcaklık bağımlılığı hakkında daha fazla bilgi sunulması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın I. bölümünde lüminesans ve uygulamalarının tarihsel gelişimi verilerek daha sonra II. bölümde lüminesans hakkında genel teorik bilgiler ve Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) tekniğinin detayları verilmiştir. III. bölümde OSL'nin dozimetri alanındaki uygulamalarından kısaca bahsedilerek IV. bölümde alkali halojenür grubuna giren iyonik bileşiklerin fiziksel özellikleri anlatılmıştır. V. bölümde TL ve OSL'de tuzak parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan metotlar kısaca verilmiştir. VI. bölümde bu çalışmada kullanılan ELSEC 9010 OSL Sayma Sistemi'nin özelliklerinden, modifikasyonundan ve kalibrasyonundan bahsedilerek

VII. bölümde bu çalışmada gerçekleştirilen deneysel işlemler ve teorik hesaplamalar sunulmuştur.

2. LÜMİNESANSIN TEMEL KAVRAM VE TANIMLARI

2.1. Lüminesans

Lüminesans, ısı ile uyarılmaksızın atom veya molekülden yayınlanan elektromanyetik radyasyon (genellikle görünür bölgedeki ışık) için kullanılan genel bir ifadedir. Bu yüzden, bir materyal termal olarak uyarıldığı zaman meydana gelen akkor ışık emisyonu ile (incandescent light emission) lüminesansı ayırmak için genellikle lüminesans, soğuk ışık (cold light) olarak tanımlanır. Lüminesans veren materyaller enerjiyi soğurabilir, bir kısmını depolayabilir ve onu ışığa dönüştürebilir. Bu materyaller genellikle kristal bir yapıya sahiptir.

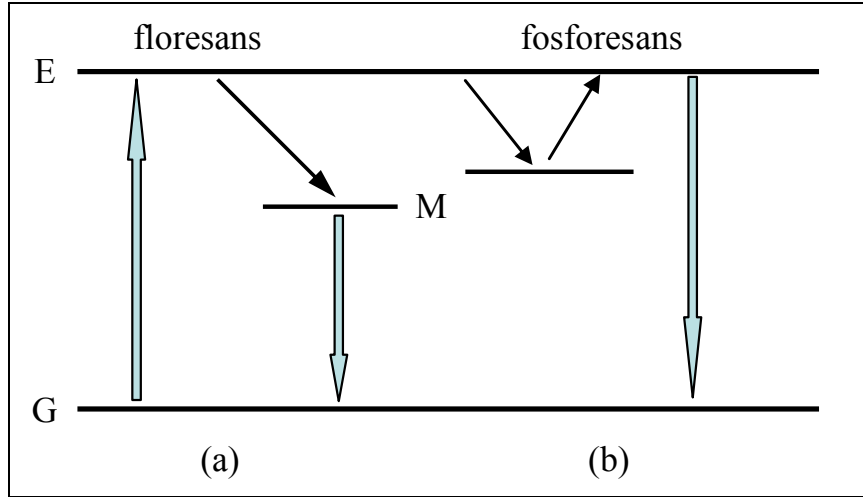
Lüminesans, farklı uyarılma yollarına göre adlandırılır. Fotolüminesans (fotonlar ile uyarma), katodolüminesans (elektronlar ile), kemilüminesans (kimyasal enerji ile), biyolüminesans ve tribolüminesans (mekanik enerji ile) farklı floresans işlemlerine örnektir [2,30].

Fotolüminesans genel olarak floresans ve fosforesans olarak sınıflandırılır. Lüminesansın bu iki tipi ışık emisyonu bakımından atomik mekanizmalar ile ayırt edilir (Şekil 2.1).

Floresans: bir elektronun uyarılmış bir durumdan taban durumuna geçişiyle (genellikle taban duruma geçişe izinli olan yarı-kararlı durum yoluyla) sonuçlanan ışık emisyonudur. Uyarılmış durumla emisyon arasındaki gecikme, uyarılmış durumun ömrü olarak tanımlanır. Bu ömür pikosaniye ve milisaniye mertebesi arasında değişebilir.

Fosforesans: elektronun uyarılmış durumdan taban duruma geçişinin izin verilmediği yarı-kararlı duruma geçiş yaparak, taban duruma geçmek için uyarılmış duruma geri döndüğü bir geçiştir. Bu yarı kararlı durumlar elektron (e^-) tuzakları olarak görev yapar ve elektronların uyarılmış duruma geri dönmesi için ufak bir enerji yeterlidir.

Daha sonra buradan elektronlar taban duruma salınabilir [2]. Böylece taban duruma geçiş zamanı, yarı kararlı durumdaki elektronların ömrünün uzunluğuna bağlıdır.



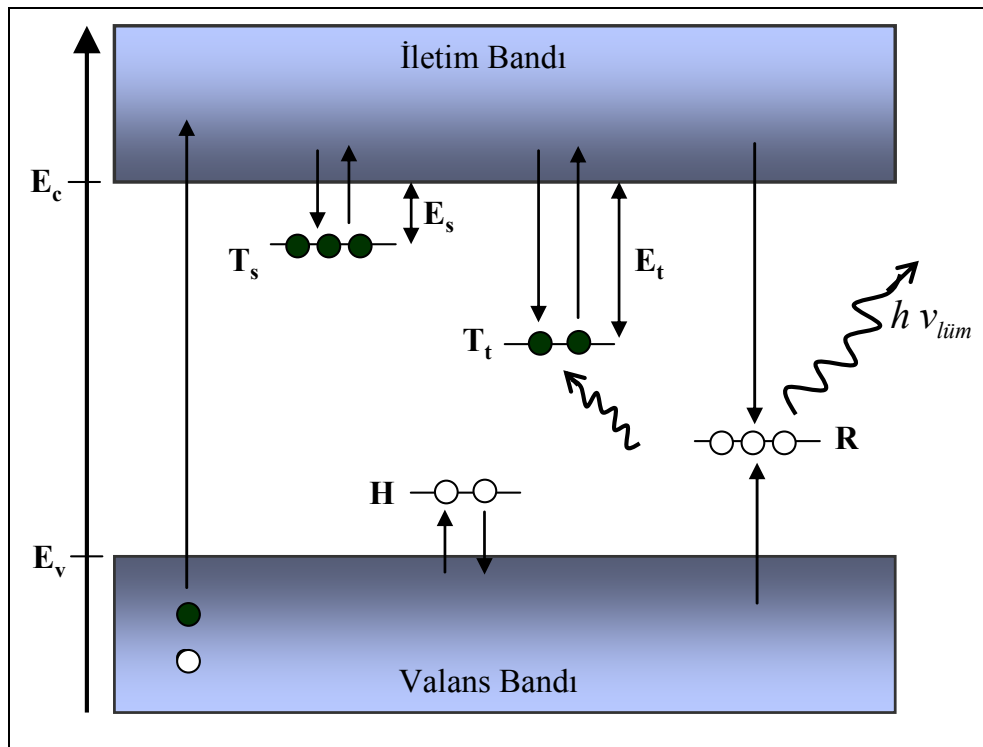
Şekil 2.1. Sistematik enerji diyagramı gösterimi a) floresansta elektronun uyarılması ve salınımı, b) fosforesansta bir elektronun uyarılması, tuzaklanması, tekrar serbest kalması ve salınması. Burada G taban durumu, E uyarılmış durumu ve M yarı-kararlı durumu temsil eder [2]

Fosforesansta uyarılmış ve yarı-kararlı durum arasındaki enerji farkı öylesine küçüktür ki, mutlak sıcaklıkta örgü titreşimleri ile salınım meydana gelir. Yani, dış enerji kaynağına ihtiyaç yoktur. Ancak OSL ve TL'de uyarılmış durum ve yarı-kararlı durum arasındaki enerji farkı öylesine büyüktür ki elektronların salınması için dış enerji kaynağına ihtiyaç vardır. TL'de lüminesans emisyonu termal uyarma ile, OSL'de ise optik uyarma (UV, görünür bölge veya kızılötesi) ile oluşturulur [1,8].

Yalıtkan ve yarıiletken materyaller tarafından iyonize radyasyon kaynağından soğurulan enerji serbest elektronların ve deşiklerin uyarılmasına ve sonra materyal içindeki tuzaklarda hapsolmesine sebep olur. Daha sonra materyal uyarılırsa, tek işaretli yük taşıyıcıları serbest kalabilir. Bu durumda tek işaretli taşıyıcılar zıt işaretli yük taşıyıcılarıyla tekrar birleşebilir. Eğer birleşme ışımalı ise lüminesans yayınlanır [8].

2.2. Band Modeli

Bohr atom modelinde açıklandığı gibi, atom etrafında dönen bir elektronun sadece belli bir enerji seviyesinde var olması izinlidir. Elektronların bulunduğu bu seviyeler arasındaki enerji değerleri, atomda serbest bir elektron için yasaktır. Katı içinde birbirine bağlı olan atomlar birbirleri üzerinde belli etkilere sahiptirler. Atomların birbirine bağlanma kuvvetleri çoğunlukla diğer elektronların davranışı ile düzenlenir.



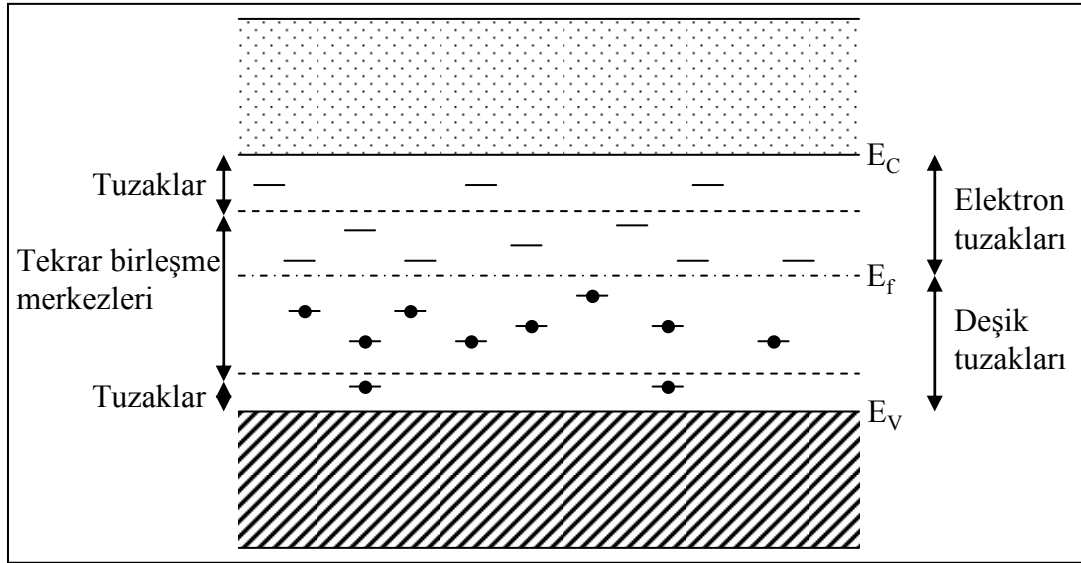
Şekil 2.2. OSL ve TL işlemini gösteren basit band modeli. İyonizasyon elektron-deşik çiftinin oluşumu halinde sonuçlanır. Bu elektron ve deşikler T ve H kusurlarında tuzaklanır. T_s tuzakları termal boşalma olasılığının büyük olduğu sık tuzakları (kararsız) tanımlar. Elektronlar T_t tuzaklarında depolanır, bu tuzak dışardan bir uyarı olmadığında termal boşalma olasılığı önemsenmeyecek kadar düşüktür. Bu yüzden bu tuzak dozimetriyle ilgili tuzak seviyesidir. Materyal ya termal (TL) ya da optik (OSL) olarak uyarıldığında elektronlar tuzaktan kaçıp iletim bandının içine salınacak kadar enerji kazanabilir. Bu salınan elektronların bazıları ışımalı tekrar-birleşme merkezine yol alır ve tuzaklanmış deşiklerle birleşir. Böylece luminesans yayınlanır [8]

Atomların yakın komşularının bir sonucu olarak izinli enerji durum bandlarının biçimlenmesi ve bozulması, atomların enerji seviyelerine bağlıdır. Katıdaki bu enerji bandları, elektronların yasaklı olduğu enerji seviyeleriyle ayrılır.

Katıda en dışta bulunan iki band *valans bandı* (valance band) ve *iletim bandı* (conductive band) olarak adlandırılır. Bu izinli iki enerji durumu, arada bulunan yasak enerji aralığı ile ayrılır. Bu aralık *band aralığı* olarak adlandırılır (Şekil 2.2). Valans bandı, en düşük izinli enerji durumlarıdır. Valans bandın en yüksek enerji durumu E_v olarak gösterilir. Bu yüzden elektronlar önce, en düşük uygun enerji seviyelerini doldurma eğilimindedirler. Valans bandının neredeyse tamamı elektronlarla doludur. İletim bandı izinli durumların en üst bandıdır. İletim bandındaki en düşük olası enerji durumu E_c ile verilir. İletim bandındaki elektronlar herhangi bir atoma bağlı değildir. Bundan dolayı, herhangi bir dış elektrik alan etkisindeki kristal yakınına hareket etmekte serbestirler. Band aralığı (*Band gap*) enerjisi $E_g (=E_c - E_v)$ kristaldeki bir bağı koparmak için gerekli olan enerjidir. Bir bağ koparıldığında, elektron valans bandından ayrılmak için gerekli enerjiyi soğurur ve iletim bandına geçer. Kristal materyaller band aralığının genişliğine göre sınıflandırılabilirler. Eğer band aralığının genişliği $\sim 3-10$ eV arasında ise materyal yalıtkan (çok zayıf iletken) olarak, eğer genişlik ihmal edilecek kadar küçük veya yoksa (valans ve iletim bandı üst üste ise) materyal iletken olarak adlandırılır. Yarıiletken materyaller iletken ve yalıtkan arasında bulunurlar. Böylece, elektronların kendi termal enerjileri valans bandından iletim bandına geçecek kadar büyük olmadığı için, yalıtkan iletim bandı sadece birkaç elektron içerecektir. Lüminesans materyalleri yalıtkan olarak sınıflandırılır. Silisyum dioksit kristalde (yani, kuvars) band aralığının genişliği yaklaşık olarak 9 eV'tur, bu yüzden iyi bir yalıtandır [2].

Mükemmel bir yalıtkan kristal örgüde, dış kuvvetlerin etkisi olmadan valans bandından iletim bandına elektronların geçiş yapma olasılığı ihmal edilebilir (Şekil 2.3). İyonize radyasyon madde ile etkileştiği zaman, elektronların valans bandından iletim bandına geçiş yapması için gereken yeterli enerji ($\geq E_g$) soğurulur. Böylece

maddede enerji depolanır. Elektron bu geçişi yaptığı zaman valans bandında bir deşik (hole) oluşturur. Bu yüzden elektron ne zaman valans bandından iletim bandına geçiş yapsa bir elektron-deşik çifti oluşur. Uyarılmış elektron valans bandına inmeden ve uyarılma enerjisini kaybetmeden önce, iletim bandında genellikle sadece ≤ 10 ns kadarlık ortalama bir zaman geçirir. Daha sonra bir deşikle tekrar birleşir.



Şekil 2.3. Mutlak sıfırda yalıtkan içindeki enerji seviyeleri. Fermi enerji seviyesi E_F üzerindeki seviyeler boş iken, altındaki seviyeler elektronlarla doludur [30]

Tekrar-birleşme işleminde enerji ışık olarak (ışımali tekrar-birleşme) veya ısı olarak (ışımazlı tekrar-birleşme) salınır. Ancak katı kristal içinde, kristal yapı mükemmel değildir. Yapı çeşitli tipte kusurlar içerir. Bunlardan en yaygın olanı nokta kusur olarak adlandırılan kusur tipidir. Kusurların farklı tipleri iç veya dış kusurlar olarak sınıflandırılır. *İç kusurlar*: mükemmel bir kristal örgüde olmayan boşluk ve yerler, *dış kusurlar*: mükemmel bir örgüde olan atomik yer değişmeler veya olmayan ara kirliliklerdir. *Safsızlık*, kristal içinde yabancı (kristal dışındaki) atomların rasgele yerleşmeleri durumudur [2].

Kusurların var olması yasak bant aralıklarında izinli enerji durumlarının oluşmasını sağlar. Kristalik bir kusur, yük taşıyıcıyı (elektron veya deşik) yakalayabilir ve gelen banda tekrar geri salabilirse *tuzak merkezi* olarak adlandırılır. Elektron-deşik tekrar-

birleşmesiyle sonuçlanan zıt işaretli yük taşıyıcılarını yakalayabilen kristal kusuru *tekrar-birleşme merkezi* olarak adlandırılır. Kristal örgüdeki yapısal kusurlar, iletim bandındaki elektronu valans bandına götürmek için geçici olarak yakalayabilen lokalize yük boşlukları üretir. Yakalanan elektron termal uyarma ile iletim bandına geçene kadar kusurda (E_t) tuzaklanmış olarak kalır. Bir elektronu tuzaklanmış durumdan çıkarmanın birim zamandaki olasılığı p , Boltzmann faktörü ile,

$$p = s \exp(-\Delta E/kT) \quad (2.1)$$

şeklinde verilir. Burada $\Delta E = E_c - E_t$ iletim bandı ile tuzak derinliği arasındaki enerjidir, k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık ve s sıklık faktörüdür [2]. Elektronları tuzaklamak için harcanan zaman tuzak derinliğine (ΔE) sıcaklığa (T) ve sıklık faktörüne (s) bağlıdır (tuzaktan valans bandına geçişler izinli değildir). Bu yüzden, verilen tuzağın sabit sıcaklıktaki kararlılığı, iletim bandının en düşük seviyesinden daha büyüktür. Bir tuzağın dozimetri amaçlı kullanılabilmesi için, yeterli derinliğe sahip olması gerekir. Böylece tuzaktaki elektronlar örgü titreşimleriyle serbest salınamazlar. Yani tuzakta yakalanmış elektronların yarı ömrü en azından haftalar mertebesinde olmalıdır.

Farklı bir yaklaşım olarak soğurma bandı çizgi şeklinde alınırsa, bu band örgü kusur merkezlerinin taban ve uyarılmış durum enerji seviyelerinin spektrum halinde verilmesi ile elde edilir. Örgü kusurlarının optik soğurma biçimini anlamak için çevre örgülerin band yapısıyla ilişkili elektronik yapının bilinmesi gerekir. Bir kusur merkezinin enerji seviyeleri örgüyü çevreleyen iyonlardan etkilenir. Optik soğurma ve emisyon eğrilerinin biçimini tanımlamak için en uygun yol *konfigürasyon koordinat diyagramı*dır. Konfigürasyon koordinat diyagramı bir kusur merkezinin taban durum potansiyel enerji eğrisinden ve uyarılmış durumların potansiyel enerji eğrisinden oluşur (Şekil 2.4). Bu diyagramda x-ekseni konfigürasyon koordinatı Q 'dur ve momentumu temsil eder. y-ekseni toplam potansiyel enerjiyi temsil eder. Sistemin potansiyel enerjisi, Q koordinatın büyüklüğü ile kuadratik olarak değişir. Bu sistem harmonik osilatör olarak davranabilir.

sırasında soğurma ve emisyon dalga boyları arasında bir kayma gözlenir. Bu kayma *stoke kayması* olarak adlandırılır.

2.3. Termolüminesans

Düşük dozlarda tuzaklanmış elektronların sayısı materyalde soğurulan doz ile orantılıdır. Bu yüzden, eğer tuzaklanmış yük salınabilirse ve tekrar-birleşmeyle sonuçlanan ışık ölçülebilirse, soğurulan dozun değerlendirilmesi mümkündür. Kristalin sıcaklığının artmasıyla elektronların serbest kalma olasılığı artar. Belli bir sıcaklık aralığında, verilen tuzak tipinde tuzaklanmış elektronlar, tuzağın potansiyel bariyerini aşacak kadar enerji kazanır ve elektronlar iletim bandı içine geçer. Serbest kalan elektronlar kristal boyunca salınır ve elektronların bir kısmı tekrar-birleşme merkezine geçer (Şekil 2.3). Elektronların kristal boyunca yaptığı salınımın zamanı çok kısadır bu yüzden tekrar-birleşme anlık olarak düşünülebilir. Elektron-deşik tekrar-birleşme olaylarının bir kısmı herhangi bir ışık emisyonu olmaksızın (ışımaz) gerçekleşir. Bu olasılığın büyüklüğü kristal sıcaklığı ve saflık türü gibi faktörlere bağlı olarak 0 ve 1 arasında değişebilir [2].

Yayınlanan lüminesansın şiddeti ölçülürse ve sıcaklığa karşı grafiği çizilirse sonuç *ışım eğrisi* (Glow Curve-GC) olarak adlandırılır. Sıcaklık arttıkça başlangıçta şiddet artar, daha sonra maksimum bir değere ulaşır. Devamında sıfıra gider. Lüminesans şiddetinin düşmesine tuzakların boşalması sebep olur. Gerçek bir materyal, farklı enerji seviyelerinde bulunan farklı tuzak tiplerini içereceği için GC her biri farklı tuzak tiplerine ait birkaç pik'ten oluşur. Derin tuzaklardaki elektronların ömrü sığ tuzaklardaki elektronlarından daha uzundur. 200 °C'den düşük sıcaklıkta meydana gelen maksimum şiddetli pik'leri arttıran tuzakların, genellikle çevresel sıcaklıklarda kararsız olduğu düşünülür ve bu yüzden dozimetriyle ilgili değildirler. Bir tuzağın dozimetri uygulamalarında kullanışlı olduğunu düşünebilmek için onun pik'i 200 °C'den büyük olmalıdır. Kuvarslarda 325 °C'deki pik optik uyarma yoluyla 375 °C'deki pikten daha hızlı boşaltıldığı için, 325 °C'deki pikler hızlı sönümleme piki (rapidly bleaching peak) ve 375 °C'deki pikler yavaş sönümleme piki (slowly bleaching peak) olarak bilinir. Hızlı sönümleme

pikleri özellikle OSL’de önemlidir. Pek çok kuvars örnekte, ilk OSL sinyalinin 325 °C’deki TL pikinden kaynaklandığına inanılır [2].

TL ölçümündeki bir karmaşıklık termal sönmedir (thermal quencing) [38]. Numunenin sıcaklığı arttırıldıkça, lüminesansın etkinliği genellikle azalır. Kuvarslarda bu etkinliğin düşmesi, sıcaklık arttıkça ışımasız tekrar-birleşme olasılığının artmasıyla açıklanabilir [2].

2.4. Optik Uyarmalı Lüminesans

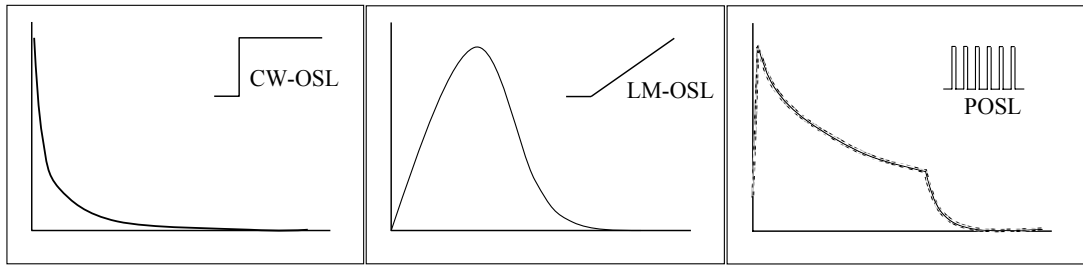
Optik uyarmalı lüminesans prensipleri TL deki temel kavramlara dayanır. Fakat OSL’de uyarma işlemi ısı yerine fotonlar tarafından sağlanır. Böylece OSL’nin fiziksel prensipleri TL’ninkilerle yakından ilişkilidir. Ancak herhangi bir materyalde aynı kusur merkezlerinin TL ve OSL işlemlerinin her ikisini kapsayıp kapsamadığı açık değildir [2]. OSL, TL’ye karşı çeşitli avantajlara sahiptir. Isıtılmamış materyaller söz konusu olduğunda (yani materyaller ışığa maruz bırakılarak sıfırlandığında) bu avantajların en önemlisi, modellemenin ışığa en duyarlı tuzak seviyeleriyle yapılmasıdır. Bu modelde yük popülasyonu en etkili bir şekilde sıfırlanır [2]. OSL’nin diğer bir avantajı, uyarma işleminin oda sıcaklığında düzenlenebilmesidir (hesaplanan bazı farklı sabit sıcaklıklar avantaj sağlamasına rağmen), böylelikle ısıtmanın olumsuz etkisi olan termal sönme olmaz.

OSL, dozimetrimin üç farklı alanında uygulanır: a) personel dozimetri, b) çevresel dozimetri, c) geriye-dönük dozimetri (Bkz. Bölüm 3).

Uyarma şekilleri

OSL’de farklı dalgaboylu lüminesans emisyonu ölçülürken, materyaller özel dalgaboylu ışıkla uyarılır. Burada uyarma dalgaboyunun lüminesans dalgaboyundan büyük olması gerekir. OSL, lüminesansın uyarılabildiği çeşitli deneysel yaklaşımlarla gerçekleştirilir. Bunların birkaçından bahsetmek istersek en popülerleri arasında şunlar vardır (Şekil 2.5):

- i. “Sürekli dalga OSL” (CW-OSL) metodu: bu metotta uyarma ışık şiddeti sabittir ve OSL sinyali uyarma periyodu boyunca gözlenir.
- ii. “Lineer modülasyon OSL” (LM-OSL) metodu: bu metotta uyarma şiddeti OSL ölçülürken lineer olarak artar.
- iii. “Pulslu OSL” (POSL) metodu: bu metotta uyarma kaynağı pulslanır ve OSL sadece pulslar arasında gözlenir.



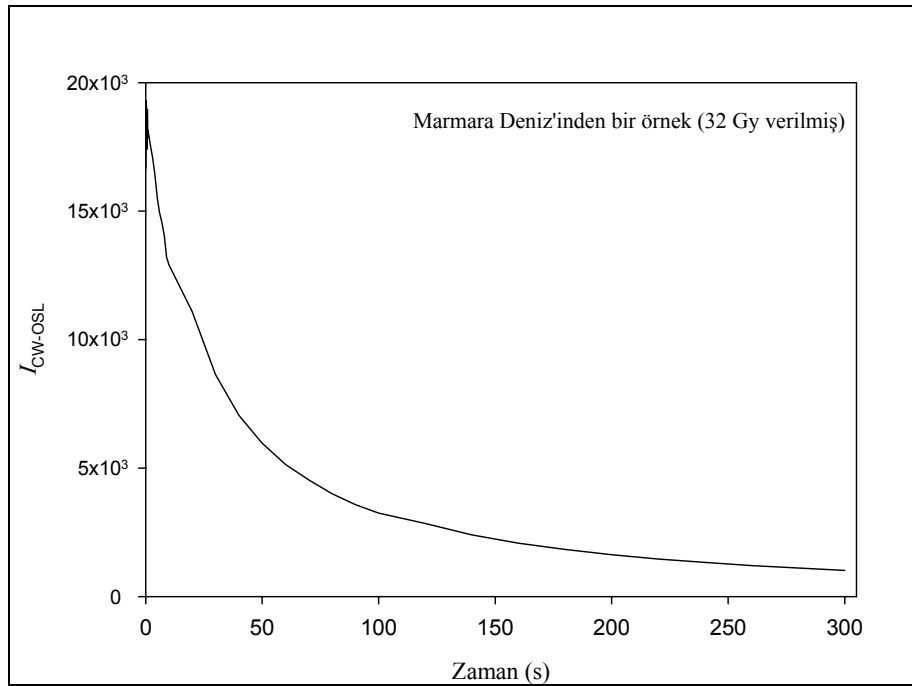
Şekil 2.5. OSL okuma metodlarının gösterimi [1]

Sürekli dalga-OSL: Çoğu OSL uygulamalarında ölçümler CW-OSL şeklinde düzenlenmektedir. Bu tarzda materyal sabit ışık şiddetinde uyarılır ve lüminesans emisyonu uyarma esnasında kayıt edilir. Bu yöntemde, uyarma ve emisyon ışığı arasında ayırım yapmak için ve dedektöre ulaşan saçılmış uyarma ışığından korunmak için filtreler ihtiyacı duyulur. Genellikle, OSL tuzakları boşaldıkça, lüminesans sinyalinin uyarma zamanıyla azaldığı gözlenir. OSL ışık kaynağının açılmasıyla hemen görüntülenir ve sinyal sabit bir taban sayım seviyesine inene kadar devam eder. Gözlenen eğri *OSL bozunma eğrisi* olarak adlandırılır (Şekil 2.6).

OSL’de bugüne kadar ışık kaynağının çeşitli tipleri kullanılmıştır. Bunlardan bazıları, kızıl ötesi ışık [10,40], filtrelenmiş akkor geniş band lambalar [41,42], yeşil ışık [43], mavi ışık [44] ve yeşil lazerlerdir [45].

Lineer Modülasyon OSL: LM-OSL tarzında [46], uyarma ışığının şiddeti CW-OSL’deki gibi sabit değildir, şiddet sıfırdan belli bir maksimum değere kadar lineer olarak arttırılır. Uyarma gücünün değişimi TL’de sıcaklığın lineer artışına benzer olarak düşünülebilir. Başlangıçta uyarma gücü düşük olduğu için, tuzaklanmış elektronların salınma hızı küçüktür. Daha sonra OSL sinyali uyarma gücüyle

maksimuma ulaşana kadar artar. Bundan sonra OSL sinyalinin şiddeti tuzaklanmış yük konsantrasyonunun boşalmasının bir sonucu olarak lineer olmayan bir şekilde azalır. Böylece OSL emisyonu, uyarma zamanının fonksiyonu olarak pik şeklinde gözlenir. Pikin durumu uyarma ışık şiddetinin lineer artış hızına ve boşalan tuzakların fotoiyonizasyon tesir kesitlerine bağlıdır. Verilen bir artış (ramp) hızı ve uyarma dalgaboyu için, farklı fotoiyonizasyon tesir kesit değerli tuzaklar farklı zamanlarda gözlenir. Böylece bu metot farklı tuzaklardan kaynaklanan OSL emisyonları arasında ayırım yapabilir.

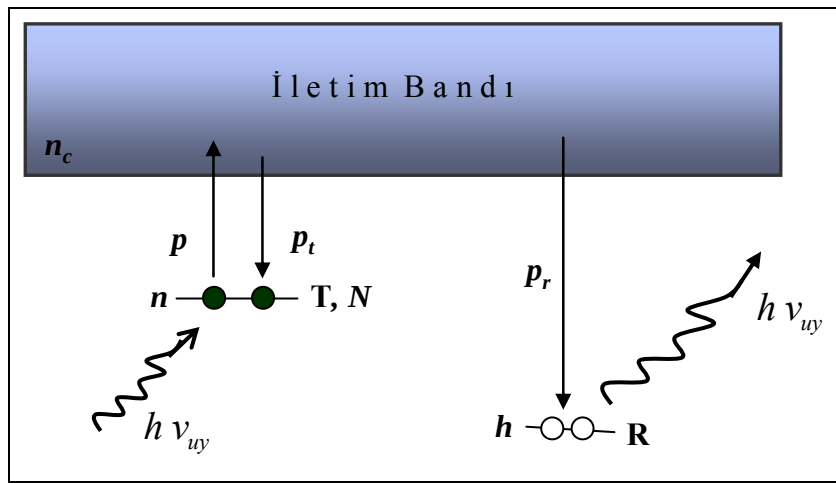


Şekil 2.6. OSL bozunma eğrisine deneysel bir örnek. Marmara denizinin dibinden alınmış sedimente 32Gy nükleer radyasyon dozu verilerek elde edilmiştir [39]

Pulslu OSL: POSL’de [47], uyarma ışığı pulslu hale getirilir ve OSL sadece pulslar arasında ölçülür. Yayınlanan lüminesans uyarma ışığının kapatıldığı zaman ölçüldüğünden, uyarma ve emisyon ışığı arasında ayırım yapmak için optik filtreler duyulan ihtiyaç azalır. POSL’de, emisyon ve uyarma ışığı arasında ayırım yapma işlemi CW-OSL ve LM-OSL’de olduğu gibi dalgaboyu çözünürlüğünden ziyade zaman çözümlemesiyle başılır.

OSL modeli

Materyal sabit ışık şiddeti (CW tarzı) ile uyarıldığı zaman, tuzaklanmış elektronların serbest kalması ve sonra ışımalı elektron-deşik tekrar-birleşmelerin olmasından dolayı, lüminesans sinyalinin azalacağı beklenir. Bu düşünce ile OSL modeli geliştirilmiştir [2,48]. Bu model tek tip elektron tuzağını T , tek tip ışımalı tekrar-birleşme merkezini R ve iletim bandını içerir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Basit Genel Tek-Tuzak (GOT) enerji seviye diyagramı. T tuzağına yakalanan elektron optik olarak iletim bandına uyarılır. Serbest kalan elektron ya T'ye geri tuzaklanır ya da ışımalı tekrar-birleşme merkezi R ile birleşecektir ve böylece foton yayılır [2]

Tuzaklanma ve tekrar-birleşmede sadece elektronlar düşünülür ve bütün yük geçişleri iletim bandı yoluyla yerini alır. Tekrar-birleşme merkezine doğru her geçişin ışımalı tekrar-birleşme ile sonuçlandığı farz edilir. Bir elektronun birim zaman başına tuzaklanmış durumdan ayrılma olasılığı, uyarma ışık şiddetinin (sabit olduğu farz edilir) foton akısı Φ (foton/m²s) ile orantılıdır. Buradan

$$p = \sigma(\lambda)\Phi \quad (2.2)$$

yazılır. Burada σ , tuzaktan yük salınımı için fotoiyonizasyon tesir kesitidir (m^2). σ uyarma ışığının dalgaboyuna güçlü bir şekilde bağlıdır fakat basitlik için uyarma ışığı monokromatik olduğu farz edilir.

Böylece dışardan ışıkla uyarma esnasında tuzak'tan elektronların salınma hızı,

$$\frac{dn_u}{dt} = -pn \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir. Burada n tuzaklanmış elektronların konsantrasyonudur. Tuzaklanan veya tekrar tuzaklanan elektronların hızı iletim bandındaki elektronların konsantrasyonuyla ve tuzaktaki mevcut durumlarının konsantrasyonuyla orantılıdır.

Yani;

$$\frac{dn_d}{dt} = p_t n_c (N - n) \quad (2.4)$$

'dir. Burada p_t tuzaklanma olasılığı, n_c iletim bandındaki elektronların konsantrasyonu ve N elektron tuzaklarının konsantrasyonudur. Tekrar-birleşme hızı (yani, iletim bandından tekrar-birleşme merkezi R'ye elektronların geçiş hızı) iletim bandındaki n_c elektronlarının ve tekrar-birleşme merkezi R'deki deşiklerin konsantrasyonu ile orantılıdır. Yani;

$$\frac{dh}{dt} = -p_r n_c h \quad (2.5)$$

'dir. Burada p_r tekrar-birleşme olasılığıdır. İletim bandı ve merkezler arasındaki elektronların trafiğini tanımlamak için aşağıdaki formüller kullanılır.

$$\frac{dn_c}{dt} = -\frac{dn_u}{dt} - \frac{dn_d}{dt} - \frac{dn_h}{dt} = pn - p_t n_c (N - n) - p_r n_c h \quad (2.6)$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dn_u}{dt} + \frac{dn_d}{dt} = -pn + p_t n_c (N - n) \quad (2.7)$$

$$\frac{dh}{dt} = -p_r n_c h \quad (2.8)$$

İlk iyonizasyon işleminde oluşturulan bütündeşiklerin tekrar-birleşme merkezlerinde tuzaklandığı varsayılırsa, bu durumda

$$n + n_c = h \quad (2.9)$$

olur. Böylece,

$$\left| \frac{dn_c}{dt} \right| = - \left| \frac{dn}{dt} \right| + \left| \frac{dh}{dt} \right| \quad (2.10)$$

yazılabilir. Eş.2.10'daki ifade *yük korunumu şartı* olarak bilinir. Bu modelde OSL sinyalinin I_{OSL} şiddeti (foton/s) tekrar-birleşmenin meydana geldiği hıza eşittir. Yani;

$$I_{OSL}(t) = -\frac{dh}{dt} = -\frac{dn_c}{dt} - \frac{dn}{dt} \approx -\frac{dn}{dt} \quad (2.11)$$

'dir. Burada $n_c \ll n$ (iletim bandındaki elektronlarının konsantrasyonu tuzaklanmış elektronların konsantrasyonundan çok daha küçüktür) ve $|dn_c/dt| \ll |dn/dt|$ (iletim bandındaki elektron konsantrasyonunun değişim hızı tuzaklanmış elektron konsantrasyonunun değişim hızından çok daha küçüktür) olduğu *yarı-denge durumu* varsayılmıştır. n_c için bir ifade elde etmek istersek, $dn_c/dt \approx 0$ dolaylı yaklaşımı kullanılır ve son eşitlikte yerine konursa OSL şiddeti $I_{OSL}(t)$ için aşağıdaki ifade türetilir.

$$I_{OSL}(t) \approx pn \left(1 - \frac{p_t (N - n)}{p_r h + p_t (N - n)} \right) \quad (2.12)$$

Bu eşitlik OSL için Genel Tek-Tuzak (GOT) eşitliği olarak ifade edilir.

Sürekli dalga OSL bozunma eğrisi (CW-OSL)

Eğer tekrar tuzaklanmanın ihmal edildiği var sayılırsa, yani $p_r h \gg p_t (N - n)$. GOT eşitliği aşağıdaki birinci dereceden diferansiyel denkleme indirgenir.

$$I_{OSL}(t) = -\frac{dn}{dt} = pn \quad (2.13)$$

Eş.2.13'ün integrasyonu,

$$\frac{dn}{n} = -p dt$$

$$n(t) = n_0 \exp(-pt)$$

$$I_{OSL}(t) = n_0 \exp(-pt) \quad (2.14)$$

$$p = 1/\tau$$

$$I_{OSL}(t) = I_0 \exp(-t/\tau)$$

şeklinde birinci dereceden çözüm verir. Burada I_0 , $t=0$ anındaki OSL sinyalinin başlangıç şiddetidir ve τ , $1/(\sigma \Phi)$ ile verilen karakteristik bozunma zamanıdır. Buradaki Φ uyarma ışığının foton akısıdır.

Herhangi bir materyal doğal olarak bir tuzak tipinden daha fazlasını içerebilir. Materyaldeki bütün tuzaklar uyarıldığında eş zamanlı olarak OSL sinyali üstel bozunumların toplam serisi (eğer birinci dereceden çözüm mümkünse) olarak düşünülebilir. Bu durum materyalin optik uyarmaya duyarlı tuzak dağılımına sahip olduğunda gerçekleşir. Bu durumda,

$$I_{OSL}(t) = \sum_{i=0}^m I_{i0} \exp(-t / \tau_i) \quad (2.15)$$

yazılabilir. Burada m farklı tesir kesitine sahip optik tuzak tiplerinin sayısıdır. Bøtter-Jensen ve ark. (2000) kuvarsdan elde edilen OSL eğrilerinin genellikle hızlı, orta ve yavaş olmak üzere üç üstel bileşenden oluştuğunu rapor ettiler [49]. Ancak bozunma eğrisinin şekli genelde üstel bir fonksiyon değildir. Eş.2.14, uyarılan elektronun T tuzacağına tekrar-tuzaklanma olasılığının ihmal edildiği durumda elde edilir. Tekrar-tuzaklanmanın hesaba katıldığında, bu basit model için ikinci ve genel dereceden eşitlik elde edilir [2,50]. OSL emisyon modeli optik olarak pasif ($\sigma = 0$) ve yarışıcı (competing) tuzak olarak rol alan ilave tuzak durumlarının dahil edilmesi ile genişletilebilir [1,2]. Ancak, bozunma eğrisinin şekli materyal, soğurma dozu, uyarma dalgaboyu ve materyal sıcaklığı gibi farklı parametrelere bağlıdır. Analitik fonksiyona dayanan hiçbir model üst üste binmiş CW-OSL bozunma eğrilerini tanımlayamaz, fakat diferansiyel eşitliklerin nümerik çözümleri tahmin edilen basit modellerde meydana gelen yük geçiş işlemlerini tanımlamak için kullanılabilir [2].

Chen ve Leung (2002) OSL bozunma eğrilerinin basit bir üstel bozunum olmadığını *güçlü üstel* olarak adlandırdıkları Eş.2.16 şeklinde bir ifadeye iyi fit olduğunu göstermişlerdir [51].

$$I_{OSL}(t) = I_0 \exp\left\{-\left(t / \tau_i\right)^\beta\right\} \quad (2.16)$$

Burada $0 < \beta < 1$ arasında bir değere sahip olabilir. Bu tip bozunma davranışları yarı kararlı sistemlerin düzensizliğinde gözlenir [1].

LM-OSL bozunma eğrisi

OSL'nin tanımı şimdiye kadar CW-OSL'ye göre yapılmıştır. Yani sabit dalgaboylu ve sabit şiddette bir ışık kaynağı kullanılarak uyarılan OSL. Bulur, ilk kez 1996'da uyarma kaynağının şiddetini lineer olarak arttıran ve OSL'nin bu artış boyunca

gözlendiği alternatif bir teknik ileri sürmüştür [46]. Bu uyarma tarzında OSL bozunumu, farklı tuzak tiplerindeki yüklerin optik salınımıyla ilişkili bir pik serisi olarak görünür. Böylece deneyde kullanılan belirli bir dalgaboyunda ilk önce fotoiyonizasyon tesir kesitleri büyük olan tuzaklar boşaltılır ve OSL'nin uyarma zamanına göre grafiği bir pik olarak görünür. Daha küçük fotoiyonizasyon tesir kesitine sahip tuzaklar daha yavaş boşalır ve daha sonraki zamanlarda görünen OSL pikleri oluşturur.

Bir LM-OSL eğrisinin biçimi matematiksel olarak en basit şekilde tanımlamak için, lokalize durumda tuzaklanmış n elektron konsantrasyonlu *tek tuzak / tek merkez* düşünülür. Bir foton soğurarak serbest kalan elektron $h\nu_{em}$ enerjili foton emisyonu (lüminesans) üreterekdeşik merkeziyle birleşir. Birinci dereceden kinetik (tekrar tuzaklanmanın olmadığı durum) için tuzakların boşalma hızı Eş.2.13'deki gibidir. Bozunma sabiti ise,

$$p = \sigma \Phi \quad (2.17)$$

olarak verilir. Işık şiddeti sıfırdan maksimum değerine,

$$\Phi(t) = \gamma t \quad (2.18)$$

şeklinde lineer olarak artıyorsa (γ , lineer artış hızı), bu durumda Eş.2.13 ifadesi,

$$\frac{dn}{dt} = -\sigma \gamma t n \quad (2.19)$$

ile gösterilir. Bu ifadenin çözümünden,

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{\sigma \gamma}{2} t^2\right) \quad (2.20)$$

şeklinde gaussian fonksiyonu elde edilir. Bu durumda lüminesans şiddeti,

$$I_{LMOSL} = n_0 \sigma \gamma t \exp\left(-\frac{\sigma \gamma}{2} t^2\right) \quad (2.21)$$

olarak yazılabilir. Birinci dereceden kinetik için süperpozisyon prensibi (üst üste binme ilkesi) uygulanabildiğinden K tane tuzak bulunan bir sistem için genel bir ifade olarak,

$$I_{LMOSL} = \gamma t \sum_{i=1}^K n_{0i} \sigma_i \exp\left(-\frac{\sigma_i \gamma}{2} t^2\right) \quad (2.22)$$

yazılabilir. Böylece, farklı birkaç tuzağın aynı anda fakat farklı hızlarda boşaldığı bir durumda deneysel LM-OSL eğrisi, birinci dereceden kinetik LM-OSL eğrilerinin basit bir toplamı olarak yazılmış olur.

Pik şeklinde bozunum gösteren LM-OSL bozunumunun maksimum değere ulaştığı zaman ($\frac{d I_{LMOSL}}{dt} = 0$) çözülürse,

$$t_{mak} = \sqrt{\frac{1}{\sigma \gamma}} \quad (2.23)$$

olarak bulunur ve LM-OSL'nin maksimumdaki şiddetinin,

$$I_{LMOSL}^{mak} = n_0 \exp\left(-\frac{1}{2}\right) \quad (2.24)$$

ile ifade edildiği görülür.

Böylece deneyde kullanılan dalgaboyunda iyonize tesir kesiti σ , γ 'nın bilinen değerlerinden ve t_{mak} 'ın gözlenen değerlerinden kolayca bulunabilir. Buradan LM-

OSL pikinin hem dalgaboyuna (σ 'nın dalgaboyuna bağılılığı boyunca) hem de lineer modülasyon artış hızı γ 'ya bağlı olduğu görülür.

LM-OSL tekniği, Bulur ve Göksu tarafından IR ile uyarılabilen güçlü fosforlar ZnS ve SrS'den gelen OSL'ye uygulandı [52]. Birinci dereceden kinetik için LM-OSL ve CW-OSL eğrilerinin belirlenmesinde, lüminesans şiddetinin tuzakların boşalma hızıyla (dn/dt) doğru orantılı olduğu varsayıldı. Bu analizlerin sonucunda tekrar tuzaklanma hızının uyarma şiddeti ile doğru orantılı olduğu fark edildi. Böylece Eş.2.13 ve Eş.2.14'den,

$$\frac{dn}{dt} [\ln(I_{CWOSL})] \propto \Phi \quad (2.25)$$

olduğu görülür. Yani, $\ln(I_{CWOSL})$ 'nin zamana göre eğrisinin eğimi uyarma gücü Φ ile doğru orantılıdır [1].

Bulur ve ark. (1998) kuvars, $Al_2O_3:C$ ve BeO için uyarma gücü ile lüminesans şiddeti arasındaki lineer ilişkiyi göstermiştir [53–55] fakat $NaCl$ için bu gerçekleşmemiştir [55]. Bunun sebebi birinci dereceden kinetik modelin eksikliği veya $NaCl$ 'den gelen OSL'nin basit tek tuzak/tek merkez ile tanımlanmasının yetersiz olmasıdır. Bu durumda I_{CWOSL} ile dn/dt arasında ve sonuç olarak $dn/dt [\ln(I_{CWOSL})]$ ve Φ arasında lineer bir ilişki yoktur. Daha sonra Bulur ve ark. lineer olmayan ilişki için doyuma ulaşan bir üstel ilişki bulmuş ve LM-OSL eğrisini modifiye etmişlerdir. *Modifiye LM-OSL* 'nin $NaCl$ için tanımlanan LM-OSL eğrisi için yeterli olduğu görülmüştür.

CW-OSL ve LM-OSL arasındaki ilişki

Eğer LM-OSL deneyinde uyarma artışı son uyarma gücü Φ_f 'ye ulaşacak şekilde ayarlanırsa, bu durumda Φ_f , CW-OSL deneyinde kullanılan sabit uyarma gücüne

eşit olur [46]. O zaman gözlenen CW-OSL bozunum hızı ile gözlenen maksimum LM-OSL arasında,

$$\tau_d = \frac{1}{\sigma \gamma t_f} = \frac{t_{mak}^2}{t_f} \quad (2.26)$$

şeklinde bir ilişki olacaktır. Bulur daha sonra CW-OSL eğrilerini LM-OSL eğrilerini dönüştürmek için basit matematiksel bir dönüşüm tanımlanmıştır [57]. İlk önce zamanla ilişkili,

$$u = \sqrt{2tP} \quad (2.27)$$

veya

$$t = \frac{u^2}{2P} \quad (2.28)$$

şeklinde bir u değişkeni tanımlamıştır. Burada P , LM-OSL deneyinde toplam ölçüm zamanıdır. CW-OSL'yi açıklayan Eş.2.14'de zaman ifadesi yerine Eş.2.28 konursa ve ifade u/P ile çarpılırsa,

$$I_{LMOSL} = I_{OSL} \frac{u}{P} = \frac{n_0 \sigma \Phi u}{P} \exp\left(-\frac{\sigma \Phi}{2P} u^2\right) \quad (2.29)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade LM-OSL'yi açıklayan Eş.2.21 ile aynı formdadır. Eş.2.21 ile Eş.2.29'a bakıldığında $\Phi/P = \gamma$ olduğu ve u 'nun t ile gösterildiği görülebilir. u 'nun t baskın zamanına göre değişimi P 'nin seçimi ile ayarlanır. Eğer P , CW-OSL deneyi için gözlenen zamana eşit ise, ayar faktörü $\sqrt{2}$ 'dir. Deneysel olarak elde edilen CW-OSL eğrilerinin LM-OSL eğrilerine dönüşümü *dönüştürülmüş-LM-OSL* veya *sahte-LM-OSL* (pseudo) olarak adlandırılır [57].

2.5. OSL Sinyalinin Sıfırlanması

Toplam OSL sinyali, materyal tarafından soğurulan dozla orantılıdır. Soğurulan doz, materyalin zayıf doğal çevresel radyasyona ve/veya suni radyasyon kaynaklarına maruz kalmasıyla oluşur. OSL sinyali ölçülen materyaller tekrar kullanılmadan önce kalan artık sinyallerden arındırılmalıdır, aksi halde bu artık sinyaller sonraki işlemlerden elde edilen lüminesans cevaplarına önemli katkılar yapabilir ve özellikle düşük doz hesaplamalarında önemli bir hataya sebep olabilirler [8]. OSL sinyali ısıtma veya ışığa maruz bırakma ile sıfırlanabilir. OSL sinyalinin sıfırlanmasından sonra tekrar oluşumu başlar. Tarihlendirme uygulamalarında, tarih materyalin en son sıfırlandığından itibaren geçen zamanı tanımlar (yani burial-gömülü geçen zaman). Tarihlendirme uygulamalarında bilinmeyen gömülme zamanıdır. Kaza dozimetrisinde ise bilinmeyen kaza dozudur. Bunlar daha önce bir şekilde sıfırlanmış olan materyal kullanılarak elde edilebilir.

Termal sıfırlama: OSL sinyali ısıtma yoluyla sıfırlanabilir. Genelde bir materyalin 500 °C'nin üzerindeki sıcaklıkta ısıtılması materyalin sıfırlanması için çok etkili bir yoldur. Uygulanan sıcaklığın süresi de önemlidir ve bu süre materyalden materyale değişiklik gösterebilir. Yüksek sıcaklıklarda ısıtmanın, iyonize radyasyona olan duyarlılığı arttırması (yani soğurulan doz başına OSL sinyali artar) ısıtılmış materyalin kullanılmasının bir avantajıdır [2].

Optik sıfırlama: OSL sinyali aynı zamanda ışığa (veya gün ışığına) maruz bırakma yoluyla sıfırlanabilir. Laboratuvar ortamında belli bir süre gün ışığı simülatörleri kullanılarak beyazlatma işlemi gerçekleştirilebilir. Tam olarak sıfırlanmayan materyaller için en uygun açıklama termal geçişlerin olma olasılığıdır. Bu durumda OSL ölçümünden önce materyalin önısıtmaya (genellikle 200–300 °C arası) tabi tutulması standart bir uygulamadır. Bu uygulama laboratuvarda radyasyona maruz bırakma sonucu elde edilen sinyal ile doğal OSL sinyalinin karşılaştırılmasına olanak sağlar. Materyalin ön-ısıtılması yoluyla, ışığa duyarsız tuzaklarda tuzaklanmış yüklerin OSL tuzaklarına geçme ve buradan OSL sinyaline katılma olasılığı vardır [2]. Godfrey-Smith ve ark. (1988) kuvarslardaki OSL sinyalinin tam bir güneş

ışığında birkaç saniyelik bekletilme ile yaklaşık olarak %50'sinin azalabileceğini rapor etmişlerdir [58]. Enerji depolanması olmadan önce uzun süre güneş ışığına maruz kalan toz ve sahil kum sedimentlerinin optik tarihlendirilmesi başarılı bir şekilde yapılmaktadır [2,7]. Ancak, OSL sinyali hızlı bir şekilde sıfırlansa bile, enerji depolanması süresinde asla tam olarak sıfırlanmaz. Bazı çevresel sedimentler gün ışığına maruz bırakma yoluyla yeterli derecede sıfırlanamayabilir. Buna hızlı depolanma veya gizli kalan büyük OSL sinyali sebep olabilir. Tam olarak sıfırlanmayan materyaller; tamamen sıfırlanmayan, kısmen sönümlenmiş veya zayıf sönümlenmiş olarak ifade edilir [2]. Duller zayıf sönümlenmiş materyalleri Tip A ve Tip B olarak sınıflandırmıştır [59]. Tip A'da, sedimentteki bütün tanecikler eşittir (tanecikten taneciğe hiçbir değişiklik yoktur), fakat depolanma süresinde tamamen sıfırlanma olmaz. Tip B sedimentleri çok farklı zaman aralıklarında gün ışığına maruz bırakılan karışık tanecikler içerir. Bu yüzden bazı tanecikler yeterince gün ışığına maruz bırakılırsa gizli OSL sinyali sıfırlanabilir, fakat bu arada bazı tanecikler gömüldüğünde hala OSL sinyali taşıyabilir. Geleneksel OSL tekniklerinde eşdeğer doz tahmini tabletler üzerinden yapılır ve her biri tipik olarak birkaç bin tanecik içerir. Bu yüzden, tamamen sıfırlanmayan bir materyalde soğurulan dozu tahmin etme çabası, doğru gömülme dozunu tahmin etmekle sağlanır. Bu nedenle verilen bir örneğin tam olarak sıfırlanıp sıfırlanmadığı önemlidir. Eğer kullanılan tablet birkaç bin tanecikten oluşuyorsa, tam olarak sıfırlanmamanın bir sonucu olarak eşdeğer doz tahmininde saçılma meydana gelecektir. Bu yüzden, farklı eşdeğer doza sahip taneciklerin veya sadece tam olarak sıfırlanmayan taneciklerin baskın olduğu OSL sinyali ve ortalama eşdeğer doz tahmini gerçekleşir [2]. Gömülme dozunun en iyi tahmini, gömüldüğünde çok iyi sıfırlanmış taneciklerle sağlanır. Olley ve ark. (1998) 60 ve 100 arasında tanecik içeren küçük tabletlerde ölçülen en küçük dozun muhtemel en doğru gömülme dozu olduğunu önermiştir [60].

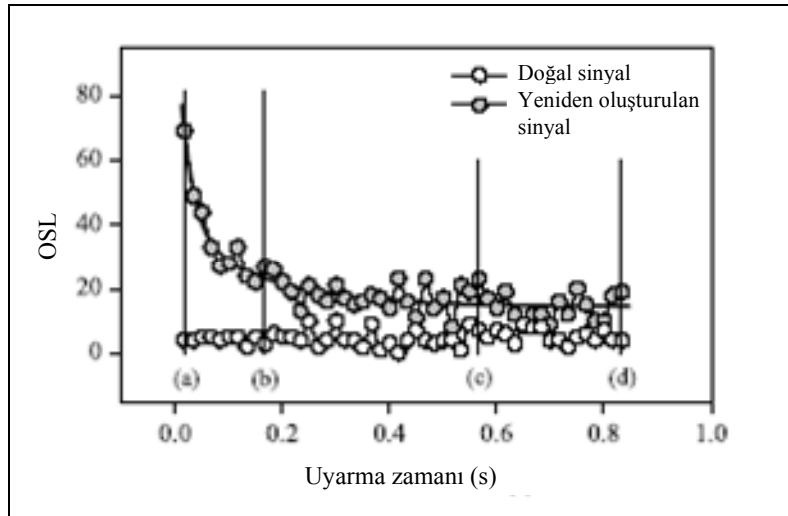
2.6. Doz Tahmini

OSL sinyalinin (ya toplam ya da ilk şiddet) soğurulan dozla ilişkili olması, toplam dozun değerlendirilmesine imkan veren temel bir varsayımdır. Soğurulan doz, doğal OSL sinyali ile laboratuvarında örneğe verilen dozlarla üretilen suni OSL sinyallerin

karşılaştırılması yoluyla hesaplanır. Doğal OSL sinyaline özdeş OSL sinyalini üretecek olan laboratuvar dozu eşdeğer doz (ED) olarak bilinir.

OSL sinyalinin seçimi

Ölçüm işlemlerinde OSL tuzakları boşalincaya kadar OSL sinyali uyarılır ve OSL emisyonu oluşur. Daha önceden de bahsedildiği gibi kuvarslarda OSL sinyali genellikle üç farklı bileşenden oluşur: hızlı, orta ve yavaş bileşen. Yavaş bileşenlere katkı sağlayan tuzaklar sadece optik uyarmaya zayıf duyarlıdır ve pratikte optik olarak tamamen boşaltmak zordur. Yani ihtiyaç duyulan uyarma zamanı uygulanamayacak kadar uzundur. Bu tuzakları beyazlatmak zor olduğu için, aynı zamanda iyi sıfırlanamaz. OSL’de asıl ilgi iyi sıfırlanabilecek tuzaklar üzerinde odaklanır. Bu tuzaklar da hızlı ve orta bileşene ait olan tuzaklardır.



Şekil 2.8. Termal olarak sıfırlanmış kuvars tek-tanecik OSL bozunma eğrisi. Doğal sinyal termal sıfırlamadan sonra ölçülen OSL sinyalidir ve yeniden oluşturulan sinyal taneciğe 1 Gy doz verilmesinden sonra ölçülen sinyaldir [2]

Yavaş bileşenden gelen katkıyı atmak için, uyarma süresi sonunda görünen ortalama OSL’ye dayanan taban sayım (background) önceki OSL sinyalinden çıkarılır. Bu taban sayımın çıkarılmasıyla aynı zamanda OSL sayma sisteminden gelen taban sayımda (yani, fotoçoğaltıcı tüpün karanlık sayımı ve filtrelerden kaçan sayımlar)

çıkarılmış olur. Böylelikle OSL analizinde kullanılan net sinyal elde edilir. Bunun bir örneği Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

Murray ve ark. (1997) ilk OSL sinyalinin toplam OSL sinyali ile doğru orantılı olduğunu göstermişlerdir [14] ve Banerjee ve ark. (2000) net OSL sinyalindeki en küçük istatistiksel belirsizlikleri bozunma eğrisinin ilk parçasını kullanarak aşmayı başarmışlardır [61]. Böylece analizlerde ilk OSL sinyallerini kullanılarak, sinyal gürültü oranının arttığı ve ışığa en duyarlı olan OSL sinyal parçasının dahil edildiği bir avantaja sahip olunur.

Yeniden oluşturma yaklaşımı

Bu teori ile doğal dozu tahmin etmek oldukça basittir. Doğal OSL sinyali ölçülür ve böylece ışığa duyarlı tuzaklarda tuzaklanmış yükler boşaltılır. Daha sonra örneğe bir Laboratuvar dozu (D_L) verilir ve yeniden oluşturulan OSL sinyali ölçülür. Bu işlem değişen yeniden oluşturma dozlarında birkaç kez tekrarlanır ve radyasyon dozu ile OSL sinyalinin gelişiminin nasıl olduğunu gösteren doz cevap eğrisi (büyüme eğrisi-growth curve olarak da bilinir) oluşturulur. Doğal OSL sinyalinin elde edilen büyüme eğrisi üzerine interpolasyonu, doğal OSL sinyaline eşit OSL sinyalini üretmek için ihtiyaç duyulan laboratuvar dozunu (eşdeğer doz) verir. Ancak OSL ölçümünden önce önısıtma gerektiren materyallerin doz tahminini yapmak karmaşık bir olaydır. Laboratuvarda radyasyona maruz bırakılmış tabletler, ilave kararsız bileşenler içerir. Bu yüzden doğal OSL sinyali ile laboratuvarda yeniden oluşturulan OSL sinyalini karşılaştırmak için OSL sinyalinde görülen kararsız bileşenleri kaldırmak gerekir. Bunu yapmanın bir yolu materyale ön ısıtma (yani; OSL ölçümünden önce materyali ısıtmak) uygulamaktır. Materyallerin ön ısıtılması ile ilgili standart bir uygulama 160–300 °C arasındaki sıcaklıklardır. Fakat kuvarsların ısıtılması materyalin radyasyona karşı duyarlılığını (birim doz başına yayınlanan luminesans) arttırır ve bu durum doz tahminini karmaşık hale getirir. Duyarlılık değişiminin üstesinden gelebilen ilk doğru tek tablet yeniden oluşturma ilave doz metodunu (SAR) Murray ve Roberts (1998) önermiştir [16]. Bunu yapmak için, bir test dozu katılarak duyarlılık değişimini düzeltme yoluna gidilmiştir.

Tek Tablet Yeniden Oluşturma Doz Metodu (SAR)

Radyasyon kazası esnasında veya gömülü kalma süresince materyal bir D_N dozuna maruz kalır. Laboratuvarında materyal belli bir sıcaklıkta ön ısıtma yapılır. Daha sonra optik uyarmayla önemsiz bir seviyeye düşene kadar doğal OSL sinyali L_N ölçülür. Küçük bir test dozu D_t (genellikle doğal dozun yaklaşık %10'u kadar) materyale verilir. Materyal belli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak hemen soğutulur ve test dozuyla üretilen OSL sinyali T_N ölçülür. SAR metodundaki ikinci ölçüm döngüsü, ilk yeniden oluşturma dozu D_1 vermekle başlar. Radyasyon verilmiş materyal önceki döngüde olduğu gibi önısıtma yapılır ve yeniden oluşturulan sinyal L_1 ölçülür. Bu işlem tekrarlanarak büyüme eğrisi elde edilir.

Büyüme eğrisinin düşük dozlarda genellikle lineer olduğu gözlenir. Fakat yüksek dozlarda lüminesans sinyali yük tuzaklarının sınırlı olmasından dolayı doyuma ulaşır. Bu durumda büyüme eğrisi genellikle tek üstel doyum fonksiyonuna fit edilir. Bu fonksiyon,

$$I = I_{\infty} \left(1 - e^{-D/D_0}\right) \quad (2.16)$$

ile verilir. Burada I , bir D dozu için elde edilen lüminesans sinyalinin şiddetidir, I_{∞} maksimum kazanılan sinyaldir ve D_0 eğrinin şekline bağlı karakteristik bir parametredir. Eğer materyalin doz cevabının lineer olduğu varsayılırsa doğal doz, toplam doğal sinyalin ve yeniden oluşturulan sinyalin oranı (D_i laboratuvar dozu ile çarparak) göz önüne alınarak tahmin edilebilir [2].

Tek tablet metodunun bazı avantajları vardır, bunlar a) az bir numunenin yeterli olması, b) çok tablette olduğu gibi tabletler arası farklılık olmayacağı için normalizasyona ihtiyaç olmaması, c) çok tablet hazırlamak için harcanan zamandan daha az zamana ihtiyaç duyulmasıdır.

3. OSL'DE DOZİMETRİ UYGULAMALARI

Geriye dönük radyasyon dozimetrisi, doğal veya mevcut sınırlı materyallerin dozimetrisidir. Yani, sentetik materyallerin (*optik uyarmalı lüminesans dozimetre-OSLD*) dozimetrisi değildir. Bu ayrım, araştırmacının kullandığı materyalin tipine göre benimseyeceği OSL yöntemlerinin çok daha iyi belirlenmesi için önemlidir [1]. Çeşitli dozimetri uygulamalarının amaçları aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

3.1. Personel Dozimetri

Personel dozimetri derin doz, sığ doz ve göz dozlarının (sırasıyla miktarları Hp(10), Hp(0,07) ve Hp(0,3) civarındadır) gelişimi ile ilgilidir. Hp(10), 1000 mg/cm^2 derinliğe karşılık (veya yaklaşık deri yüzeyinden 1cm derinlikte) insan dokusu tarafından soğurulan doz eşdeğeridir. Bu oldukça derine işleyen gamma ışını, yüksek enerjili beta parçacıkları, $>15 \text{ keV}$ enerjili x-ışınları ve nötronlar gibi radyasyon tiplerinden kaynaklanır. Hp(0,07) $5-10 \text{ mg/cm}^2$ derinlikte deri tarafından soğurulan sığ doz eşdeğeridir. Bu derine işlemeyen düşük enerjili beta parçacıkları ve $<15 \text{ keV}$ enerjili X-ışınlarından kaynaklanır. Hp(0,3), 3mm doku derinliğinde göz lensindeki dozdur. Personel dozimetride temel nicelik, soğurma dozu (D , Gy) ile ilişkili olan dokudaki bir noktanın doz eşdeğeridir (H, Sv). Personel dozimetri uygulamalarında OS LD'lere yaklaşık doku eşdeğerini bulmak için gereksinim duyulur. Bu yüzden insan dokusuna yakın etkin atom numaralı ($Z_{\text{eff}} = 7,6$) materyaller arzulanır (Bkz. Bölüm 4.2) [1].

3.2. Çevre Dozimetri

Çevre dozimetri, suni radyasyonun insanlar üzerindeki etkisine odaklanır. Nükleer atık imhası, nükleer santrallerden gelen emisyonlar ve nükleer santral endüstrisi vb. suni radyasyon kaynaklarına örnek verilebilir. Suni kaynaklardan ortalama insan vücudun tamamının aldığı çevresel doz (çoğunluğu doğal kaynaklardan gelir) %0,1'den daha az olmasına rağmen çevresel radyasyon kirliliğinin sürekli izlenmesi

önemli görülmektedir. Çevre dozimetride en büyük gereksinim, kötü hava şartlarında, değişen ışık ve sıcaklık seviyelerinde hem kararlılığını koruyan hem de yüksek duyarlı dozimetrelere. Çevre dozimetri için OSL teknikleri ve materyalleri kullanım kolaylığı ve yüksek duyarlılığından dolayı önemli potansiyele sahiptir [1].

3.3. Medikal Dozimetri

Medikal dozimetri insanların radyasyona maruz kalmasıyla ilgili olmasına rağmen, personel dozimetride bulunmayan önemli birkaç özelliğe sahiptir. Bunlardan biri medikal teşhis ve tedavi esnasında hasta üzerinde veya içinde kullanılabilen çok küçük dozimetrelere ihtiyaç duyulmasıdır. TLD'ler bu işlemler için pek çok hastanede popüler dozimetrelere. Fakat TLD'ler sadece tedaviden sonra hastanın maruz kaldığı yüzeyin okunmasını sağlayabilir. OSL bu alanda dozimetrenin gelişmesi için bir potansiyele sahiptir [1].

3.4. Geriye Dönük Dozimetri

Geriye dönük radyasyon dozimetrisi çevre veya bölgesel yerleşim yerlerinde mevcut olan materyallerin soğurduğu radyasyon dozunun belirlendiği zaman kullanılan bir terimdir. Radyasyona maruz kalma süresince ilgili yerlerde sentetik materyaller bulunmaz. Tarihlendirme ve kaza dozimetrisi olmak üzere iki büyük kategorisi vardır. OSL kullanılarak jeolojik veya arkeolojik kalıntıların tarihlendirmesinde kuvars ve feldspat gibi doğal materyaller tarafından soğurulan dozun belirlenmesine güvenilir. Kaza dozimetrisi, radyasyon kazası veya diğer benzer olaylardan dolayı normal taban sayım üzerinde soğurulan dozu belirlemekle ilgilidir. Bu olaylar esnasında sentetik materyaller olmadığından, soğurulan radyasyon dozunun belirlenmesi için, bölgesel olarak mevcut materyallere (tuğla, porselen vb.) güvenilir [1].

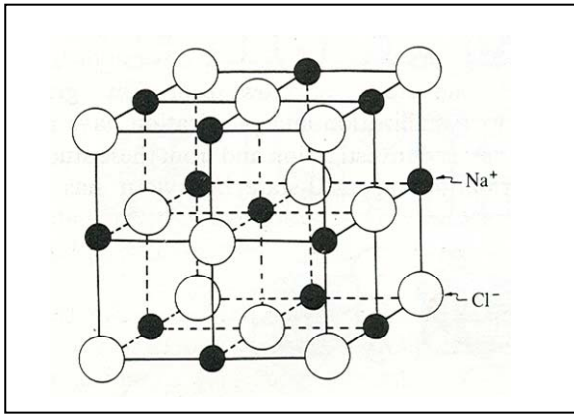
Bu başlıklar göz önüne alındığında iyi bir lüminesans materyalinin sahip olması gereken özellikler için: a) radyasyona yeterince duyarlı olması, küçük dozdaki radyasyonlara lineer veya basit fonksiyon şeklinde cevap verebilmesi, b) optik

uyarmaya verimi yüksek olması, c) düşük etkin atom numarasına sahip olması (aksi halde güçlü foton enerji bağılılığı görülür), d) iyi fading (lümİnesans sinyalinin kaybolması veya şişmesi) karakteristiğine sahip olması, yani oda sıcaklığında kararlı lümİnesans sinyali vermesi sayılabilir [1].

4. ALKALİ HALOJENÜRLER

Katıların davranışlarını bir bütün olarak anlamak için alkali halojenürlerin araştırılması 1920'lerde başlamıştır. Alkali halojenürler tipik olarak iyonik bileşiklerdir ve fiziksel özellikleri genel olarak bilinir. Alkali halojenürlerin çoğunluğu kaya tuzu yapısındadır (Şekil 4.1).

Bu yapıda her alkali metal iyonu (katyon) 6 en yakın komşu halojen iyonla (anyon) ve 6 en yakın katyonla çevrilir. Katyon ve anyonların her biri yüzey merkezli kübik (FCC) örgünün noktalarına yerleşir. Bu iki örgü birbiriyle iç içedir.

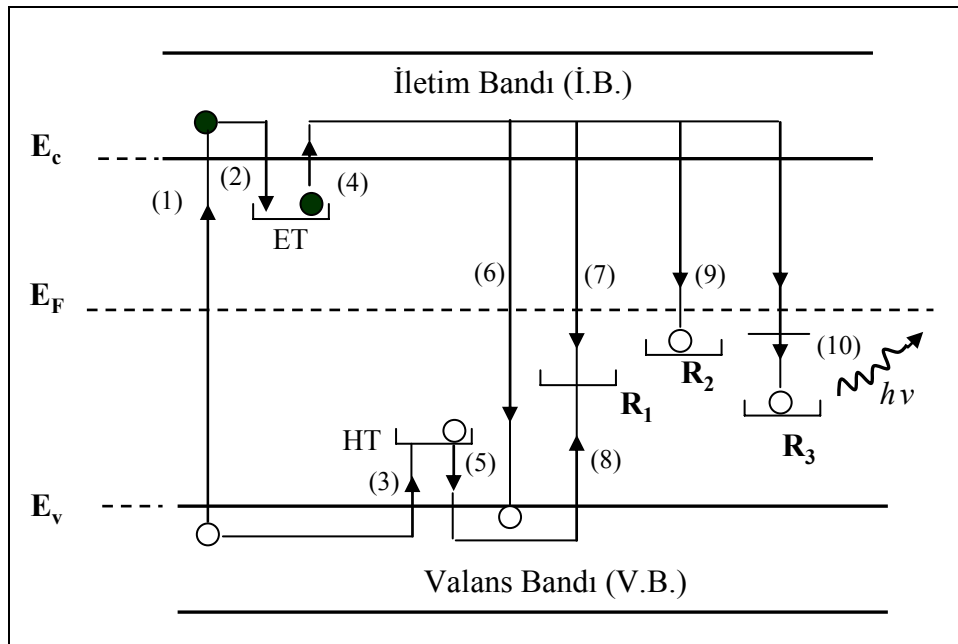


Şekil 4.1. Tipik bir kaya tuzu yapısı

Alkali halojenürler bütün iyonik bileşenlerin en iyi bilinenleridir. Alkali halojenürler normal sıcaklıklarda yeterince yalıtkan katılardır. Alkali halojenürler kızılötesinden (infrared'den) uzak mor ötesi (ultraviyole-UV) ışına yakın görünür bölgede ışığı geçirirler. Infrared soğurma katıyı oluşturan iyonların titreşimi ile ilgilidir. UV soğurma ise elektronik geçişlere karşılık gelir. Alkali halojenürlerdeki her kimyasal kirlilik, bileşiğin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler. Sıcaklık arttığında elektriksel iletkenlik çok hızlı bir şekilde artar. Burada elektrik yük taşıyıcıları elektronlar değil iyonlardır [8,30].

4.1. Alkali Halojenürlerde Band Modeli ve Kusurlar

Alkali halojenür gibi bir yalıtkan, band modeli yoluyla kuantum mekaniksel olarak tanımlanabilir. İletim bandı yasak bölge ile valans bandından ayrılır. Örgü kusurları olmayan bir kristalde valans ve iletim bandları arasında enerji seviyeleri olmaz. Kusura bağlı olarak meydana gelen enerji seviyeleri ayrı olabilir. Böyle bir kristalde serbest elektron, anyonun boşalttığı yerin (deşik) coulomb alanıyla etkilenerek tuzaklanabilir. Tuzaktaki elektronu serbest bırakmak için gerekli olan enerji, anyondan valans elektronunu koparmak için gereken enerjiden çok daha azdır. Böylece anyon boşluğu valans ve iletim bandı arasındaki herhangi bir yerde enerji seviyesi oluşturur. Benzer bir durum katyon boşlukları için ve kristal örgü içindeki kirlilik atomları için de söylenebilir. Böylece band aralıklarında lokalize enerji seviyeleri oluşur [8,30].



Şekil 4.2. Alkali halojenür kristallerde genel elektronik geçişler [8]

(1) İyonizasyon: alfa, beta ve gamma radyasyonlarının veya uzak UV'deki ışığın soğurulması esnasında valans bandında bir deşik bırakarak iletim bandının içine bir elektronun serbest kalması. (2) ve (3) elektron/deşik tuzaklanması: İletim bandı içindeki serbest elektron ve valans bandı içindeki serbest deşik, örgü kusuruna

tuzaklanana kadar kristal boyunca gezinir. Elektron en düşük uygun enerji seviyesine geçiş yoluyla tuzaklanabilir (2). Aynı zamanda deşik valans bandı üzerinde bir örgü kusurunda tuzaklanabilir (3). (4) ve(5) elektron/deşik serbest kalması: kristal optik uyarma altında iken tuzaklanmış elektronlar ve deşikler tuzaktan serbest kalabilir. (6, 7, 8, 9 ve 10) doğrudan/dolaylı tekrar-birleşme: yük taşıyıcıları banttan serbest kaldığı zaman zıt işaretli yük taşıyıcıları ile ya doğrudan -banttan banda- (6) ya da dolaylı –banttan merkeze veya merkezden banda– (7,8,9) olarak birleşebilirler. Bu tekrar-birleşme mekanizmasının her biri ışık emisyonu ile sonuçlanabilir ve lüminesans gerçekleşir.

Örgü salınımından dolayı iletim bandından uyarılmış duruma serbest bir elektron geçtiğinde foton salınımı olmaz (ışınmasız geçiş), fakat yeni durum kararlı değildir ve uyarılmış elektron foton emisyonu ile taban duruma geçer (10).

Böylece lokalize enerji seviyeleri ya tuzak ya da tekrar-birleşme merkezleri olarak rol alabilirler. Elektron salınımına kusura “*tuzaklama merkezi*” veya “*tuzak*” denir. Elektron ve deşiğin tekrar birleştiği kusur foton üretirse “*tekrar-birleşme merkez*”i veya “*lüminesans merkezi*” denir.

Gerçekte kristaller mükemmel değildir ve çeşitli tipte kusur ve eksiklikler içerirler. Bir kristalde kusur merkezleri üretmek için çeşitli teknikler vardır. Bunlardan en temelleri: a) ilave renklendirme, b) elektronik renklendirme, c) iyonize radyasyona maruz bırakma’dır. İlk iki teknik alkali halojenürlerde kusur merkezleri üretmek için oldukça zordur ve yüksek teknolojiye ihtiyaç vardır [8].

Bu çalışmada nükleer radyasyon kaynağı kullanarak, iyonize radyasyona maruz bırakma ile kusur merkezi üretme tekniğini kullanacağız.

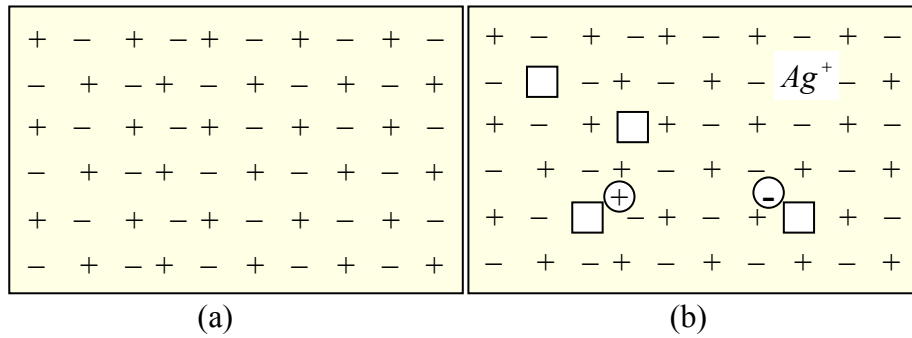
Enerji aralıkları:

- UV fotonların yaklaşık $3\text{ eV} - 10\text{ keV}$
- Zayıf X-ışınları $10 - 60\text{ keV}$

— Co-60	1,25 MeV
— $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta ışınları	2,25 MeV
— Yüksek enerjili proton ve nötron	100 MeV

olan bütün kaynaklar materyalde serbest elektron ve deşik üretebilen iyonize radyasyon sınıfına dahildir.

Hiçbir kusur içermeyen iki boyutlu kristalin gösterimi Şekil 4.3.a'daki gibidir. Kristalin bu tipi iyonik kristal olarak adlandırılır. Kristal örgüde bir atom yerinden ayrıldığında en basit kusur konfigürasyonu ortaya çıkar. Bazen bir kristalde yabancı bir atom normal atomun yerinde arada sıkışabilir.



Şekil 4.3. a) iki boyutlu ideal kristal, b) Schottky kusuru (katyon ve anyon boşlukları), Frenkel kusuru (boşlukta sıkışan katyon ve anyonlar), yabancı katkı atomu [8]

İyonik kristallerde yük nötrlüğünden dolayı nokta kusurlar daha karmaşıktır. İki zıt yüklü iyon, iyonik kristaldeki yerinden ayrıldığı zaman katyon-anyon çift boşluğu oluşur. Bu *Schottky kusuru* olarak bilinir. Çeşitli işlemler sonucunda katyon veya anyonun kristaldeki yerinden çıkarak iç örgüde atomlar arasında sıkışması ise *Frenkel kusuru* olarak bilinir.

İyonize radyasyon kullanarak kristalde kusur oluşturma'nın iki önemli avantajı vardır. Birincisi, ilave renklendirme ve elektronik renklendirmenin aksine iyonize radyasyon kristalin bağ özelliklerini, atom oranlarını ve bileşenin formunu değiştirmez. Diğer avantajı ise iyonize radyasyon ile renklendirmenin doğasından dolayı kristalin

elektiriksel olarak nötr kalmasıdır. İyonize radyasyon altında üretilen merkezlerin miktarı, kristalin radyasyonda kalma sıcaklığına ve süresine bağılıdır.

En iyi bilinen renk merkezi F-merkezidir. Almanca’da renk anlamına gelen ‘farbe’ kelimesinin baş harfi ile simgelenir. F merkezinin yapısı bir anyon boşluğunda tuzaklanmış elektron olarak tanımlanır. F merkezi taban ve uyarılmış durum olmak üzere iki enerjili duruma sahiptir. Bu durumların birleşmesi optik soğurma, örgü relaksasyonları ve floresans emisyonu ile olur. Bu yüzden F merkezi spektrum bölgesindeki bir ışığı soğurabilir. Başlangıçta radyasyonla oluşturulmuş F merkezi başka merkezlere dönüştürülebilir veya kaynağı F merkezi olan bir merkez uygun bir işlemle (termal veya optik uyarma) tekrar F merkezine dönüştürülebilir.

4.2. Alkali Halojenürlerde Soğurma Karakteristikleri

Alkali halojenürlerde soğurma bandının spektral durumu ve genişliği alkali halojenürlerin doğasına ve sıcaklığına bağılıdır. NaCl yapılı alkali halojenürler için oda sıcaklığında F merkezinin optik soğurma bandı dalgaboyu pikinin maksimumu MollwoIvey bağıntısı ile verilir [8].

$$\lambda_{\max} = 703 d^{1,84} \quad (4.1)$$

Burada d, örgü parametresidir.

Alkali halojenürler uzun süreli radyasyona maruz bırakıldıklarında F merkezli ek soğurma bandları ortaya çıkabilir.

Yumuşak dokulardan birine eşit etkin atom numarası ($Z_{eff} = 7,4 - 7,6$) olan dozimetre materyalleri *doku eşdeğeri materyaller* olarak adlandırılır. Dozimetre materyalinin doku eşdeğeri olması biyomedikal, klinik ve personel izlemede (monitoring) daha büyük doğruluk için arzu edilen bir özelliktir. Dozimetre materyalinde foton etkileşimleri için tesir kesitleri, materyali oluşturan her elementin

atom numarasıyla bazı sayısal kuvvetlerle orantılı olarak artar. Yani elementsel tesir kesiti Z^x ile oratılıdır. Burada x , meydana gelen etkileşim tiplerine bağlıdır ve 1 ile 5 arasında değişir. Bu olay fotoelektrik etki için 4'e yakın bir değerdir. Dozimetre materyali gibi bir bileşen etkin atom numarasıyla tek element gibi göz önüne alınabilir [62].

Çizelge 4.1. Alkali halojenürlerde F merkezi elektron-deşik tekrar-birleşme'sinde soğurulan piklerin dalgaboyları ve etkin atom numarası [8]

Merkez	F	Z_{eff}
NaCl	458 nm	15,18
KCl	556 nm	18,12
RbCl	609 nm	33,04
LiCl	385 nm	16,09
CsCl	605 nm	50,35

$$Z_{eff} = \sqrt[x]{\sum_i a_i Z_i^x} \quad (4.2)$$

$$a_i = \frac{n_i(Z_i)}{\sum_i n_i(Z_i)} \quad (4.3)$$

$$n_i = N_A Z_i \quad (4.4)$$

Burada a_i , Z_i bileşenli elemente ait olan elektron kesri, N_A avagadro sayısıdır ve $x = 2,94$ olarak alınır. Kaslarda fotoelektrik etki için $Z_{eff} = 7,4$ 'dür, ortalama toplam insan vücudu için $Z_{eff} = 7,6$ 'dır. Bu yüzden benzer Z_{eff} değerine sahip materyaller düşük enerjili fotonlar için iyi doku eşdeğeridir. Dokular için materyalin cevabı aynı tarzda foton enerjisiyle kütle enerjisi soğurma katsayı (μ/ρ) oranı şeklinde değişecektir [62].

5. TUZAK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN METOTLAR

Kristaldeki tuzakların fiziksel parametrelerini saptamak için yapılan lüminesans analizleri ve tuzaklar arasındaki yük taşıyıcıların kinetiği *kinetik analiz* olarak adlandırılır.

Aktivasyon enerjisi, kristalde valans bandı ile iletim bandı arasındaki yasak enerji aralığı içindeki enerji seviyeleri veya yarı-kararlı durumları ayıran enerjidir. Bu enerji aynı zamanda tuzak derinliği olarak da adlandırılır. Yarı kararlı seviyeler iletim bandı yakınındaki elektron tuzakları (donör), valans bandı yakınındaki boş tuzakları (akseptör) veya lüminesans merkezleri olabilir. Eğer bir tuzağın aktivasyon enerjisi $E > akT$ ise ve $a > 1$ ise o zaman tuzak uzun süre kalır, yani karardır [62].

Aktivasyon enerjisi, lüminesans mekanizmasında aşağıdaki gibi metotlarla hesaplanabilir.

1. İlk-Artış (Initial-Rise) Metodu
2. Pik-Şekil (Peak Shape) Metodu
3. Eğri fit Metodu
4. Isıtma Hızı Metodu
5. İzotermal Bozunma Metodu

Bu çalışmada bu metotlardan ilk üçü dikkate alınmıştır.

5.1. İlk-Artış Metodu

İlk kez, termolüminesans ışıma pik'lerinin (Glow Peak-GP) tuzak derinliği ilk-artış metodu ile TL çalışmaları için Garlick ve Gibson (1948) tarafından elde edilmiştir [63]. GP şiddeti I 'nın sıcaklıkla ilişkisinin $I \propto \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$ olmasından yararlanılarak,

$$\ln I \propto \left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (5.1)$$

'den $\ln I - \frac{1}{T}$ grafiği çizilerek eğrinin eğiminin $\left(-\frac{E}{k}\right)$ olduğu göz önüne alınmış ve aktivasyon enerjisi E değeri bulunmuştur (Bräunlich, 1967) [28].

5.2. Pik-Şekil Metodu

Pik şekline dayanan bu metot TL çalışmalarında pik'in iki veya üç noktasını kullanır. Bu metotla ilgili hesaplamalarda genellikle T_m pik maksimumu ve yarı pik yüksekliğine karşılık gelen düşük ve yüksek sıcaklıklar T_1 ve T_2 'nin biri veya her ikisi kullanılır.

Grossweiner (1953) τ 'nin ortalaması yoluyla aktivasyon enerjisini hesaplayan aşağıdaki eşitliği önermiştir [64].

$$E = a \frac{kT_1 T_m}{\tau} \quad (5.2)$$

Burada $\tau = T_m - T_1$ iken, a parametresi kinetik dereceye bağlı bir ifadedir.

Lushchik (1956), $\sigma = T_2 - T_m$ ölçümüne dayanan açıklama yapmıştır [65] ve Eş.5.2 Chen (1969) tarafından modifiye edilerek [29],

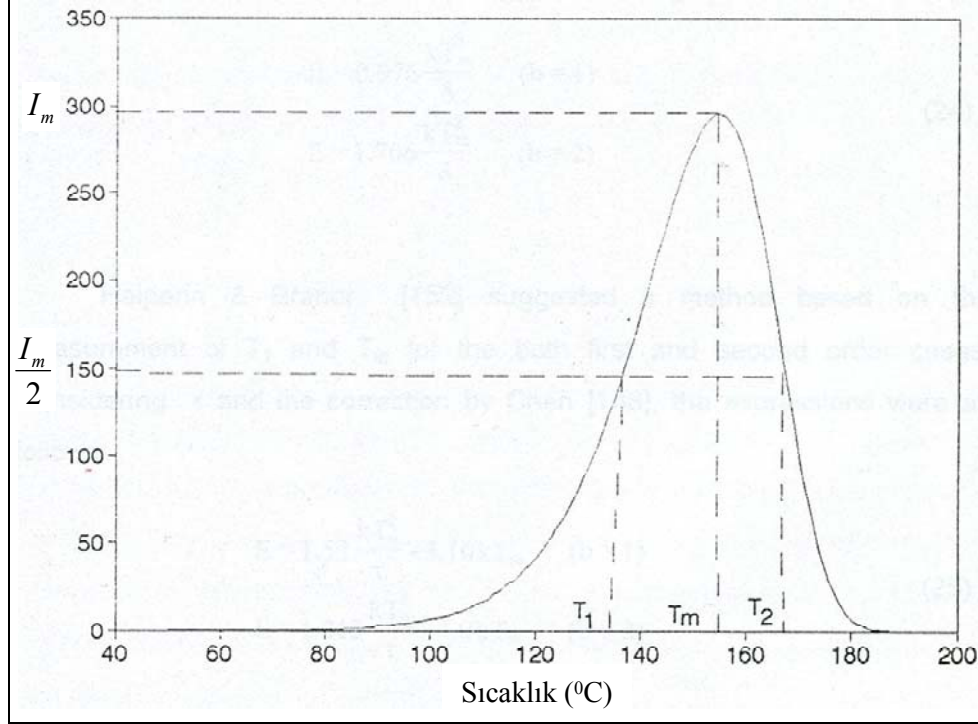
$$E = a \frac{kT_m^2}{\sigma} \quad (5.3)$$

olarak sunulmuştur. Burada a parametresi kinetik düzene bağlı bir ifadedir.

Halperin ve Barner (1960) T_1 ve T_m ölçümüne dayanan bir metot önermişlerdir [66] ve yine Chen (1969) tarafından düzenlenerek [29],

$$E = a \frac{kT_m^2}{\tau} - b k T_m \quad (5.4)$$

olarak verilmiştir.



Şekil 5.1. Tipik bir TL pik (Glow-Peak) şekli $\tau = T_m - T_1$; $\sigma = T_2 - T_m$; $\omega = T_2 - T_1$. Burada koordinatlar TL şiddetini gösterir [8]

Bu formüllere ilaveten Chen (1969) bu metotların en son halini analiz etmiş ve τ, σ, ω ifadelerini kullanarak aktivasyon enerjisi E için genel bir formül olan,

$$E_a = c_a \frac{kT_m^2}{\alpha} - b_a (2kT_m) \quad (5.5)$$

ifadeyi vermiştir [29]. Burada α ; τ, σ ve ω ye karşılık gelir ve önceki üç metot için c_a, b_a katsayı değerleri:

$$\begin{aligned} c_\tau &= 1,51 + 3,0(\mu_g - 0,42) \\ c_\sigma &= 0,976 + 7,3(\mu_g - 0,42) \\ c_\omega &= 2,52 + 10,2(\mu_g - 0,42) \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned}
b_{\tau} &= 1,58 + 4,2(\mu_g - 0,42) \\
b_{\sigma} &= 0 \\
b_{\omega} &= 1
\end{aligned}
\tag{5.7}$$

olarak verilmiştir. Burada μ_g geometrik faktördür ($\mu_g = \sigma/\omega$) ve T_1 , T_2 ve T_m deneysel veriler kullanılarak elde edilir.

5.3 Eğri Fit Metodu

Her OSL bozunma eğrisi için tuzak parametreleri (bozunma sabiti p , aktivasyon enerjisi E , sıklık faktörü s , tuzak konsantrasyonu N , kinetik derece vb.) eğri fit metodu ile bulunabilir. Bu metotta bir teorik eğri birinci, ikinci veya genel kinetik düzene dayanan tuzak parametrelerinin ilk değerleri kullanılarak hesaplanır ve deneysel eğri ile karşılaştırılır. Bilgisayar programı birinci derece kinetiğin; eğri alanını, aktivasyon enerjisini, sıklık faktörünü, bozunma sabitini ve maksimum şiddetini belirlemek için “*en küçük kareler minimize işlemi*”ni (hata terimini minimum yapan yöntemdir, bu yöntem katsayı değerlerinin hesaplanmasında kullanılır) kullanır. Deneysel eğri için her eğrinin (bozunma eğrisinin hızlı, orta ve yavaş bileşeni) tuzak parametreleri bağımsız bir şekilde ayarlanabilir. Daha sonra parametrelerin değerleri bilgisayar programı ile deneysel eğriler arasında “en iyi-fit” elde edilene kadar (yani, rms sapması minimize olana kadar) sırasıyla değiştirilir. Bu çalışmada eğrilerin fit işlemi için “*Curve-Expert 1.3* ve *Sigma Plot*” yazılımları kullanılmıştır.

Spooner (1994) ve Huntley ve ark. (1996) uyarma sıcaklığında toplam lüminesansta ki azalmayı termal sönme bakımından açıklamışlar ve elde ettikleri verileri Eş.5.8’deki ilişkiye uygun şekilde fit etmişlerdir [26,27]. Eş.5.8, artan ön ısıtma sıcaklığından sonraki OSL sinyallerinin sönümüne uygulandığı zaman termal sönmeye benzer bir karakter sergiler. Fakat, termal sönmedeki gibi değişik aktivasyon enerjisini değil elektron tuzaklarının aktivasyon enerjisini verir. Bu çalışmada eğri fit metodu için,

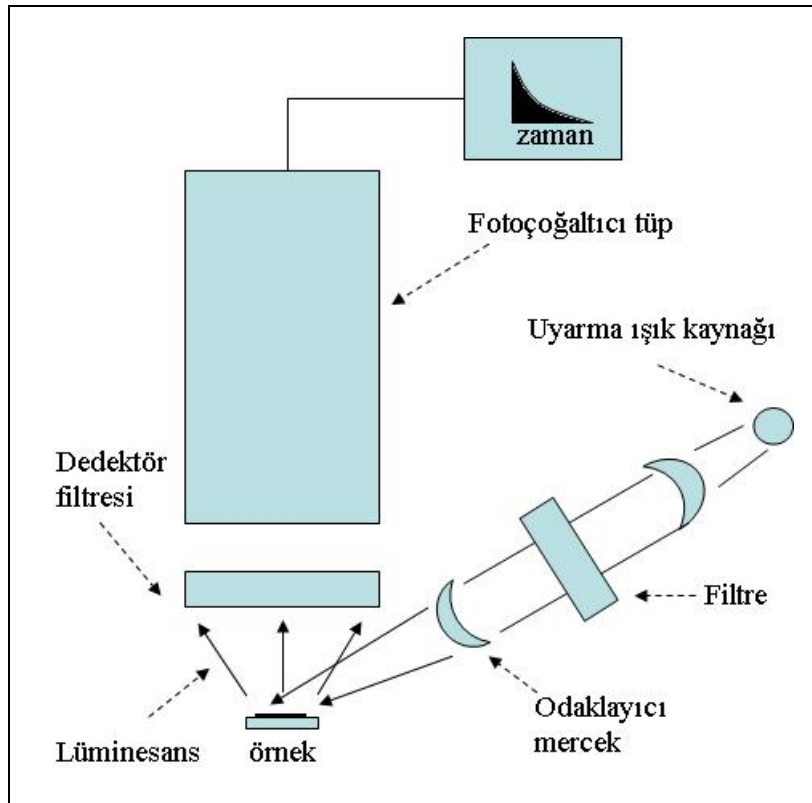
$$\eta = \frac{I}{I_0} = \frac{1}{1 + c \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)} \quad (5.8)$$

formülünün, deneysel verilerden elde edilen OSL eğrilerine uygulanması yoluyla aktivasyon enerjisi elde edilmiştir. Burada c; boyutsuz bir sabittir.

6. MATERYAL VE METOD

6.1. ELSEC 9010 OSL Sayma Sistemi

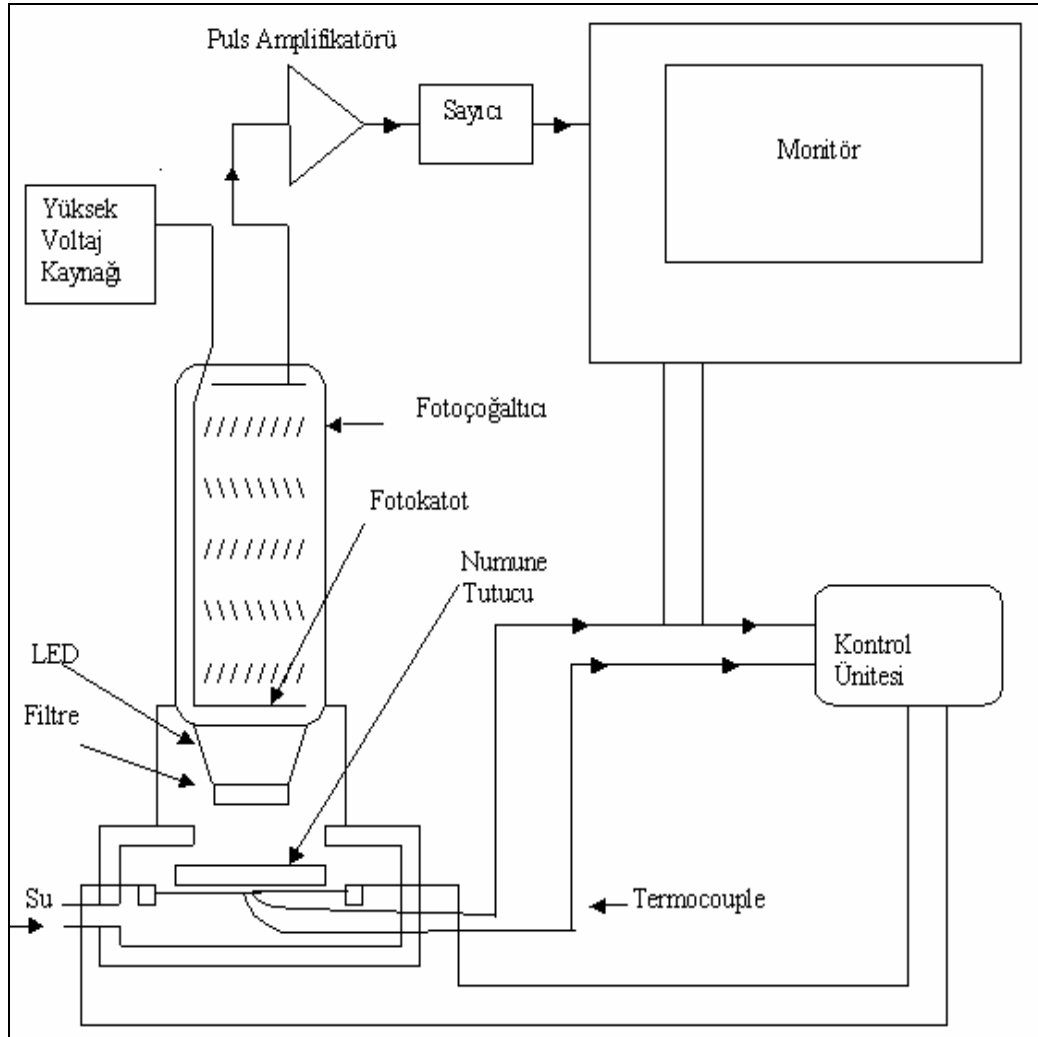
ELSEC 9010 OSL Sayma Sistemi tarihlendirme yapmak için ilk kez Spooner ve ark. (1990) tarafından geliştirilmiştir [67]. Bu çalışmada Gazi Üniversitesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Laboratuvarında bulunan ELSEC 9010 OSL Sayma Sistemi kullanılmıştır (Bkz EK Resim 1). OSL 9010 sayma sisteminin şematik gösterimi Şekil 6.1 ve 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Lüminesans sayma sistemi için genel şematik gösterim

Uyarma ışık kaynağı açıldığında numune üzerine düşen fotonlar, numunede depolanmış olan enerjinin lüminesans sinyali olarak boşalmasını sağlar. Bu esnada uyarma ışığının numune üzerinden saçılmaları da olacaktır. Uyarma ışığı ile emisyon ışığını (lüminesans sinyali) ayırmak için fotoçoğaltıcı tüp önüne optik filtreler yerleştirilir ve sadece emisyon ışığının geçmesi sağlanır. Böylece gelen emisyon ışığı

foto duyarlı yüzeye çarparak foton başına en çok bir foto elektron salınmasına neden olur. Bu ikincil elektronlar fotoçoğaltıcı tüpte çoğaltılır, hızlandırılır ve çıkış pulsları şekline dönüştürülür.

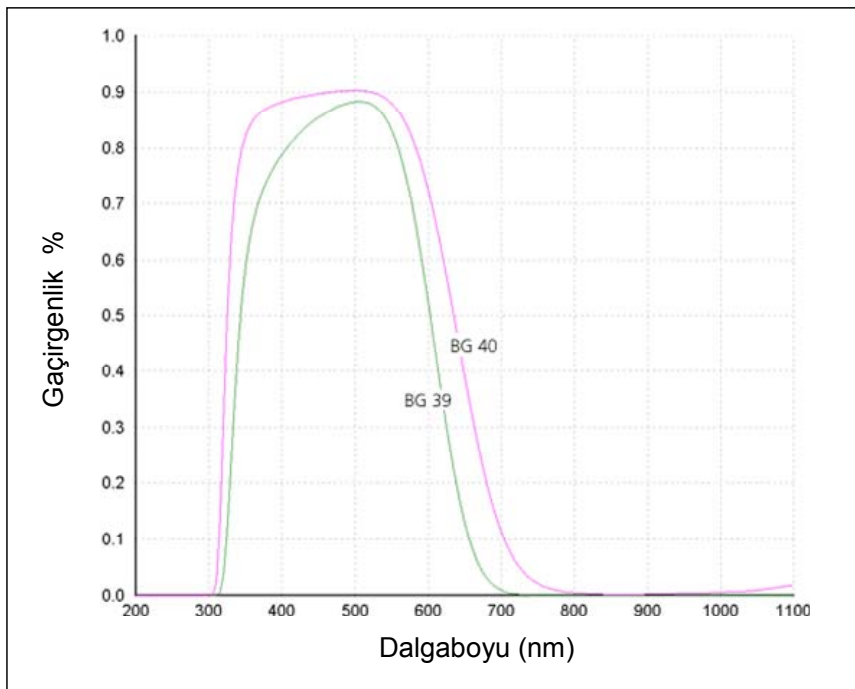


Şekil 6.2. OSL 9010 sayma sistemi deney düzeneğinin şematik gösterimi

6.2. Uyarma Biriminin Modifikasyonu ve Test Edilmesi

Tarihlendirme çalışmalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş olan mevcut OSL 9010 sayma sisteminde uyarma kaynağı olarak IR-LED ve optik filtre olarak BG39 bulunmaktadır. IR-LED'ler genellikle feldspat örneklerin uyarılmasında kullanılır. Son yıllardaki gelişmeler feldspattan çok kuvars ve sentetik materyallerin

kullanılması üzerine olmuştur. Kuvars ve sentetik materyallerin uyarılmasında ise IR-LED'den çok mavi ışık yayan diyotlar (Blue-LED, B-LED), yeşil ışık yayan diyotlar (Green-LED) ve halojen lambalar kullanılmıştır. Kolay elde edilmesi, ucuz olması, elektronik devrelerle veya bilgisayar yazılımı ile kontrol edilebilir olması ve kısa uyarma zamanı için kullanılabilirliği açısından mavi LED en uygun uyarma aracı olarak düşünülebilir. Bu nedenle bu çalışmada OSL 9010 sayma sisteminin uyarma birimi modifikasyondan geçirilmiştir.



Şekil 6.3. Fotoçoğaltıcı tüp önüne IR ışığı kesmek için konulan Schott BG-39 optik filtrenin geçirgenlik spektrumu [68]

OSL 9010 sayma sisteminin mavi LED'le uyarıya uygun hale getirilmesi için, uyarma birimi ve optik filtrelerde değişime gidilmiştir. Bunun için ilk önce mavi LED'lerden çıkan ışınların tablet üzerinde odaklanmasını ve aynı zamanda uzun süreli kullanımlarda LED'lerin soğumasını sağlayan alüminyum LED tutucu (alüminyum başlık) sistemdeki ile birebir olacak şekilde Ankara-OSTİM'de yaptırılmıştır ve LED'ler yerleştirildiğinde kısa devre olmasından kaçınmak için sırla kaplatılmıştır. Alüminyum başlık aynı merkezli iki halkadan oluşmaktadır ve iç içe

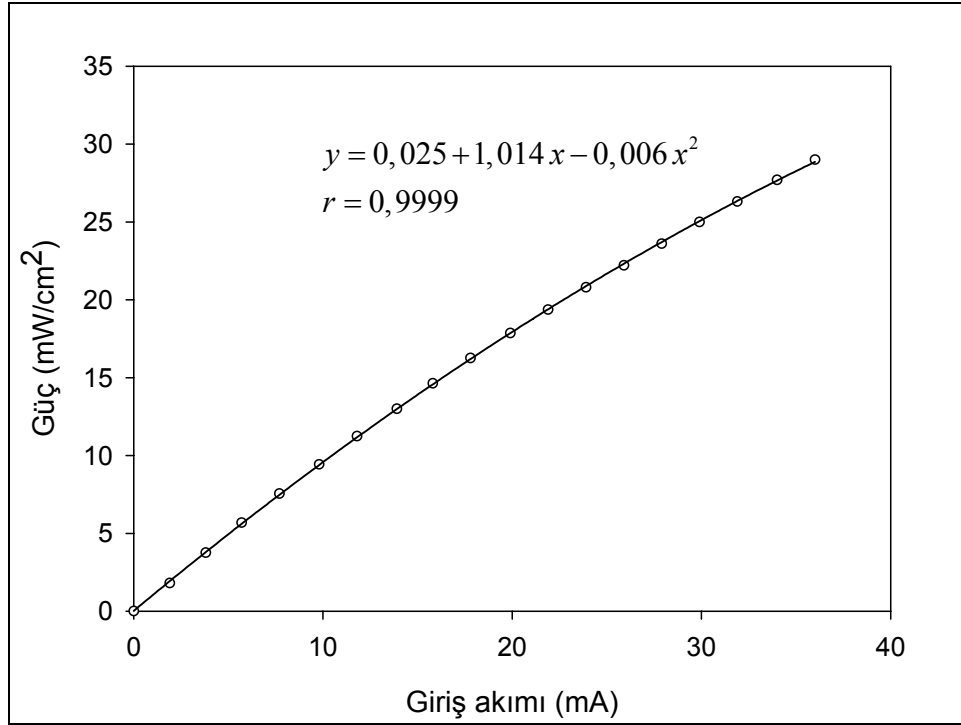
geçmiş kesik huniye benzetilebilir (Resim 3). Her halkada 12 adet LED yuvası vardır.

OSL 9010 sayma sisteminde uyarma için kullanılan çıkış voltajı ölçüldüğünde $\sim 48V$ olduğu görülmüştür. Mavi LED'lerin her biri yaklaşık olarak 3,5 Volt'ta verimli bir şekilde çalışmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurularak 4'erli seri LED gruplarından oluşan 6 paralel grup oluşturulmuştur. Bu gruplar bakır baskı devre kartı oluşturularak sabitlenmiştir.

Bakır baskı devre kartının iç ve dış çapı, sistemdekine eşdeğer olacak şekilde laboratuvarımızda kıl testere yardımı ile hazırlanmıştır. Daha sonra asetat kalemi (permanent kalem) kullanılarak LED yuvalarına denk gelen LED bacaklarının noktaları belirlenmiştir ve matkapla baskı devre kartına delikler açılmıştır. Devre kartı temizlenip kurulandıktan sonra asetat kalemi ile daha önce belirtilen LED düzenini sağlamak için baskı devre üzerine devre yolu çizilmiştir. %70 tuz ruhu ve %30 Perhitrol'den (hidrojen peroksit) oluşan karışımın içine devre yolu belirlenmiş baskı devre kartı atılarak yaklaşık 10 dakika bekletilmiştir. Daha sonra karışımın içinden alınan baskı devre kartı su ile yıkandıktan sonra asetonla silinmiştir. Böylelikle mavi LED'ler için devre kartı hazırlanmıştır.

24 adet mavi LED'i alüminyum başlıktaki LED yuvalarına yerleştirmek için her LED'in şapkaları zımparalanmıştır ve bu esnada uç kısmının çizilmemesine dikkat edilmiştir. Bu şekilde hazırlanan 24 mavi LED uygun şekilde yuvalarına yerleştirilip devre kartına lehimlenerek sabitlenmiştir. Böylece IR-LED uyarma birimine eş mavi-LED uyarma birimi oluşturulmuştur. Bu modifikasyonda 25° görüş açılı $\sim 470\Delta 30nm$ dalgaboylu 6 Cd'lık WENRUN marka mavi LED'ler kullanılmıştır. $100mm^2$ çaplı Silisyum dedektöre sahip prob (Kalibrasyon faktörü $1,005 \times 10^{-2} A/W$ olan SED100/FQ/K15) ile IL1700 Radyometre kullanılarak, her bir LED'den geçen akım 12,5mA iken tablet üzerinde $21,6mW/cm^2$ 'lik güç olduğu ölçülmüştür. Baskı devre kartının ana kolundaki akıma göre elde edilen güç değişikliği ölçüldüğünde Şekil 6.4'deki gibi bir grafik elde edilmiştir. Şekil 6.4'de akım ile LED'lerin tablet

üzerinde oluşturduğu güç lineer olarak artmasa bile kuartatik bir fonksiyona çok iyi uyduğu görülmüştür.



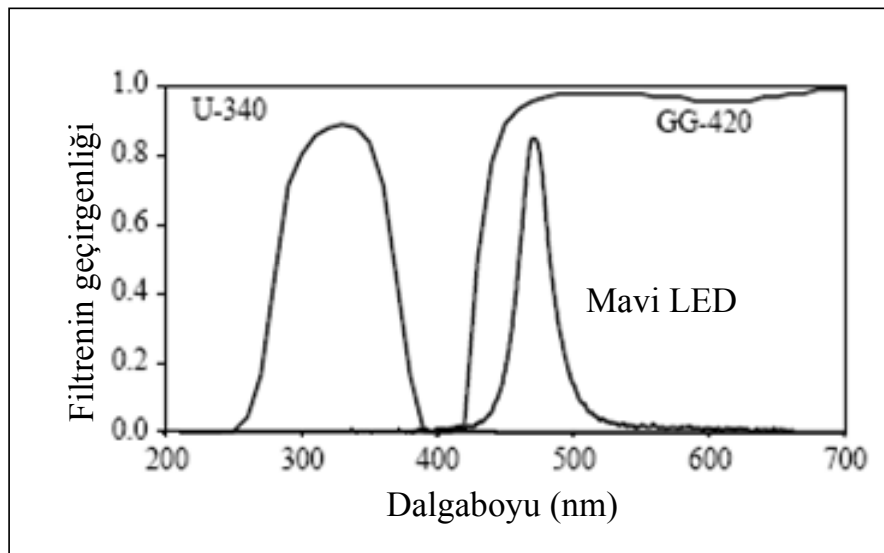
Şekil 6.4. Mavi LED takımına uygulanan akımla tablet üzerine sağlanan gücün değişimi

Mavi-LED uyarma birimi oluşturulduktan sonra PM tüpü başlığına yerleştirilmiştir. İlk deneme sayımı boş tablet tablası üzerinden taban sayım (background) için yapılmıştır.

İlk deneme sayımında taban sayım 5000 sayım/s bulunmuştur. IR-LED kullanılırken taban sayım 40–60 sayım/s arasında iken mavi-LED’de 5000 sayım/s çıkması çok büyük taban sayım olduğu gerçeğini gösterir. Yapılan incelemelerden filtrelerin ve alüminyum tutucunun tam yerleşmediği sonucuna varılarak düzenleme yoluna gidilmiştir. İkinci deneme sayımında taban sayım 750 sayım/s kadar düşürülmüştür. Fakat yeterince düşük bir sayım olmadığı için filtrelerin iç ve dış kenarları ile alüminyum tutucunun dış kenarları siyah erimeyen macunla kaplanmıştır. Bu zırhlamadan sonra alınan taban sayım 130 sayım/s elde edilmiştir. Bu değer mavi-LED kullanıldığında yeterince iyi bir taban sayımdır.

6.3. Dedeksiyon Filtreleri

Mavi-LED uyarma biriminin sistemde kullanılabilmesi için uygun filtrelerin sisteme yerleştirilmesi gerekir. Bunun için yeşil geniş-band filtre olan Schott-GG420 optik filtre (3mm kalınlıklı), en yüksek enerji ile yayınlanan fotonların şiddetini azaltmak için mavi LED birimi önüne yerleştirilmiştir. Ayrıca LED emisyon spektrumunun küçük dalgalı boyundaki uzayan kuyruk (Şekil 6.5) GG420 ile azaltılabilir. Böylece fotoçoğaltıcı katoduna doğrudan ulaşan mavi ışık minimize edilmiş olur. Ayrıca geçiş penceresinden sapsmış ışığı (mavi ışık) süzmek ve örnekten gelen sinyalle ayırmak için 3 adet Hoya-U340 optik filtre PM tüpü önüne yerleştirilmiştir.



Şekil 6.5. Mavi LED'in emisyon spektrumu ve Schott GG420 (Mavi LED'lerin önüne kesici filtre olarak konur) ile Hoya U340 (Fotoçoğaltıcı önüne dedeksiyon için konur) filtrelerinin geçirgenlikleri [2]

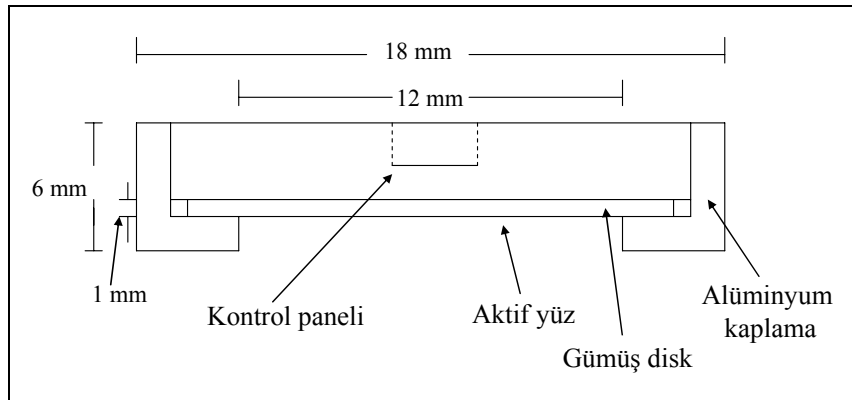
Bötter-Jensen ve ark. (1992) yaptıkları çalışmalarda mavi LED ışığının geniş band halojen lambadan farksız olarak derin tuzakları uyardığı sonucuna varmışlardır. Aynı örneklerde iki ışık kaynağını da kullanarak aynı eşdeğer dozu tespit etmişlerdir [2,12]. Mavi LED'lerin elektronik ve bilgisayar yazılımı ile kolay kontrol edilebilir olması bir avantajdır. Mavi LED'lerin ucuz olması ve istenildiği gibi dizilebilmesi ve ayrıca ısı dağılımının önemsenmeyecek kadar az olması ise diğer avantajlarıdır. Mavi LED'lerin uyarma şiddetlerinin elektronik olarak kontrol edilebilir olması ve

normalizasyon amaçlı kısa süreli aydınlatmalar için kullanılabilir olması da çok önemli bir özelliğidir.

6.4. Beta Kaynağı ve Radyasyonu

Çoğunlukla termoluminesans tekniği ile yaş tayini çalışmalarında, beta radyasyonu için kullanılan kaynak $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ olup, yarı ömrü 28 yıldır. Stronsiyum-90, maksimum enerjisi 2,26 MeV olan beta yayınlayarak Yttrium-90'a (yarı ömrü 64 saat) dönüşen ürün çekirdektir. Beta kaynağı, radyoizotop bileşiğin 1mm kalınlıkta gümüş bir diskle kaplandığı, onun ön yüzüne 0,1 mm gümüş perde çekildiği ve ince bir altın veya Palladium tabaka tarafından korozyona karşı korunumlu olan madeni bir amplifikatördür. Kullanılan standart kaynak 12 mm çaplı aktif bir alana ve 1,5 GBq (40 milicurie)'li bir aktifliğe sahiptir ve tipik olarak bu kaynak numune üzerinde 16 mm'lik bir mesafede bulunur (Şekil 3.9).

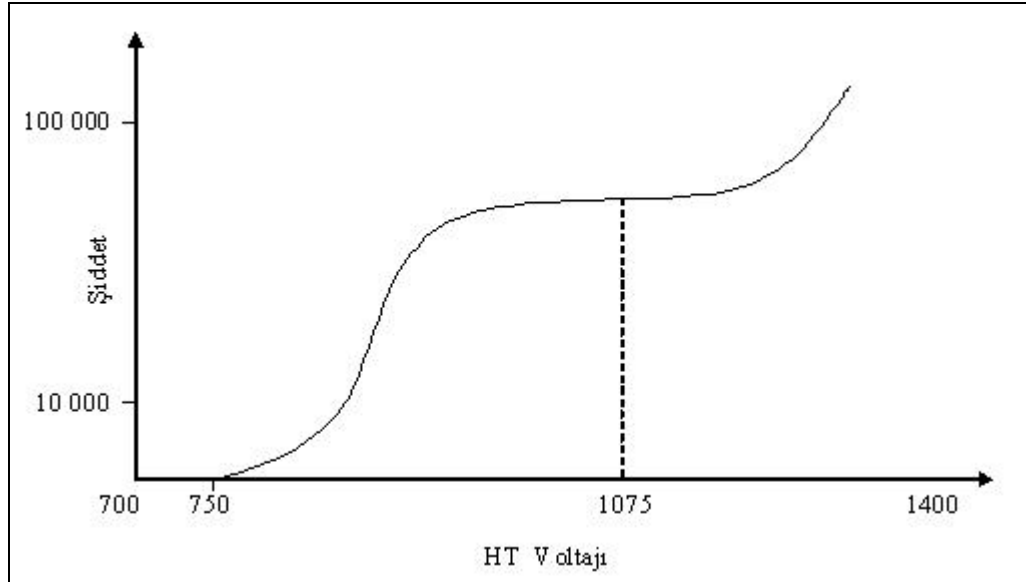
Bir kaynak tarafından salınan 28 yıl yarı ömürlü stronsiyum-90'nın belirlenen doz hızı her yıl %2,48 kadar azalır. Bu yüzden her altı ayda bir düzeltme yapılmalıdır [69]. Tabletlere laboratuvar dozu vermek için kullanılan $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ β -kaynağının doz hızı 34 mGy/s 'dir.



Şekil 6.6. Stronsiyum-90 beta kaynağı [69]

6.5. OSL 9010 Sayma Sisteminin Kalibrasyonu

OSL 9010 sisteminde, foton sayımı için kullanılan fotoçoğaltıcının hassasiyeti uygulanan voltajla orantılıdır. Genelde daha fazla voltaj daha fazla hassasiyet demektir. Ancak voltaj çok fazla verilirse taban sayımı gürültüsü artacağından bir eşik değeri tespiti yapılır. Fotoçoğaltıcının altına yerleştirilen kararlı bir ışık kaynağı ile kalibrasyon yapılır. Fotoçoğaltıcı tüpün üst kısmındaki eşik değeri kontrol potansiyometresi ~3 veya 4'e ayarlanır. Bu çalışmada kontrol potansiyometresinin 0,3 değerinde istenilen grafik daha sağlıklı çıkmıştır. H.T. (High Treshold) voltajı 25 V aralıklarla 700–1400 V aralığında değiştirilerek ışık kaynağının şiddeti tespit edilir. Işık kaynağı numune tutucu ile fotoçoğaltıcının altına gelecek şekilde yerleştirilir. 100 saniye periyotlarla 10 kez sayım alınır. Ölçülen ışık şiddetinin H.T.'ye göre grafiği çizilir. Şekil 6.7 benzer bir grafiği göstermektedir. Grafikte görülen eğrinin plato bölgesinin ortası, uygulanacak voltajın en uygun değeridir. Bu grafiğe göre uygulanması gereken doğru voltajın 1075 V olması gerektiği görülmektedir.



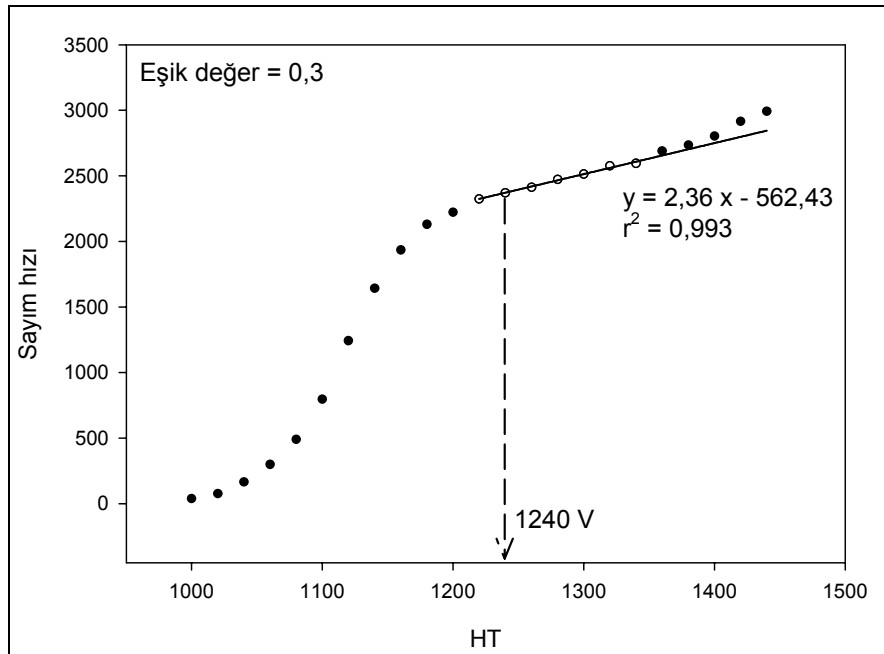
Şekil 6.7. OSL 9010 sisteminde önerilen tipik H.T. eğrisi ve değeri

Bu çalışmada deneye başlamadan önce yaptığımız kalibrasyon işleminde en uygun H.T. voltajı için bulduğumuz değeri gösteren grafik Şekil 6.8'de verilmiştir.

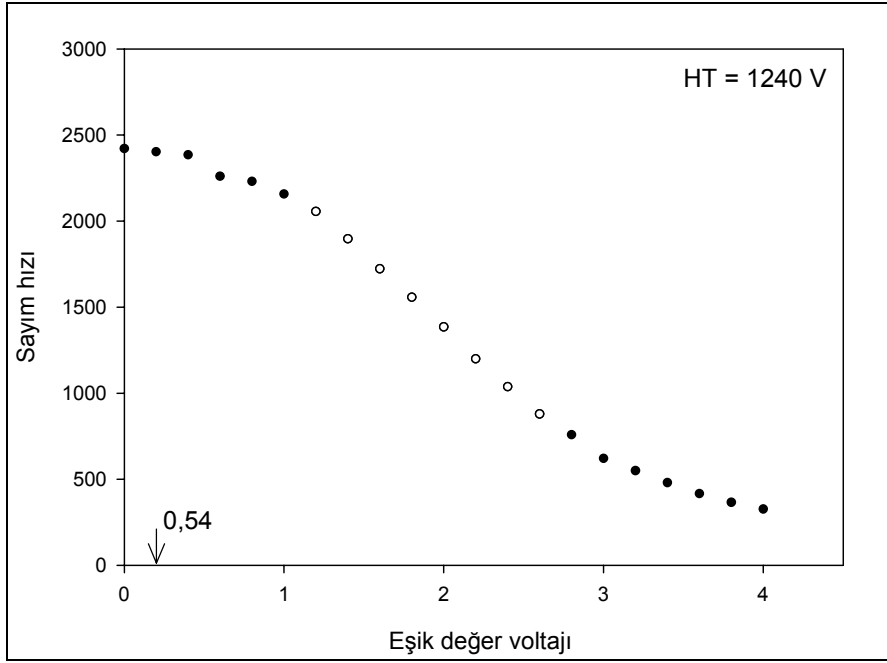
Kalibrasyon işlemi sırasında eşik değeri 4'den başlayarak 0,5 değer aralıklarıyla 0,5 değerine kadar tekrarlanmıştır ve daha sonra 0,1 birimlik azaltma ile en uygun plato eşik değeri 0,3 değerinde gözlenmiştir. Yüksek voltaj değerlerinden kaçınmak için belirlenen HT voltaj değeri 1240 V olarak alınmıştır.

Fotoçoğaltıcının lüminesans sayımını olumsuz etkileyebilecek düşük seviyeli sayımları almaması için ön yükselticinin de eşik değerinin ayarlanması gerekir. Eşik değeri gürültüyü mümkün olduğu kadar azaltacak değerde olmalıdır, ancak küçük ama gerçek pulsları da kaybetmemelidir.

Kalibrasyon ışık kaynağı H.T. voltajı ayarlanırken olduğu gibi yerleştirilir. H.T. voltajı 1240 V 'da sabit tutularak eşik değeri potansiyometresi 0–10 V aralığında 0,25 V aralıklarıyla değiştirilerek ışık şiddeti ölçümleri alınır. Işık şiddetinin eşik gerilimine göre grafiği çizilir. Şekil 6.9'da bu grafik görülmektedir. Alınan verilerden sayımın çok fazla değişmediği ve en yüksek olduğu nokta eşik gerilim değeri olarak belirlenir. Böylece kalibrasyon eşik değeri belirlenmiş olur. Kalibrasyon sonucu bulduğumuz ön yükselticinin eşik değeri ~0,54 V' dur.



Şekil 6.8. Fotoçoğaltıcının H.T. voltajının tespitini sağlayan kalibrasyon eğrisi



Şekil 6.9. OSL 9010 sistemindeki ön yükselticinin eşik değerini bulmak için yapılan kalibrasyon eğrisi

7. DENEYSEL İŞLEMLER VE SONUÇLAR

Giriş: Tavlama

Özellikle dozimetrik amaçlı materyallerin, daha önce radyasyona maruz kalmış olabileceği ihtimali nedeniyle sahip olabileceği bütün sinyalin kullanılmadan önce silinmesi gerekmektedir. Yani, materyal radyasyondan önceki ilk durumuna geri döndürülmelidir. Bu işlemle aynı zamanda tuzak yapısının kararlılığı amaçlanmaktadır. Özellikle dozimetrik materyaller olmak üzere OSL’de kullanılan bütün materyaller, yapılacak işlemlere hazırlanmak amacıyla termal uygulamalara tabi tutulur. Genellikle bu işlemler *tavlama* olarak adlandırılır ve bir fırın veya ocak ile yapılır. Tavlama sıcaklığı materyallere göre değiştiği için kullanılan her materyal için ön bir belirleme yapılmalıdır. Bu işlem belli bir zaman aralığında belli bir sıcaklıkta bekletme ile gerçekleştirilir ve daha sonra materyal oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Termal geçmişin kullanılan materyalin performansı için çok önemli olduğu unutulmamalıdır. Termal tavlama işlemi normalde üç kısma ayrılır [62]:

Başlangıç işlemi: Yeni veya çok uzun süre kullanılmayan materyaller için uygulanır. Bu işlemin amacı tuzak seviyelerini kararlı hale getirmektir. Böylece tekrar kullanım esnasında taban sayım (background) ve duyarlılık her tekrarda göz önüne alınmış olur. Genelde başlangıç tavlamasının süresi ve sıcaklığı standart tavlamanınki ile aynıdır.

Standart tavlama veya silme işlemi: Radyasyon öncesi tavlama veya okuma sonrası tavlama olarak da adlandırılır. Bu işlem materyal okunduktan sonra arta kalan sinyali silmek için kullanılır. Yeni bir ölçüm için materyali tekrar kullanmadan önce yapılması gerekir. Bu termal işlemin amacı başlangıç işleminden sonra elde edilen tuzak ve tekrar-birleşme merkezlerinin düzenini geri oluşturmaktır. Bu işlem materyale göre tek bir işlemi veya farklı sıcaklıkların olduğu birden fazla termal işlemleri içerebilir.

Radyasyon sonrası veya okuma öncesi tavlama: Bu işlem ön-ısıtma sıcaklığı olarak da adlandırılabilir. Termal işlemin bu türü toplam sinyale katkı sağlayabilecek düşük sıcaklık etkilerini silmek için kullanılır. Özellikle eşdeğer doz belirlemede herhangi bir hatadan sakınmak için düşük sıcaklık etkisi ile oluşan sinyalleri okuma işlemine dahil etmemek gerekir [62].

Dozimetrik materyallerde tavlamadan sonra soğutma hızının tekrarlanabilmesi ve değeri oldukça önemlidir. Hızlı soğutma, lüminesans duyarlılığını arttırabilir. Tavlamadan hemen sonra materyal doğrudan soğuk bir metal blok üzerine yerleştirilerek hızlı soğutma gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada oda sıcaklığında yavaş soğutma yapılmıştır.

7.1. IRSL Deneyleri-1

NaCl ve KCl Tabletlerinin hazırlanması

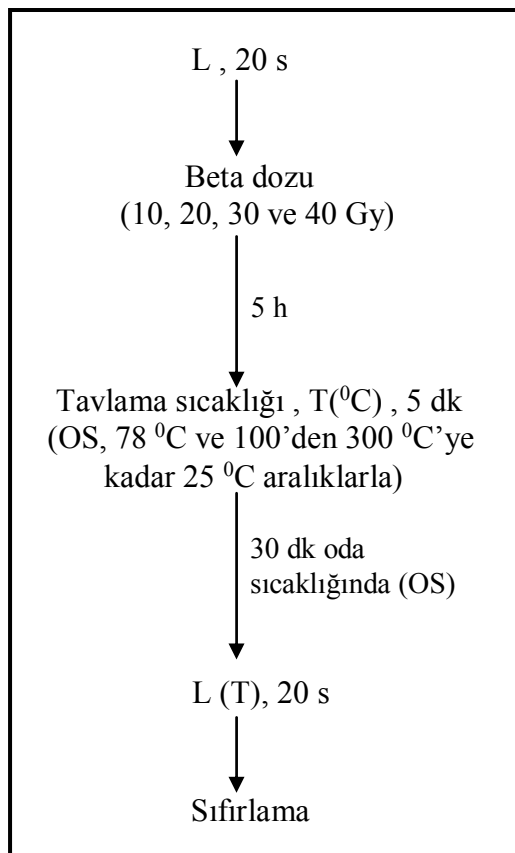
Çalışmanın bu kısmında kullanılan numuneler Carlo Erba marka %99,5 saflıktaki NaCl ve %99 saflıktaki KCl materyalleridir. Bu materyallerden 1g alınıp agat havanda yeterince ezildikten sonra alüminyum disklerin üzerine eşit kütlede (~0,01g) olacak şekilde yerleştirilerek tabletler oluşturulmuştur. Materyaller diskin üzerine yerleştirilmeden önce deneysel işlemler sırasında kütle kaybı olmaması için alüminyum disk üzerine ince bir film tabakası halinde parafin yağı sürülmüştür. Bu şekilde kullanılan parafin yağı hem lüminesansa katkı sağlamaz hem de lüminesansı perdeleyecek etki göstermez. Bu şekilde hazırlanan tabletlerin yüzeylerinin düzgün olmasına ve kütlelerin eşit olmasına özellikle dikkat edilmiştir.

Deneysel işlemler

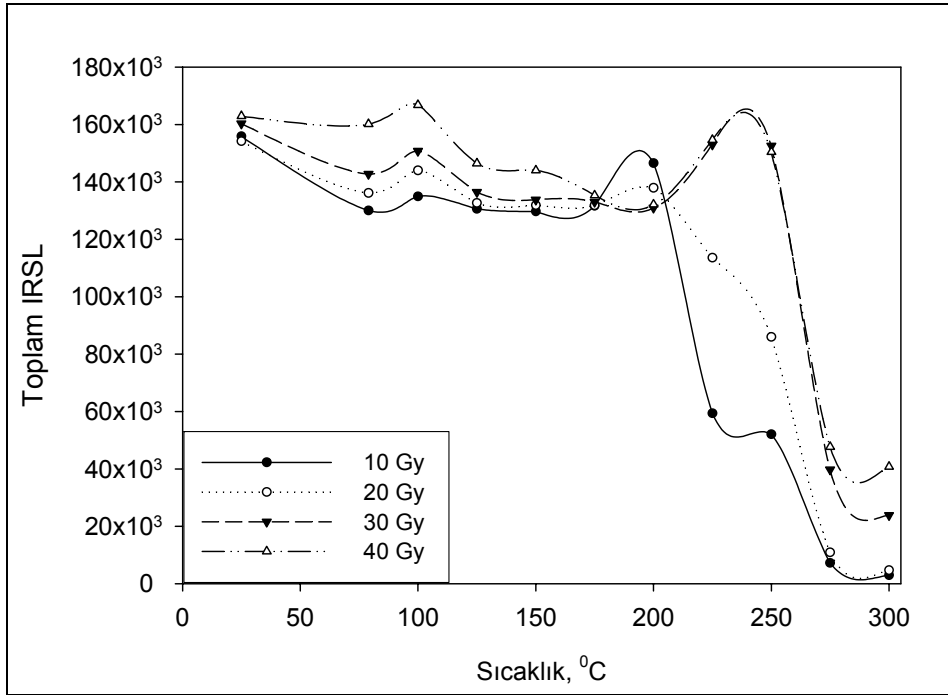
NaCl ve KCl materyallerinden hazırlanan tabletlerden kütlece birbirine en yakın olan 4'er tanesi seçilerek tablet tablasına yerleştirilmiştir. NaCl ve KCl gibi ticari materyallerin doğal lüminesansı yoktur. Bu nedenle ön-ısıtma sıcaklığını tespit etmek için materyallere belli miktarda radyasyon dozu verilerek farklı sıcaklıklar

uygulanmış ve sonra lüminesans sayımları alınmıştır. Bu işlemde Çizelge 7.1'deki algoritma takip edilmiştir. Bu algoritma da her bir NaCl tabletine sırasıyla 10, 20, 30 ve 40 Gy beta dozu verilmiştir. Aynı kurgu KCl için de eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Her döngüde tabletlerin sıfırlanıp sıfırlanmadığı kontrol edilerek bir sonraki tavlama sıcaklığına geçilmiştir.

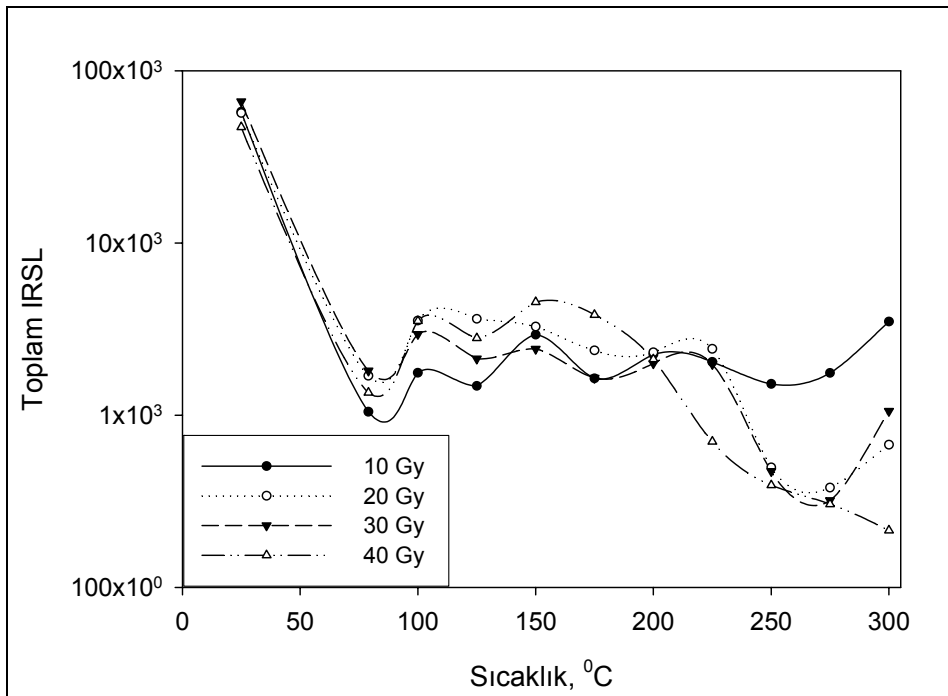
Çizelge 7.1. Ön-ısıtma sıcaklığı için algoritma



Sıcaklığının bir fonksiyonu olarak NaCl ve KCl'ün, deneysel toplam IRSL şiddetleri sırasıyla Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de gösterilmiştir. 125-200 °C aralığında NaCl tabletleri için sıcaklıkla IRSL şiddetinde (Şekil 7.1) önemli derecede sistematik artış ve azalmalar gözlenmemiştir, fakat KCl tabletleri için (Şekil 7.2) aynı sıcaklık aralığında IRSL şiddetinde önemli değişimler gözlenmiştir.



Şekil 7.1. NaCl tabletleri için toplam IRSL şiddetinin sıcaklıkla değişimi

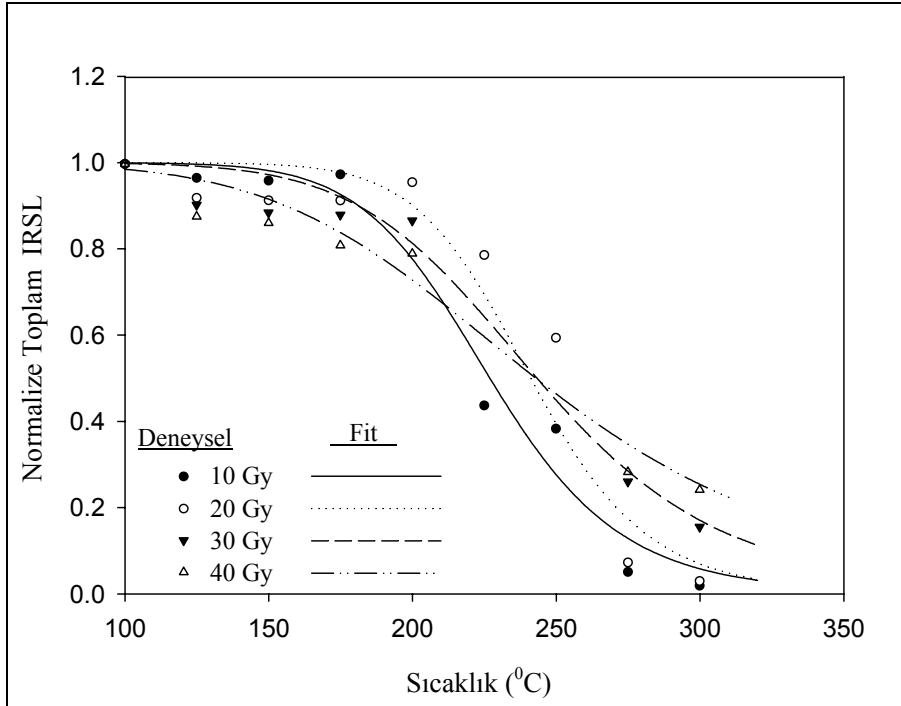


Şekil 7.2. KCl tabletleri için toplam IRSL şiddetinin sıcaklıkla değişimi

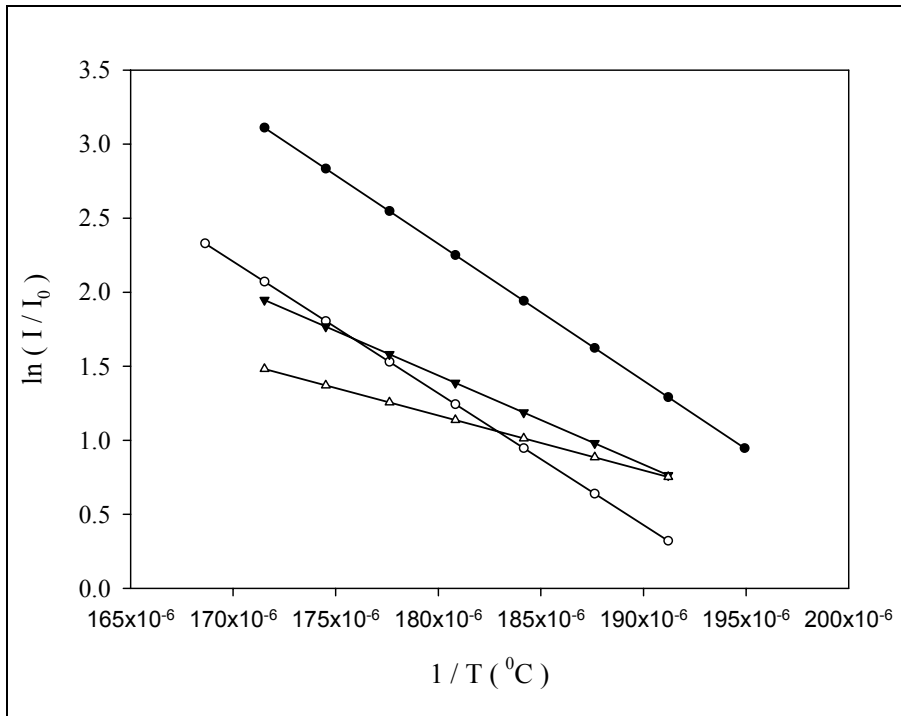
Tavlama sıcaklıkları göz önüne alındığında NaCl'ün IRSL sinyalinin KCl'den daha kararlı olduğu söylenebilir. NaCl ve KCl'ün IRSL sinyalinin termal sıfırlanma sıcaklığı 275 °C olduğu bu iki grafikten açıkça görülmektedir. 200 °C'den sonra IRSL şiddetinin azaldığı ve öncesinde bir kararlılığın söz konusu olduğu görülmüştür [70].

NaCl'den gelen OSL sinyalini Bailey ve ark. (2000) çalışmışlardır ve değişik aktivasyon enerjisini eğri-fit metodu ile 0,56 eV olarak ifade etmişlerdir. Bailey ve ark. (2000) aktivasyon enerjisini bulmak için termal sönme etkisini kullanmıştır [71]. Termal sönme işleminde, tablet düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa doğru ısıtıldıkça eş zamanlı olarak OSL sinyali alınarak bir eğri elde edilir. Bu eğri termal sönme eğrisi olarak adlandırılır ve elektronların merkezlerle tekrar-birleşmesi ile ilgili bilgi verir. Halperin (1960) ilk-artış yöntemi ile NaCl ve KCl'ün tuzak aktivasyon enerjisini sırasıyla 0,93 eV ve 0,59 eV bulmuştur. Bu çalışmada tavlama sıcaklık değeri alınarak elde edilen NaCl ile ilgili deneysel verilere eğri-fit, ik-artış ve pik-şekil metodu uygulanmıştır. Böylece NaCl'ün tuzak aktivasyon enerji elde edilmiştir. Ayrıca KCl'ün tuzak aktivasyon enerjisi eğri-fit metodu ile bulunmuştur [72].

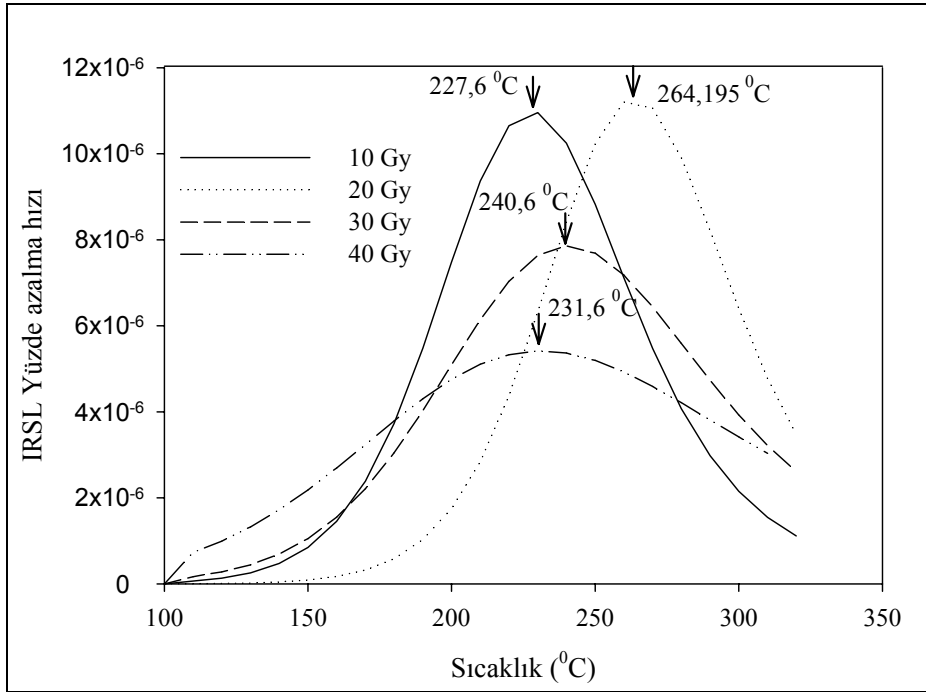
NaCl'ün aktivasyon enerjini bulmak için dozlara göre IRSL sinyalleri normalize edilmiş ve sıcaklığa göre grafiği çizilmiştir (Şekil 7.3). Daha sonra bu eğriler termal sönme eşdeğerini tanımlayan ifadeye çok iyi derecede fit edilmiştir. Şekil 7.3'den 10 ve 20 Gy'de bozunma hızının 30 ve 40 Gy'dekine göre daha fazla olduğu görülmektedir. İkinci işlemde, tuzak aktivasyon enerjisi ilk-artış metodu ile bulunmuştur. Birinci kinetiğe uyup uymadığı bakılmaksızın normalize IRSL şiddetlerinin logaritması $1/T$ ye karşı çizilmiştir [69]. Bu doğrunun eğiminden her doz için aktivasyon enerjisi bulunmuştur (Şekil 7.4). Son işlemde orijinal sinyallerin yüzdesi olarak IRSL sinyalinin azalma hızı hesaplanmış ve T' ye karşı çizilmiştir, elde edilen piklerden T_1 , T_2 ve T_m değerleri bulunmuştur (Şekil 7.5). Chen'nin uyguladığı sabitler [29] ve elde edilen T_1 , T_2 ve T_m değerleri kullanılarak aktivasyon enerjisi belirlenmiştir.



Şekil 7.3. NaCl'den alınan normalize toplam IRSL sayımlarının sıcaklıkla değişimi



Şekil 7.4. İlk-artış metoduna göre normalize IRSL şiddetlerin logaritmasının $1/T$ 'ye göre değişimi



Şekil 7.5. IRSL sinyallerinin azalma hızının sıcaklıkla değişimi

Bu üç işlem sonunda bulunan NaCl'ün aktivasyon enerjisinin dozlara göre değişimi Çizelge 7.2.'de verilmiştir. Çizelge 7.2.'den beta dozu arttıkça aktivasyon enerjisinin azaldığı açıkça görülmektedir. Yine tabloya bakıldığında pik-şekil metodu sonuçları ile eğri-fit sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu görülür. İlk-artış metodunda bulunan değerlerin diğer iki işlem sonucunda bulunanlardan küçük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi IRSL şiddetinin gelişim bölgesinin ölçülebilir olması için çok zayıf olmasıdır. Sunta ve ark. (1999) pik-şekil metodunda aktivasyon enerjisinin küçük değerlerinin sebebinin büyük pik genişliği olduğunu ifade etmişlerdir [73]. Doz arttıkça pik genişliği artar ve aktivasyon enerjisi azalır.

Bu işlemlerin sonucundan yararlanarak şu yargılara varılabilir: i) özellikle yüksek dozlarda NaCl için doz arttıkça aktivasyon enerjisi azalıyor, yani doza bağlı bir gelişim söz konusudur, ii) pik sıcaklığı T_m doza bağımlı olarak değişiyor, iii) IRSL tuzakları için aktivasyon enerjisi pik-şekil metodu kullanılarak belirlenebilir. NaCl'ün IRSL mekanizması basit tek tuzak modeli ile anlaşılamaz. Tuzaklanmış yüklerin konsantrasyonu dozla orantılı olduğu için tekrar tuzaklanma olasılığı doz

arttıkça artar. Artan dozla azalan aktivasyon enerjisinin sebebi, tekrar tuzaklanma olasılığının tekrar-birleşme olasılığından daha büyük olmasıdır.

Çizelge 7.2. Farklı beta dozları için eğri-fit, ilk-artış ve pik-şekil metotları kullanılarak bulunan aktivasyon enerji eşdeğerleri

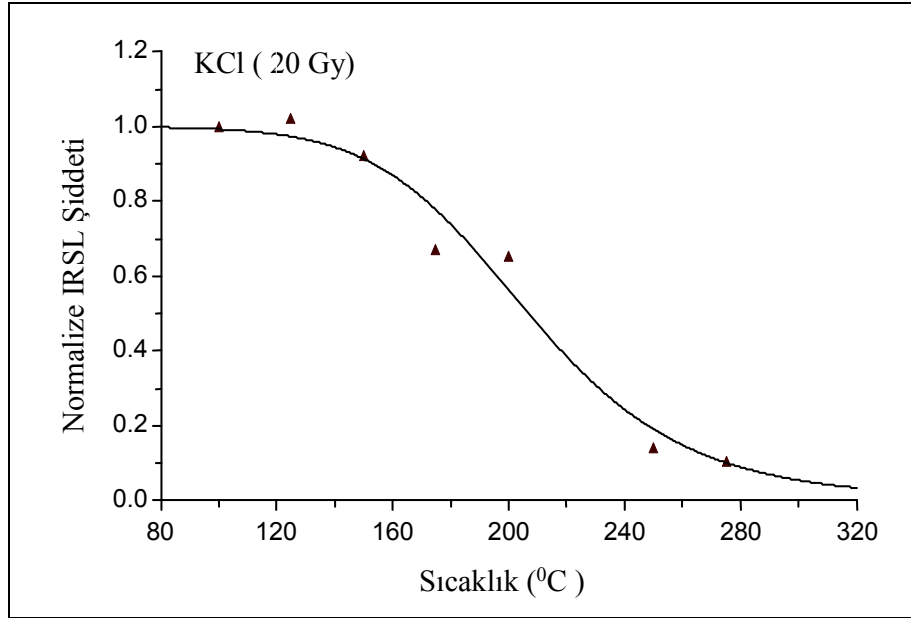
Metod	Beta Dozu (Gy)			
	10	20	30	40
Eğri-fit	$E = 0,94 \pm 0,069 \text{ eV}$	$E = 1,092 \pm 0,07 \text{ eV}$	$E = 0,71 \pm 0,063 \text{ eV}$	$E = 0,48 \pm 0,059 \text{ eV}$
	$c = 3,1 \times 10^9$	$c = 2,9 \times 10^{10}$	$c = 0,9 \times 10^7$	$c = 0,5 \times 10^5$
	$r^2 = 0,99$	$r^2 = 0,98$	$r^2 = 0,99$	$r^2 = 0,98$
Pik-Şekil (Peak- shape)	$T_m = 227,65^\circ \text{C}$	$T_m = 264,19^\circ \text{C}$	$T_m = 239,83^\circ \text{C}$	$T_m = 230,83^\circ \text{C}$
	$T_1 = 190^\circ \text{C}$	$T_1 = 226^\circ \text{C}$	$T_1 = 189,2^\circ \text{C}$	$T_1 = 148,36^\circ \text{C}$
	$T_2 = 270,55^\circ \text{C}$	$T_2 = 304,79^\circ \text{C}$	$T_2 = 300,64^\circ \text{C}$	$T_2 = 337,26^\circ \text{C}$
	$E_w = 0,90 \text{ eV}$	$E_w = 1,007 \text{ eV}$	$E_w = 0,68 \text{ eV}$	$E_w = 0,374 \text{ eV}$
	$E_s = 0,90 \text{ eV}$	$E_s = 1,021 \text{ eV}$	$E_s = 0,70 \text{ eV}$	$E_s = 0,414 \text{ eV}$
İlk-Artış (Initial- rise)	$E = 0,795 \pm 0,001 \text{ eV}$	$E = 0,765 \pm 0,007 \text{ eV}$	$E = 0,517 \pm 0,002 \text{ eV}$	$E = 0,319 \pm 0,0015 \text{ eV}$
	$r^2 = 0,99$	$r^2 = 0,98$	$r^2 = 0,99$	$r^2 = 0,99$

Şekil 7.5’de 30 ve 40 Gy’deki pikler 10 ve 20Gy’dekilerden daha geniştir. Bu düşük aktivasyon enerjisinden dolayıdır. Aktivasyon enerjisindeki azalama eğri-fit için ~%51, pik-şekil için ~%41,5–46 ve ilk-artış metodu için ise ~%40 kadardır. Doz arttıkça IRSL mekanizmasının kinetik derecesi değişiyor olabilir [72].

20 Gy beta dozuna maruz bırakılmış KCl tableti için eğri fit yöntemi uygulanarak bulunan aktivasyon enerjisi 0,65 eV’dir (Şekil 7.6) [70]. IRSL sinyallerinin NaCl için 275 °C’nin üzerinde ve KCl için ise 250 °C’nin üzerindeki sıcaklıkta güçlü bir kayba uğradığı gözlenmektedir.

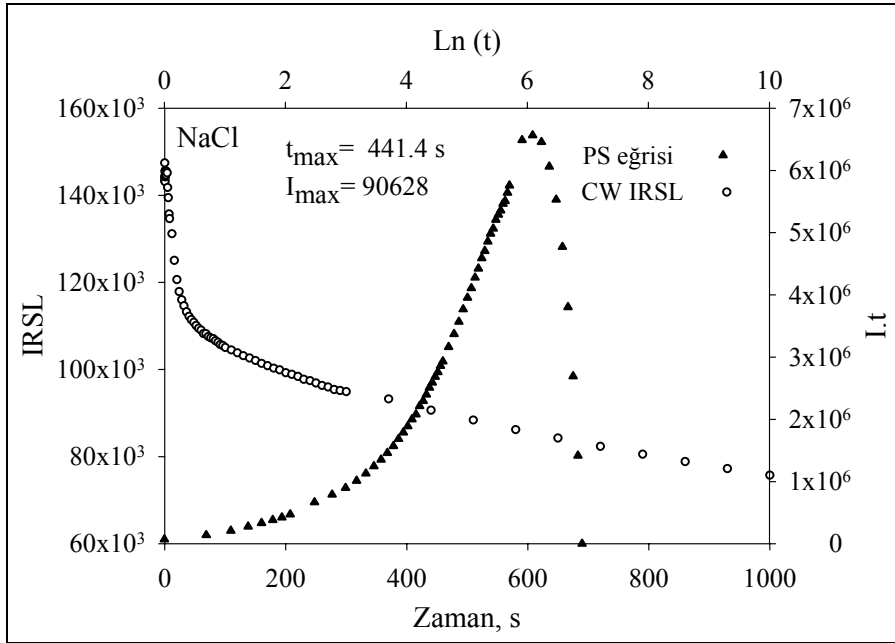
10 Gy beta radyasyona maruz bırakılmış ve 180 °C’de 5 dk ön ısıtma yapılmış NaCl ve KCl tabletleri oda sıcaklığında 1000 s’ye sayılarak IRSL bozunma eğrileri elde edilmiştir. Bozunma eğrileri, lüminesans şiddetinin zamanla çarpılmış ($I \times t$) halinin $\ln t$ ’ye göre grafiği çizilerek TL pikine benzer bir pik haline dönüştürülmüştür (Şekil

7.7 ve 7.8). Bozunma eğrilerinin pik şekil (Peak-Shape, PS) eğrisi ilk defa Kirsh ve Chen (1991) tarafından uygulanmıştır [74].

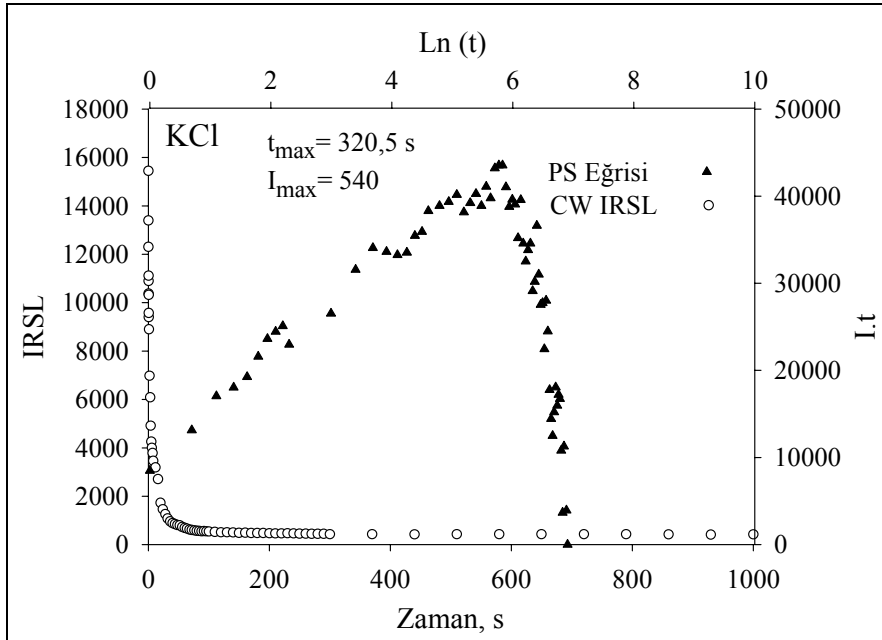


Şekil 7.6. KCl’den alınan normalize toplam IRSL sayımlarının sıcaklıkla değişimi

NaCl ve KCl için t_{mak} ve I_{mak} değerleri sırasıyla $t_{mak} = 441,4s$, $I_{mak} = 90628$ ve $t_{mak} = 320,5s$, $I_{mak} = 540$ elde edilmiştir. Şeki 7.7 ve 7.8’den görüldüğü gibi iki materyal de benzer davranışlar göstermektedir. Ancak, NaCl’den elde edilen IRSL şiddeti KCl’den elde edilenden daha büyüktür. KCl’ün PS eğrisinin pik maksimumu NaCl’ünkünden daha kısa sürede oluşur. Bu KCl’ün lüminesans bozunumunun NaCl’den daha hızlı olduğunu gösterir. Aynı zamanda NaCl’den elde edilen PS eğrisinin genliği KCl’den daha büyüktür. Bu ise NaCl’ün lüminesans veriminin KCl’den daha yüksek olmasının bir sonucudur. NaCl, KCl’e göre daha kararlı ve daha yüksek optik duyarlılığa sahiptir.



Şekil 7.7. 10 Gy beta dozuna maruz bırakılmış NaCl tabletinden elde edilen CW-OSL ve PS lüminesans eğrileri



Şekil 7.8. 10 Gy beta dozuna maruz bırakılmış KCl tabletinden elde edilen CW-OSL ve PS lüminesans eğrileri

7.2. IRSL Deneyleri-2

NaCl Tabletlerinin hazırlanması

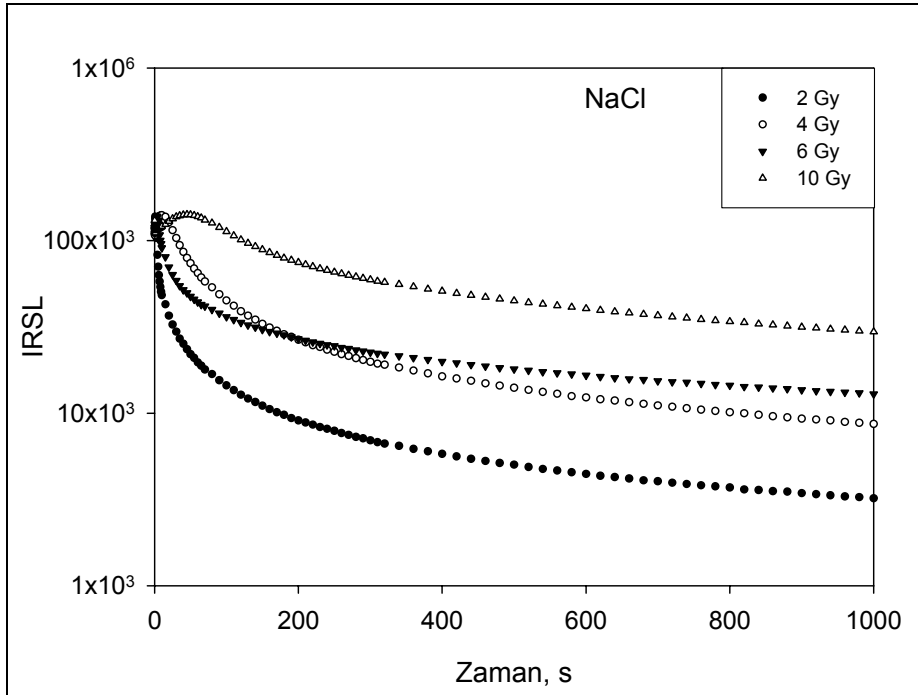
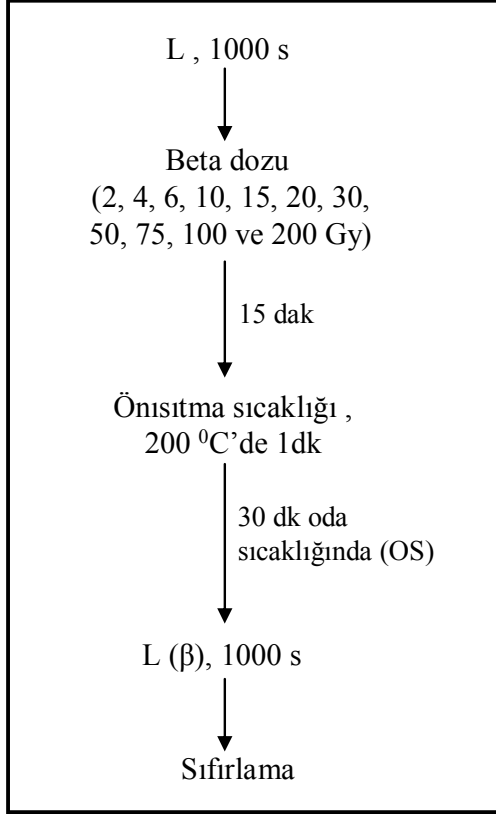
Çalışmanın bu kısmında kullanılan numuneler %99,99 saflıktaki Merck marka NaCl materyalidir. 1g NaCl agat havanda ezilerek $\sim 5 \pm 0,5 \text{ mg}$ 'ı hidrolik pres cihazında 10 ton basınç uygulanarak pelet haline getirilmiştir. 10 tane hazırlanan peletlerin içinden gözle görülür çatlağı olanlar ayırt edilerek sadece 4 pelet göz önüne alınmıştır. Bunlardan ikisi neredeyse şeffaf bir görüntü sergilerken diğer ikisinde karışık bir şeffaf dağılım gözlenmiştir. Bu karışık şeffaf dağılım pelet hazırlanırken hidrolik pres haznesinde düzgün bir dağılım yapılamamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Deneysel işlemler

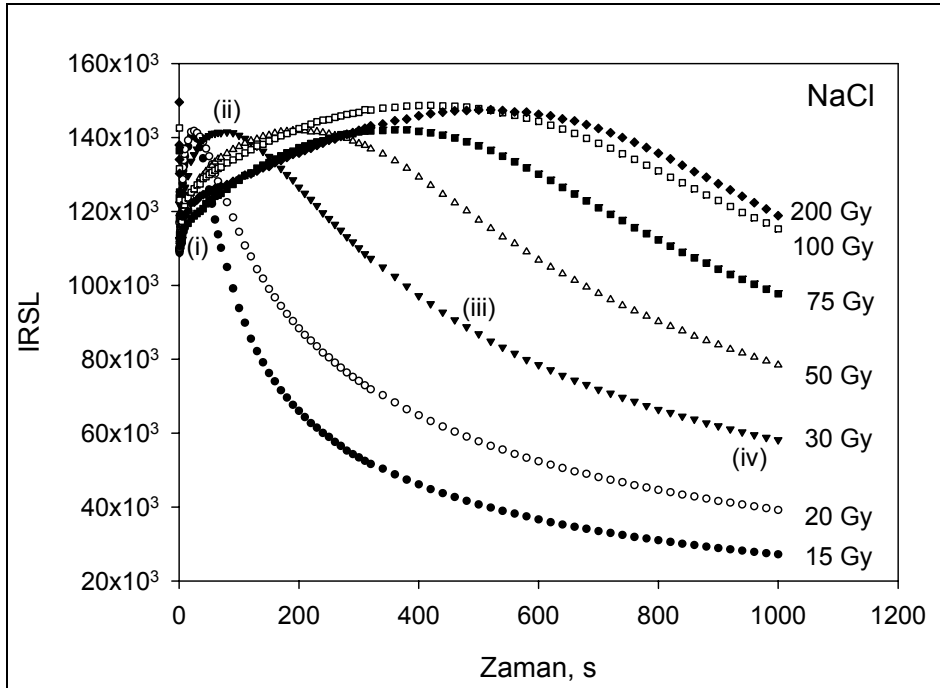
Ele alınan şeffaf tabletler tablet tutucuya aralarında 2 boşluk kalacak şekilde yerleştirilmiştir. NaCl tabletlerden birisine tek tablet ilave doz yönteminde olduğu gibi sayım/beta dozu/ön-ısıtma/sayım/sıfırlama döngüsü uygulanmıştır. Bu döngünün algoritması Çizelge 7.3.'de verilmiştir. Her döngü sonunda sıfırlama tam sağlanana kadar 100W'lık ampul veya gün ışığı altında bırakılmıştır. Bu algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen bozunma eğrileri Şekil 7.9 ve 7.10'da verilmiştir.

IRSL bozunma eğrileri beklendiği gibi üstel olmayan biçimdedir. Küçük dozlarda (2, 4 ve 6 Gy) sürekli bir azalış gözlenirken yüksek dozlarda ($\geq 10 \text{ Gy}$) IRSL şiddetinde ilk önce bir artış gözlenmektedir. Bozunma eğrilerinde maksimum şiddet değişmezken, doz arttıkça pik biçimli bir dağılım büyümektedir. NaCl'den elde edilen bozunma eğrileri yüksek dozlar için dört kısma ayrılabilir; i) maksimum şiddete kadar bir artış, ii) maksimum sayımdaki pik bölgesi, iii) IRSL şiddetinin azaldığı üstel olmayan bölge, iv) uzun uyarma zamanı boyunca görülen kuyruk [75].

Çizelge 7.3. Doz cevap eğrisi için algoritma



Şekil 7.9. NaCl'den elde edilen bozunma eğrileri



Şekil 7.10. NaCl'den elde edilen bozunma eğrileri

Düşük dozlarda (2, 4 ve 6 Gy) bozunma eğrisinin ilk kısmı açık olarak görülmemekle birlikte yüksek dozlarda başlangıçta bir artış gözlenmiştir. McKeever ve Chen (1997)'e göre eğer yarışıcı tuzaklar, termal olarak yarı kararlı sığ tuzaklar ise OSL şiddeti [76],

$$I_{OSL} = n_{10}p \exp(-pt) + n_2P - n_c(N_2 - n_2)A_2 \quad (7.1)$$

olur. Burada P tuzağın termal uyarılma hızıdır. Son iki terim OSL eğrisinde uzun ömürlü sıcaklığa bağlı bir kuyruk oluşturur. Bu ifadede, başlangıç artışını daha uzun zamanlarda bir azalma takip edecektir. Bu model yüksek dozlarda NaCl'ün IRSL bozunma eğrilerinde gözlenen başlangıç artışının sebebini açıklayabilir. Düşük dozlarda artış gözlenmemesine rağmen doz artışı ile sığ tuzak konsantrasyonu artacağı için pik bölgesinin (ii. kısım) biçimi bozularak genişler. Sonuç olarak NaCl'ün bozunma eğrisi doz bağımlıdır.

NaCl'ün IRSL bozunma eğrilerinin maksimum şiddetten sonra azalması (iii. kısım) Bailey ve ark. (1997) [18] tarafından yapılan çalışma hesaba katılarak açıklanabilir.

IR ışığı ile uyarma, başlangıçta tek yük salınım hızına sahip tek tip tuzakdan yük salınımına sebep olur. Bu durumda birinci dereceden olmayan etkiler (yani, tekrar tuzaklanma) IRSL'nin üstel olmayan eğrisinden sorumlu sayılabilir.

Doz arttıkça eğri basit bir üstel fonksiyona hatta lineer bir azalmaya yaklaşmaktadır (iii. kısım). Buradan maksimum şiddetten sonra bozunma eğrisinin üçüncü kısmının da doza bağlı olduğu sonucuna varılabilir.

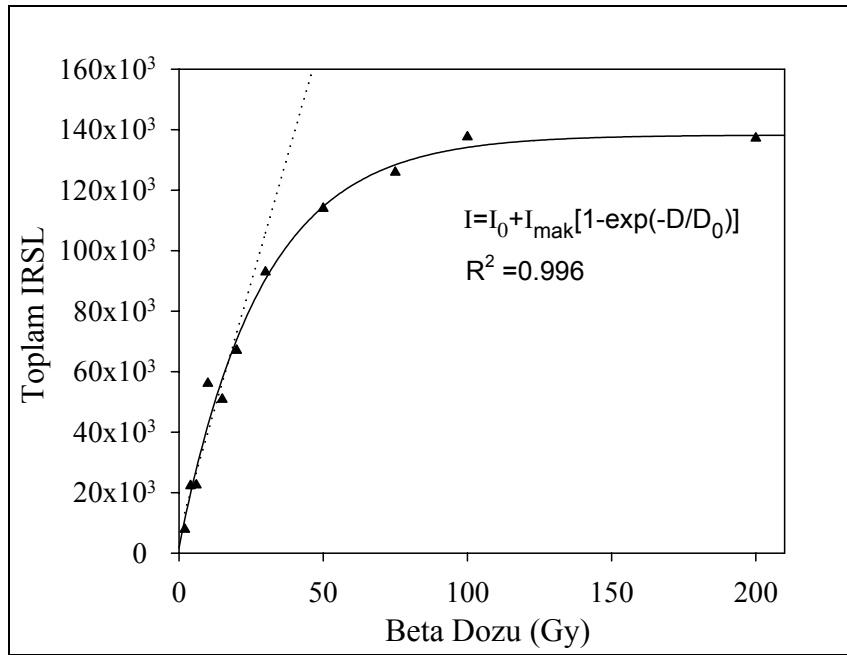
Eğrinin dördüncü parçası uzun uyarma zamanlarında uzayan bir kuyruktur. Bu duruma literatürde ifade edildiği gibi sık tuzakların etkisi sebep olabilir. Yüksek dozlar için çizilen bozunma eğrileri düşük dozlardakinden daha uzun kuyruğa sahiptir. Poolton ve ark. (1995) tarafından donör-akseptör ($d-a$) tekrar-birleşmesinin ilk başta artan bir sinyal oluşturabileceği ve daha sonra lüminesans devam ettikçe azalacağı ifade edilmiştir. Buna $d-a$ 'nın daha küçük konsantrasyonları için ortalama $d-a$ mesafesinde bir artışın sebep olabileceği yorumu yapılabilir. Şekil 7.10'dan ortalama $d-a$ mesafesinin doz arttıkça ($\geq 10 \text{ Gy}$) arttığı görülebilir, yani $d-a$ yeniden birleşme konsantrasyonu NaCl'ün aldığı doza bağlı olmalıdır. Aynı zamanda $d-a$ yeniden birleşme mekanizması başlangıç artış sinyaline ve daha sonra doz arttıkça pik biçiminin bozulmasına sebep olabilir. Böylece bu mekanizma da doz bağımlıdır.

IRSL sinyalinin doz cevabı

OSL tekniği temel olarak doz bağımlıdır. Tarihlendirme veya dozimetri çalışmaları için doz-cevap eğrisinin (doz gelişim eğrisi) elde edilmesi önemli bir ölçümdür. NaCl'ün IRSL ölçümleri oda sıcaklığında 1000s'de alınmıştır ve bu sayımlardan oluşturulan doz-cevap eğrisi Şekil 7.11'de verilmiştir.

Artan dozla toplam IRSL şiddetinde artış olduğu görülür. Düşük dozlarda doz bağımlılığı lineer iken yüksek dozlarda doyuma ulaşmaktadır. NaCl'ün IRSL doz cevabı yaklaşık 50 Gy ve üzerinde doyuma ulaşmakta olduğu Şekil 7.11'den görülmektedir. Bu işlem sonucunda elde edilen deneysel veriler Roberts ve ark.

(1994) tarafından ileri sürülen $I = I_0 + I_{mak} [1 - \exp(-D/D_0)]$ eşitliğine fit edilmiştir. Bu genel eşitlik lüminesans sinyalinin (I) dozla (D) büyümesini tanımlar [77]. Burada I_{mak} doyum şiddeti ve D_0 doz cevap eğrisinin karakteristik doz seviyesidir. Bu eşitlikten $I_0 = 1777$, $I_{mak} = 136435$ ve $D_0 = 28,5 \text{ Gy}$ bulunmuştur. Böyle bir eşitliğin fiziksel temeli doz arttıkça materyal içindeki tuzakların sonlu sayıda doldurulmasıdır. NaCl’de tuzaklanan yüklerin maksimum miktarı dozla değişmez. Sınırlı sayıda tuzaktan dolayı lüminesans sinyalinin şiddeti için bir üst sınır vardır. 50Gy ve üstündeki dozlarda NaCl’den elde edilen doz cevabı doyuma ulaştığı için yüksek dozlarda dozimetrik amaçlı kullanılamaz. Fakat NaCl’ün yüksek optik duyarlı olması düşük doz ölçümlerinde bir avantaj sağlar.

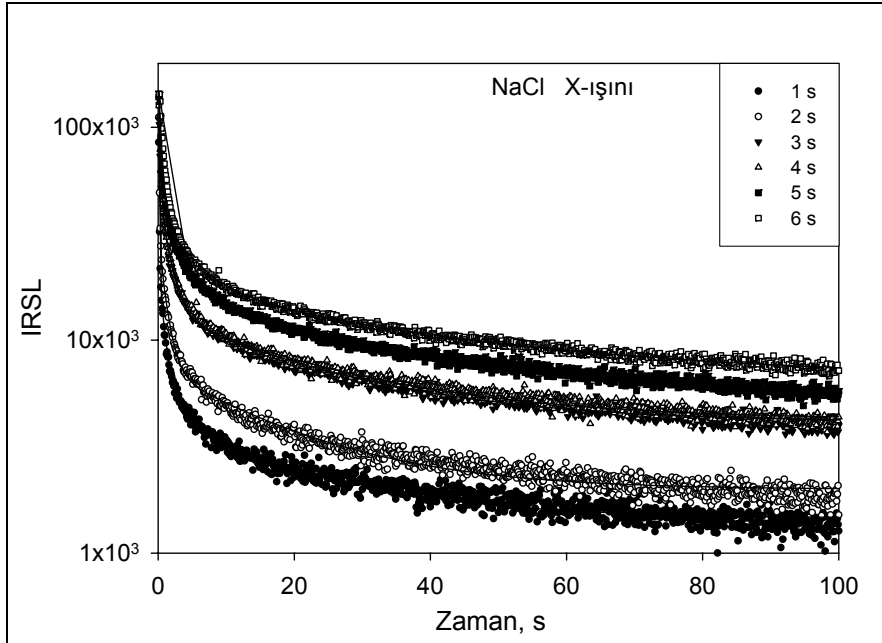


Şekil 7.11. Tek tablet kullanılarak NaCl’den elde edilen doz-cevap eğrisi

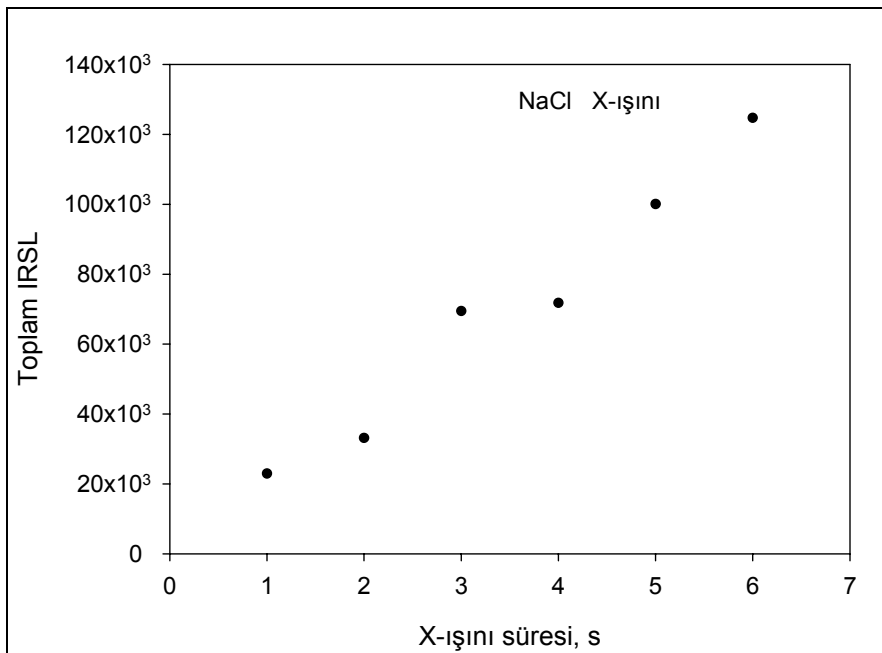
7.3. IRSL Deneyleri-3

Çalışmanın bu kısmında NaCl tableti 180mA’de saniyede 25kW güçte enerji veren x-ışını jeneratöründe sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5 ve 6s maruz bırakılmıştır. Daha sonra 100s’lik IRSL bozunma eğrileri elde edilmiştir. Bu bozunma eğrileri Şekil 7.12’de

verilmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen doz cevap eğrisi Şekil 7.13’de verilmiştir.



Şekil 7.12. Tek tablet kullanılarak x-ışınına maruz bırakılmış NaCl’den elde edilen bozunma eğrileri



Şekil 7.13. Tek tablet kullanılarak x-ışınına maruz bırakılmış NaCl’den elde edilen doz cevap eğrisi

NaCl tabletinin X-ışını radyasyonuna dozla lineer bir cevap verdiği görülmektedir. Bu doz cevap eğrisinde henüz bir doyum bölgesi görülmemektedir. X-ışını radyasyonu sonucunda elde edilen bozunma eğrilerinde beta radyasyonunda olduğu gibi başlangıçta bir artışta gözlenmemektedir. X-ışını radyasyonuna lineer bir cevap vermesi NaCl'ü bu konuda daha çok çalışılması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Çünkü x-ışını radyasyonu medikal alanda teşhis ve tedavi aracı olarak kullanılmaktadır. Bu durumda NaCl veya türevleri x-ışını kullanılan yerlerde doz kirliliğini ölçmek için kullanılabilir.

7.4. BSL Deneyleri

Tabletlerin hazırlanması

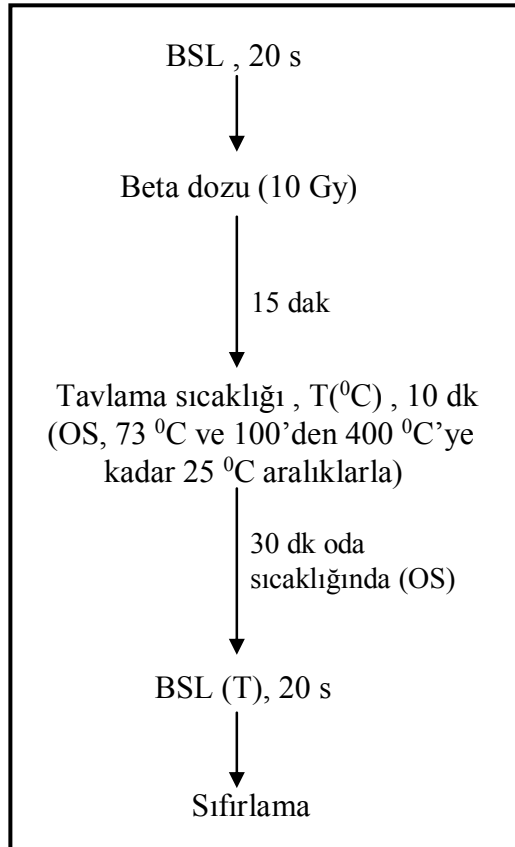
Çalışmanın bu kısmında Merck marka NaCl, KCl, RbCl, SrCl₂, MgCl₂, CaCl₂ ve BaCl₂ materyalleri kullanılmıştır. Her materyalden 1g alınarak agat havanda yeterince ezilmiş daha sonra hidrolik pres cihazı ile 10 ton basınç uygulanarak pelet haline getirilmiştir. Her materyalden yaklaşık olarak kütlesi $\sim 5 \pm 0,5 \text{ mg}$ olacak şekilde 4'er pelet hazırlanmıştır ve her grup peletten en iyi olanı göz önüne alınmıştır.

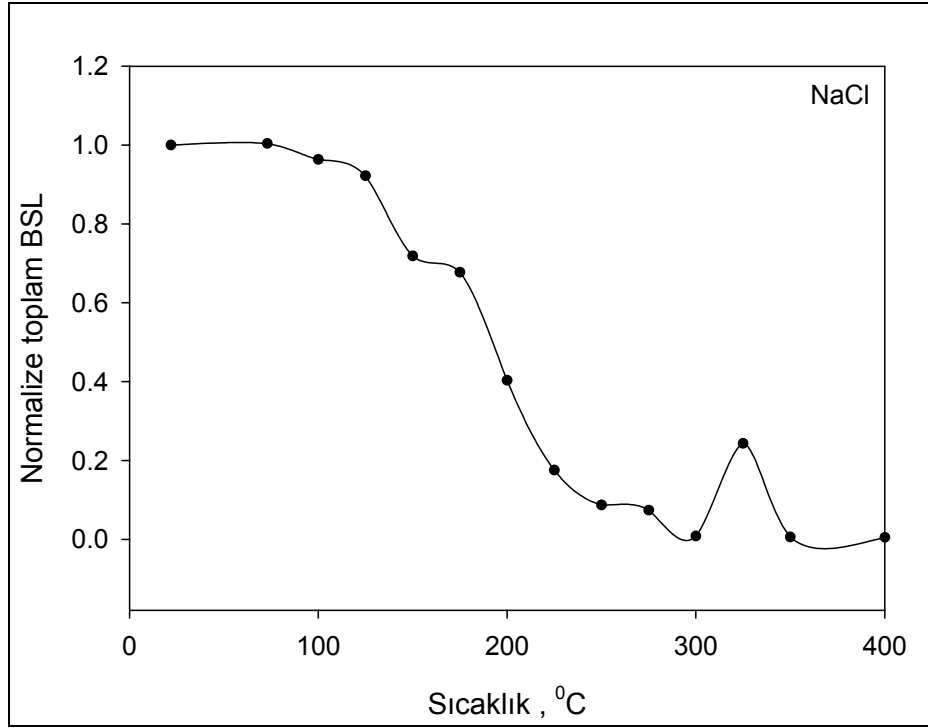
Tabletler hazırlandıktan sonra her materyalden oluşan bir dizilim oluşturulmuştur. Her materyalin taban sayımı alındıktan sonra 4 Gy beta radyasyonuna maruz bırakılmıştır. Radyasyondan sonra alınan lüminesans sayımlarının sonucunda iyi cevap veren materyallerin sırasıyla NaCl, KCl, MgCl₂, RbCl, BaCl₂ olduğu görülmüştür. SrCl₂, MgCl₂, CaCl₂'ün yüksek nem kapma özelliğinden dolayı bu peletler kısa sürede bozulmuştur. Bunun için peletler her işlem arasında fırında 80°C'de muhafaza edilmiştir. Ayrıca her pelet arasında bir boşluk olacak şekilde tablet tablasına yerleştirmiş ve peletlerin arasındaki boşluklara nem kapma özelliğiyle bilinen silika jel konulmuştur. Bu sayede peletlerin ortamdaki nemden dolayı bozulması engellenmeye çalışılmıştır.

Deneyisel işlemler-1

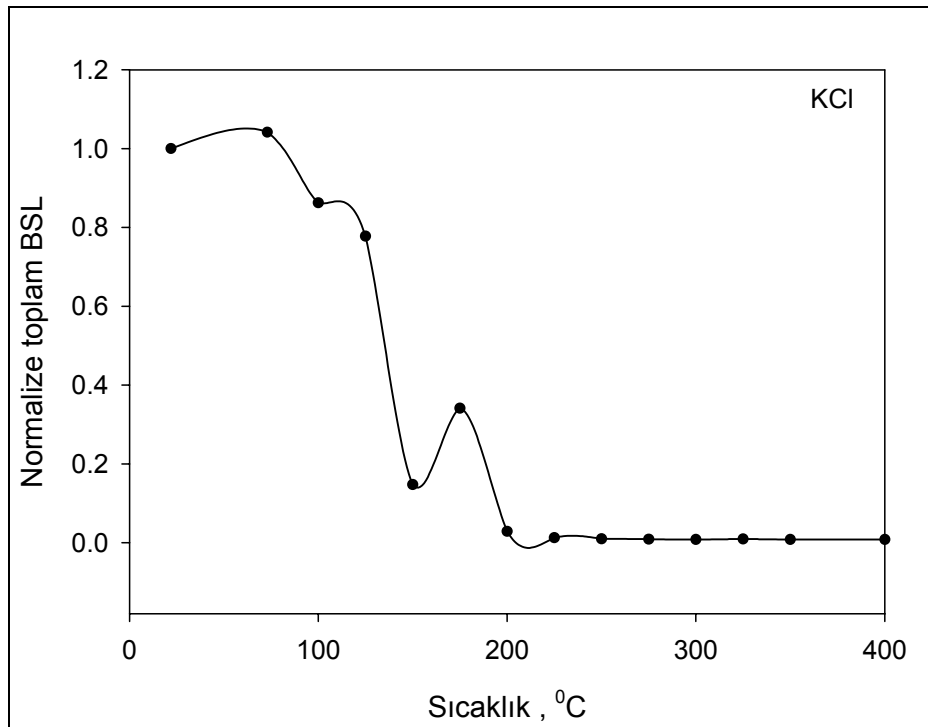
Bu kısımda her tabletin taban sayımı alındıktan sonra 10 Gy beta dozu verilmiştir. Karanlıkta oda sıcaklığında (OS) 30 dk bekletildikten sonra mavi ışık yayan diyotlar kullanılarak lüminesans sinyali (BSL) alınmıştır. Bu işlemde sayım/doz (10 Gy)/sıcaklık/sayım döngüsü uygulanmıştır. Her döngüde farklı sıcaklık uygulanmıştır. Her döngü sonunda sıfırlama, 25 W'lık gün ışığına eşdeğer lambalar altında 1 saat bekletilerek yapılmış ve lüminesans sayımı ile kontrol edilmiştir. Sıfırlama tam sağlanana kadar bu işlem tekrarlanmıştır. Sıfırlanma tam sağlanamadığı durumlarda ise sıfırlanmayan tablet 400°C'de yarım saat bırakılmıştır. Bu kısımda uygulanan deneyisel algoritma Çizelge 7.4'teki gibidir. Materyallerden elde edilen normalize toplam BSL sayımlarının sıcaklıkla değişimi Şekil 7.14-20'de verilmiştir.

Çizelge 7.4. Ön-ısıtma sıcaklığı için algoritma

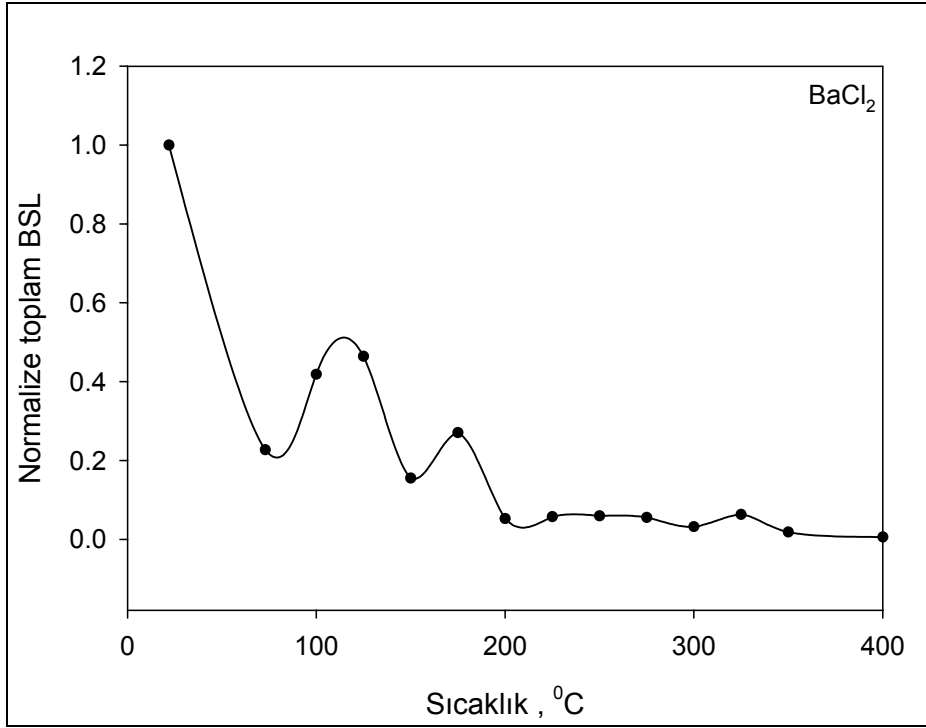




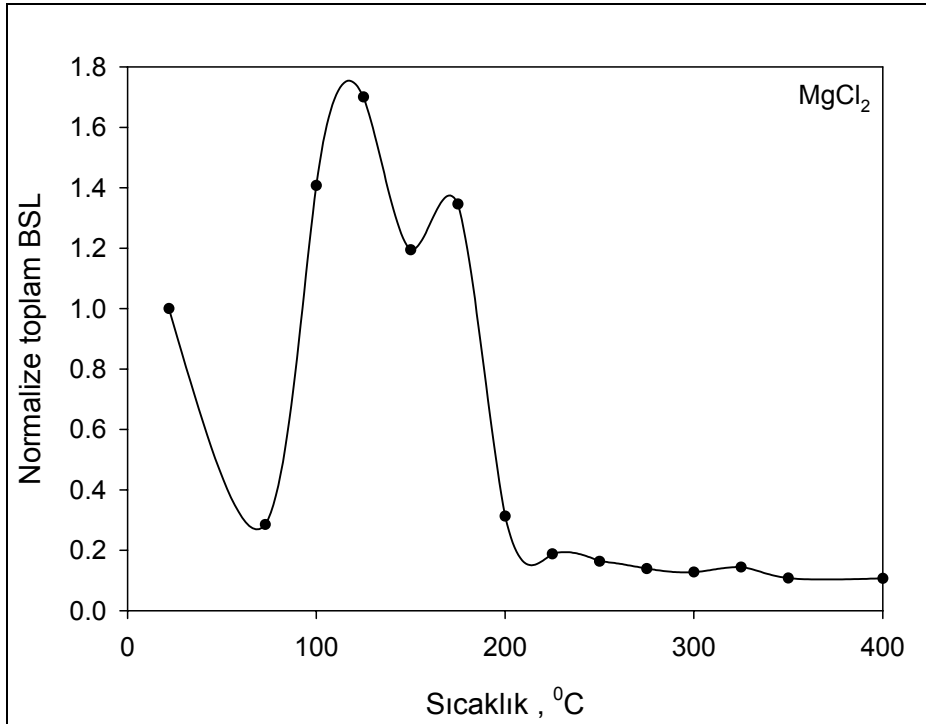
Şekil 7.14. NaCl'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi



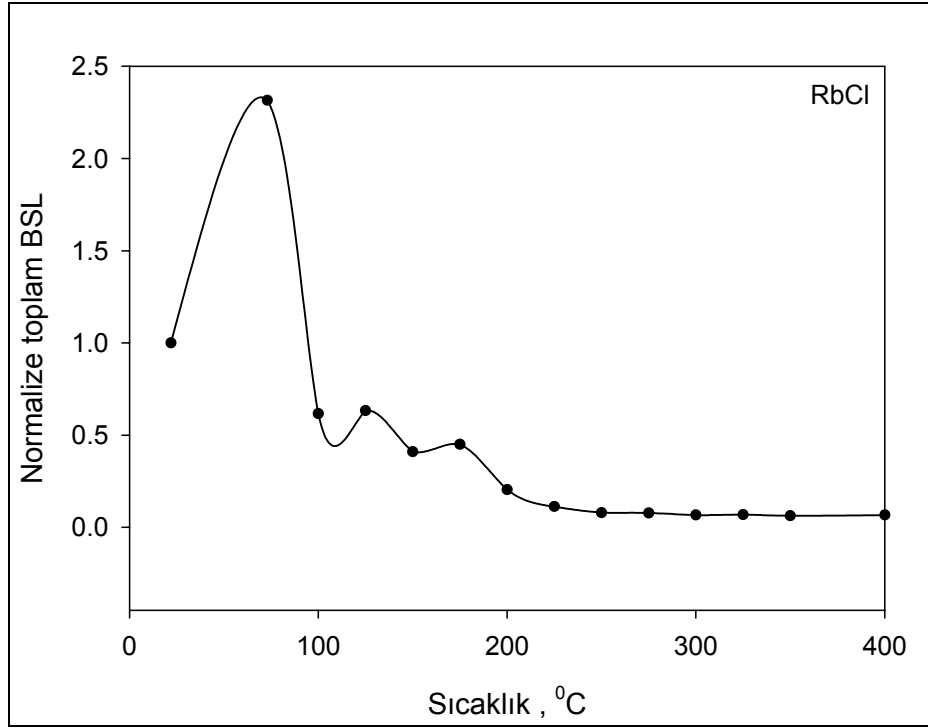
Şekil 7.15. KCl'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi



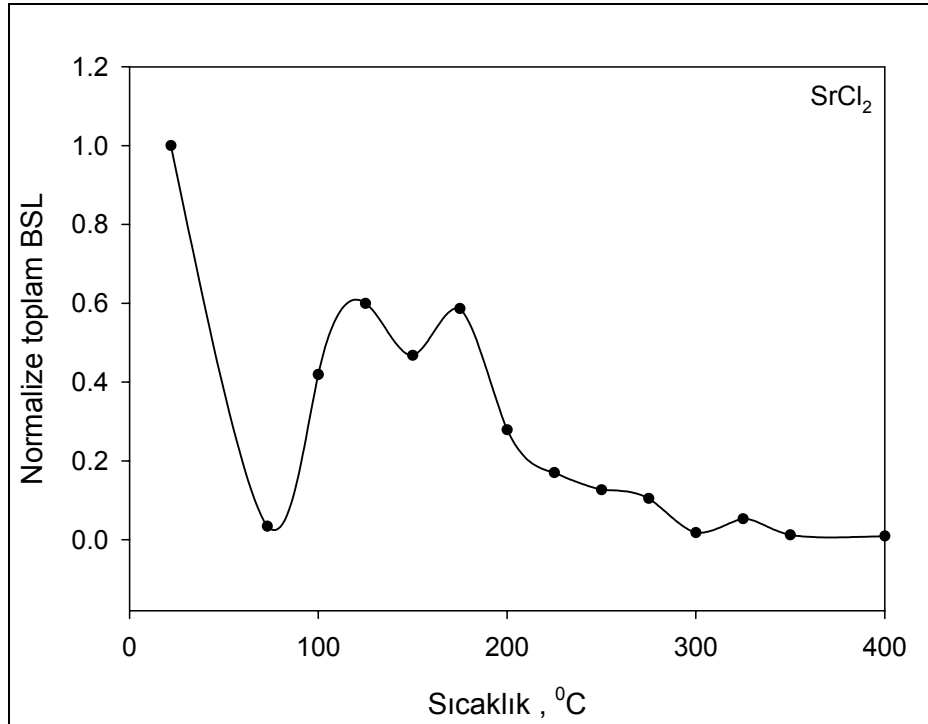
Şekil 7.16. BaCl_2 'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi



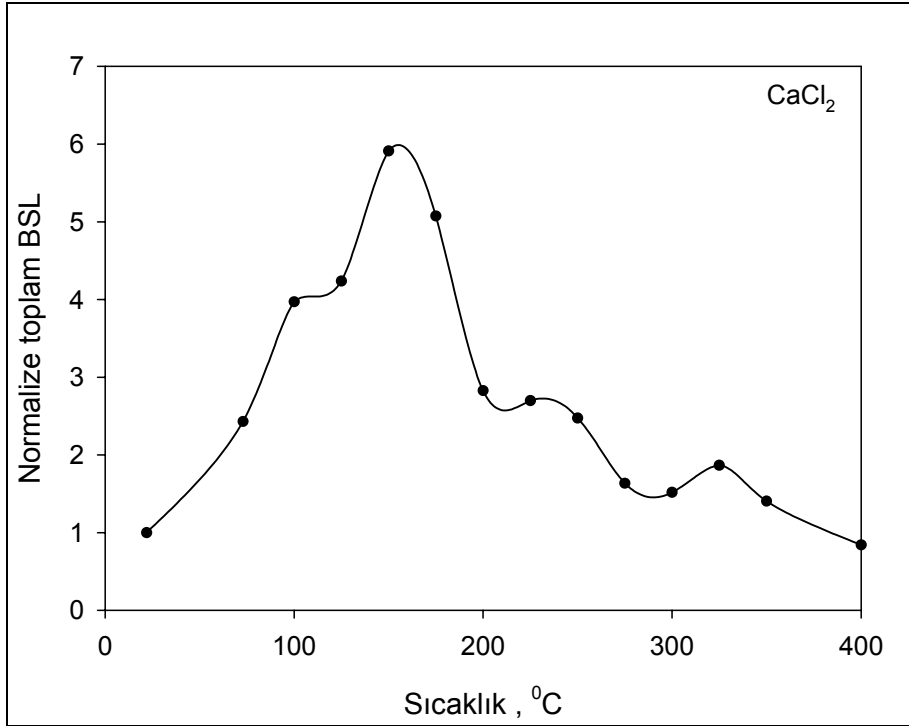
Şekil 7.17. MgCl_2 'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi



Şekil 7.18. RbCl'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi



Şekil 7.19. SrCl₂'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi



Şekil 7.20. CaCl_2 'ün normalize toplam BSL sayımının sıcaklıkla değişimi

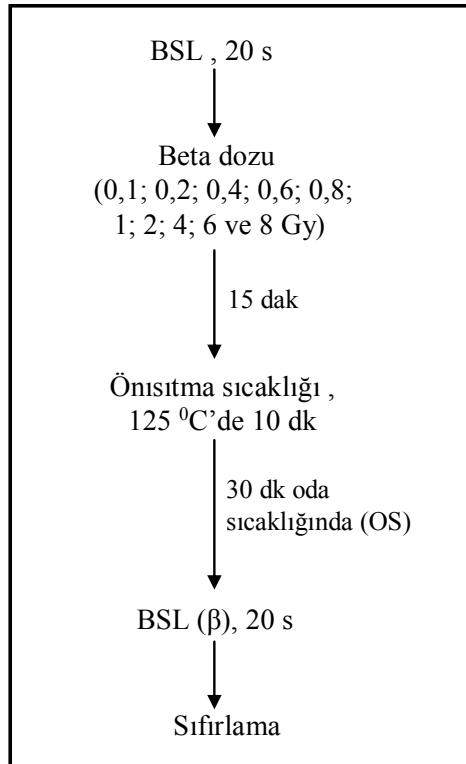
Bütün materyallerde 200°C 'den sonra keskin bir lüminesans sönümü gözlenmektedir. BaCl_2 sıcaklıkla hassasiyeti en çok değişen materyaldir. Materyaller içinde NaCl ve KCl sistematik olarak en düzenli materyallerdir. NaCl'de 125°C 'ye kadar lüminesans sinyalinde kararlılık söz konusudur. Diğer materyallerde göz önüne alınarak 125°C 'nin ön ısıtma sıcaklığı olarak kullanılmasına karar verilmiştir.

DeneySEL işlemler-2: Doz Cevabı

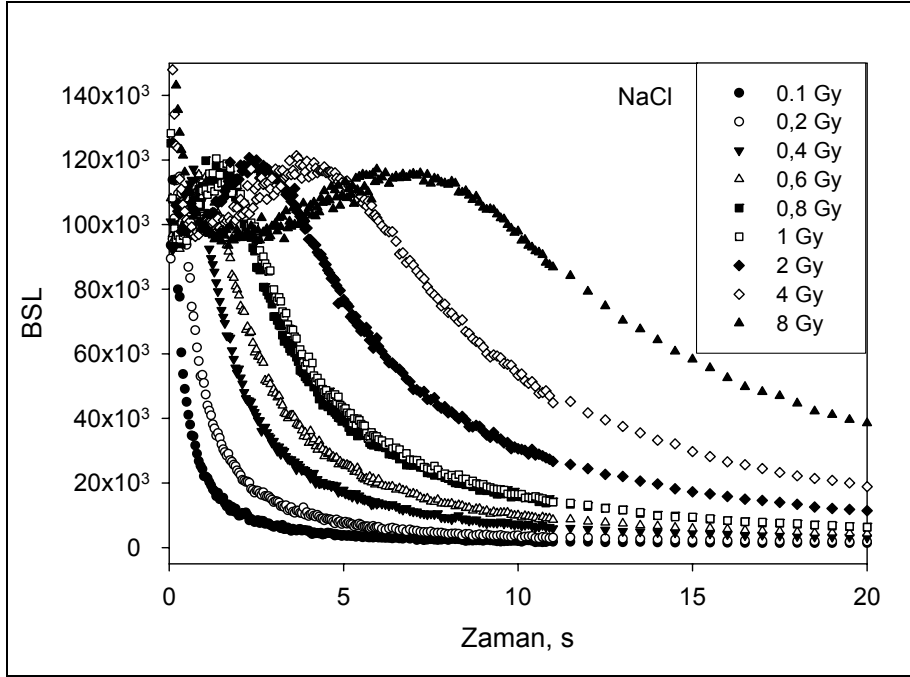
Bütün materyallere tek tablet ilave doz yönteminde olduğu gibi sayım/beta dozu/ön-ısıtma/sayım/sıfırlama döngüsü uygulanmıştır. Ön ısıtma olarak 125°C 10 dk uygulanmıştır. Bu döngünün algoritması Çizelge 7.5'te verilmiştir. Her döngü sonunda sıfırlama için 25W'lık gün ışığına eşdeğer lamba altında 1 saat bekletilmiş ve sıfırlanma tam olarak sağlanana kadar işlem tekrarlanmıştır. Sıfırlanmanın tam olarak sağlanamadığı durumlarda 400°C 'de yarım saat tavlama uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda NaCl ve Çizelge 7.5'teki algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen bozunma eğrileri Şekil 7.21'de verilmiştir. 0,1 ile 8 Gy arasındaki

beta dozlarında en belirgin bozunma eğrisini veren NaCl olmuştur. KCl ve RbCl ise 1-8 Gy arasında belirgin bir bozunum sergilemiştir. Fakat dozlar arasındaki fark yeterince ayırt edilememektedir. Bu materyallerin bozunum eğrileri Şekil 7.22 ve 7.23’de verilmiştir.

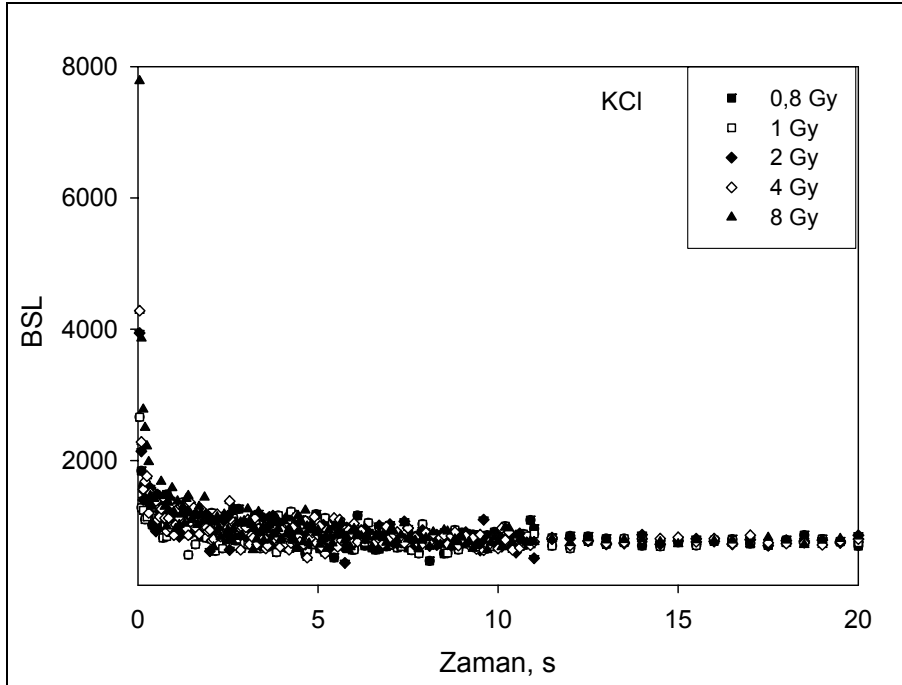
Çizelge 7.5. Doz-cevap eğrisi için algoritma



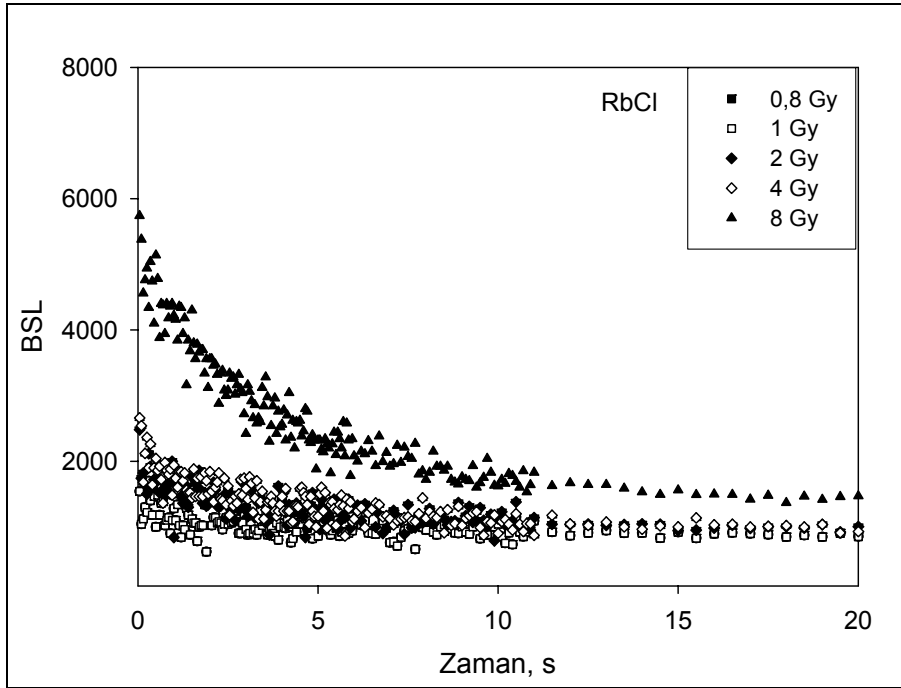
NaCl’den elde edilen toplam BSL sayımlarının beta dozuyla değişimi 1Gy’e kadar lineer iken >1Gy büyük dozlarda üstel bir ilişki sergilemektedir (Şekil 7.24). Yüksek dozlarda (>8Gy) doyuma ulaştığı görülmektedir. IRSL doz cevap eğrisinde olduğu gibi BSL sayımları, doz gelişimini tanımlayan kuadratik eşitliğe fit edilmiştir. Fit sonucunda doyum şiddeti $I_{mak} = 78990$, $I_0 = 6219$ ve doz cevap eğrisinin karakteristik doz seviyesi $D_0 = 2,62 \text{ Gy}$ bulunmuştur. NaCl’de tuzaklanan yüklerin maksimum miktarı IRSL ve BSL için değişiklik gösterirken dozla değişim göstermez.



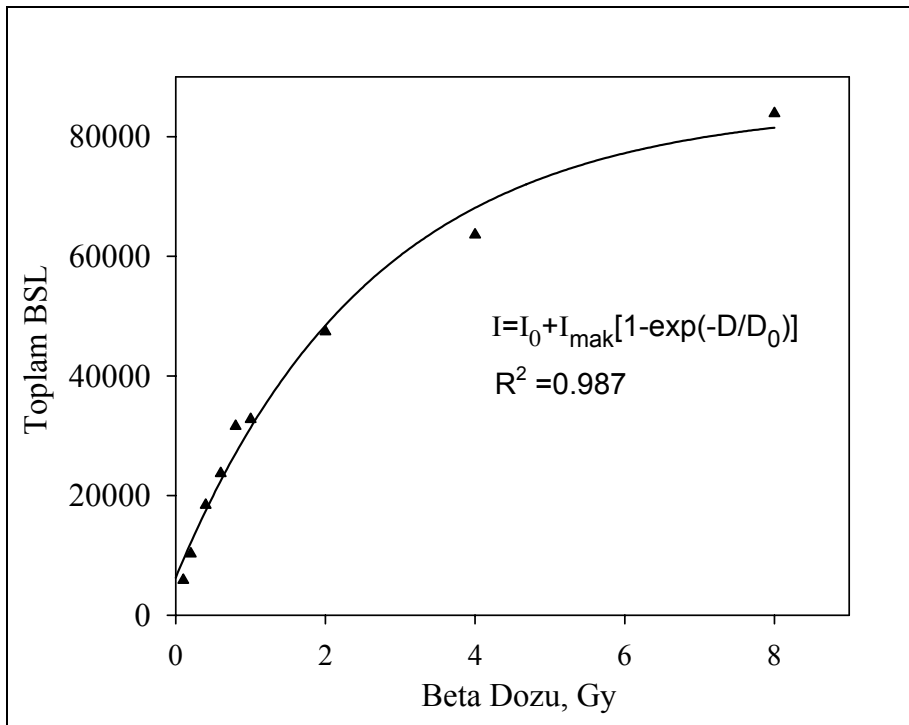
Şekil 7.21. NaCl'den elde edilen BSL bozunma eğrisi



Şekil 7.22. KCl'den elde edilen BSL bozunma eğrisi



Şekil 7.23. RbCl'den elde edilen BSL bozunma eğrisi

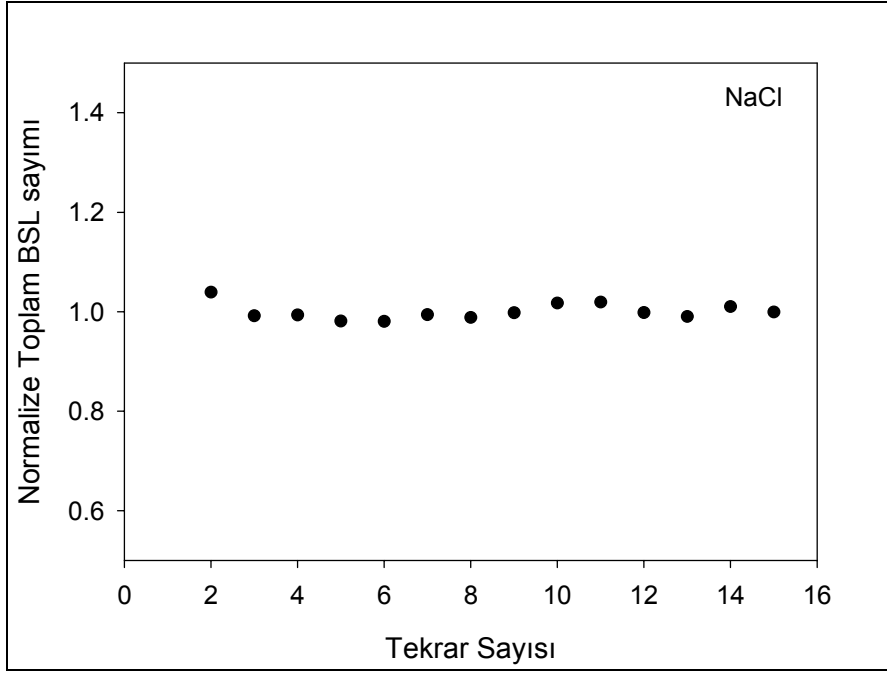


Şekil 7.24. Tek tablet kullanılarak NaCl'den elde edilen doz-cevap eğrisi

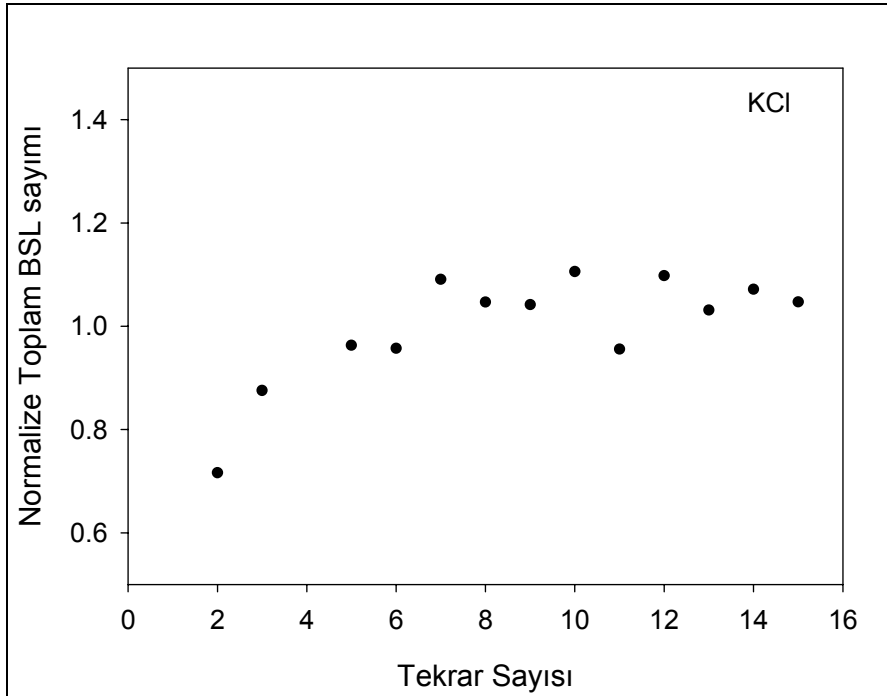
Deneysel işlemler-3: Doz kararlılığı

10 ton basınç uygulanarak pelet haline getirilen NaCl, KCl, RbCl, SrCl₂, MgCl₂, CaCl₂ ve BaCl₂ materyallerine sayım/doz/sayım döngüsü 15 kez tekrar edilmiştir. Her döngüde 10 Gy beta dozu verildikten sonra 30 dk karanlıkta oda sıcaklığında bekletilerek BSL sayımları alınmıştır. Bu işlemde kararlılığı kontrol etmek için her tekrar için elde edilen normalize toplam BSL sayımlarının değişimine bakılmıştır. Her materyal için bu değişimi gösteren ilişkiler Şekil 7.25-31’de gösterilmiştir.

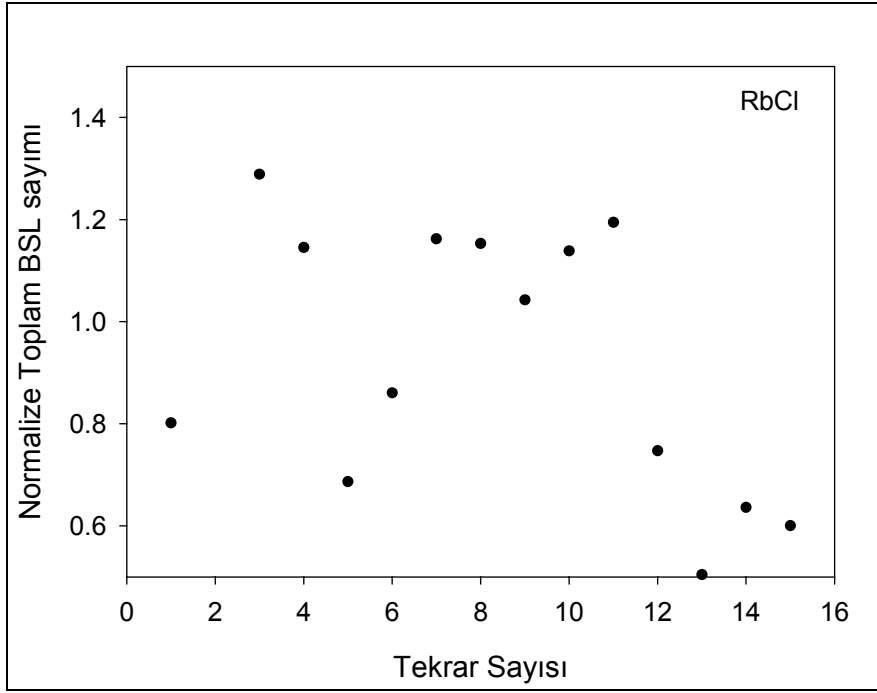
Doz kararlılığı grafiklerine bakıldığında NaCl ilk sayımlardan itibaren her tekrarda yaklaşık toplam BSL sayımları verirken KCl ilk 8 sayıma kadar bir artış gösterip daha sonraki tekrarlarda ortalama değer etrafında salınmaktadır. RbCl’ün tekrar ölçümlerinde hiçbir sistematik düzen görülmemiştir. SrCl₂’de ilk 8 sayımda bir artış görünürken CaCl₂’de azalma görülmektedir. BaCl₂ ilk 10 tekrarda artış gösterip daha sonra salınırken, MgCl₂ ilk 10 sayımda bir artış gösterip daha sonra bir düşüş göstermektedir. Bu materyallerden en iyi sistematik düzenin NaCl’e ait olduğu açık bir şekilde söylenebilir. NaCl ve KCl’ün sistematik dengeye ulaştığı görülürken diğer materyaller için bu söz konusu değildir. SrCl₂ ve BaCl₂ için tekrar sayım işleminin 15 tekrardan daha fazla yapılması gerekmektedir. Bu işlemler sonucunda CaCl₂’ün kullanılan materyaller içinde en güvenilmez materyal olduğu söylenebilir.



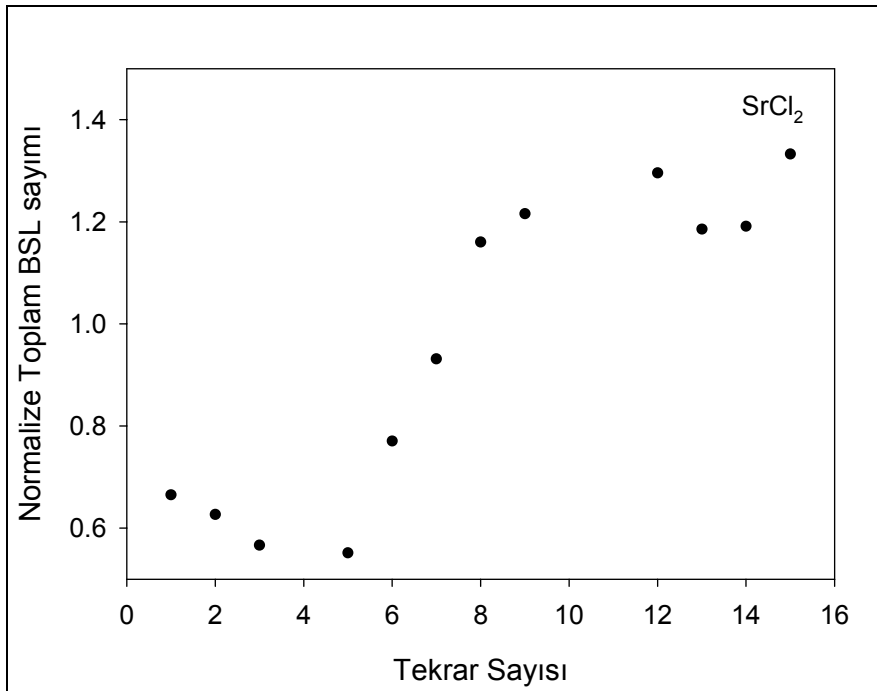
Şekil 7.25. NaCl'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı



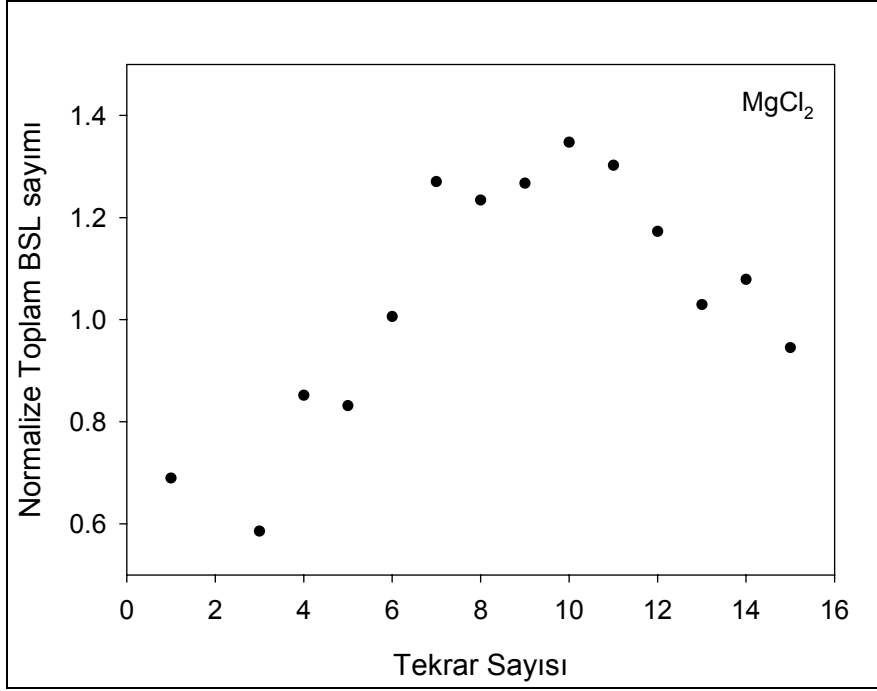
Şekil 7.26. KCl'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı



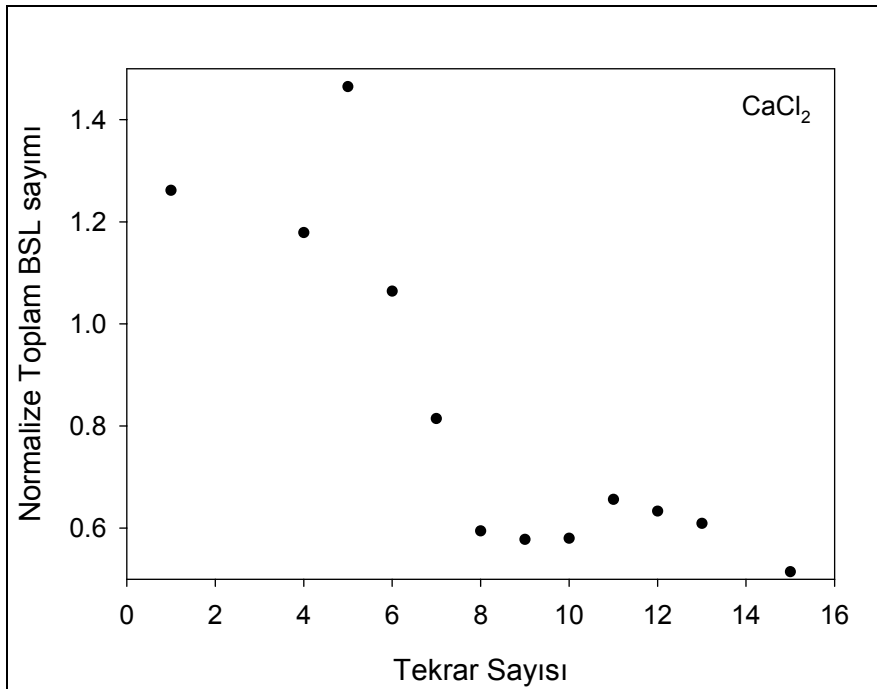
Şekil 7.27. RbCl'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı



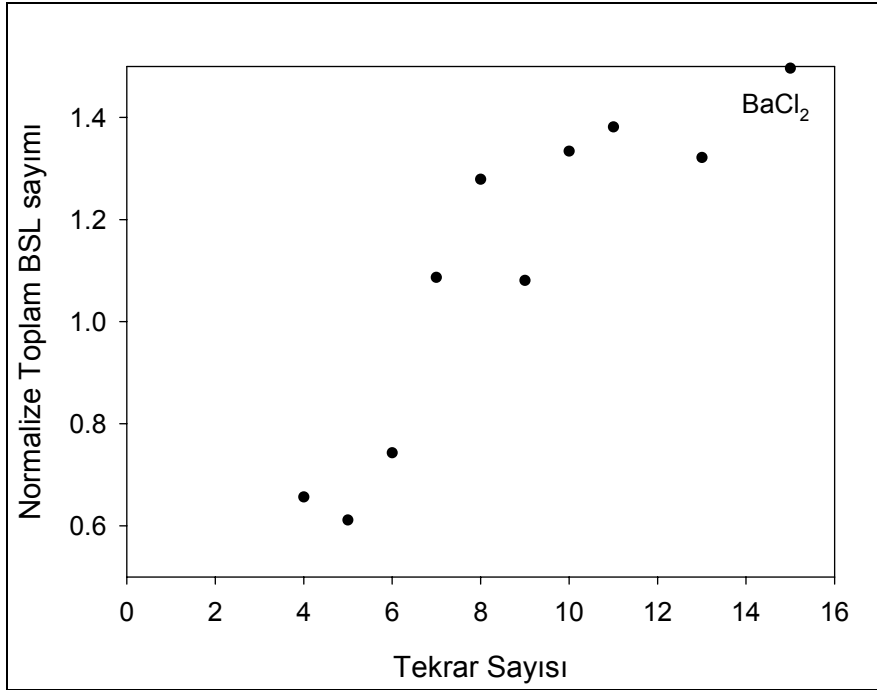
Şekil 7.28. SrCl₂'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı



Şekil 7.29. $MgCl_2$ 'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı



Şekil 7.30. $CaCl_2$ 'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı



Şekil 7.31. BaCl₂'ün 15 tekrar sayımdaki doz kararlılığı

7.5. NaCl'ün Bozunma Sabitlerinin Doz Bağımlılığı

Sabit bir ışık şiddetinde, numune uyarıldığında meydana gelen OSL şiddetinin bozunumu, tekrar-birleşmelerin göz önüne alınmadığı ve tek elektron tek tuzak durumunda (I. Dereceden Kinetik Düzen), basit üstel bir bozunumdur ve

$$I_{OSL} = n_0 p e^{-pt} = I_0 e^{-pt} \quad (7.2)$$

olarak ifade edilir. Burada I_0 $t=0$ anında ilk OSL şiddeti, p ise OSL bozunma sabitidir. Yani OSL sinyali uyarma zamanının bir fonksiyonu olarak bozunmaktadır (McKeever, 1997) [76]. Tekrar tuzaklanmaların çok küçük olduğu veya ihmal edildiği şartlar altında OSL basit bir üstel bozunum sergilerken, deneysel OSL bozunma eğrileri basit olmayan geniş bir çeşitlilik gösterir. Smith ve Rhodes (1994) kuvarslardan elde ettikleri üstel olmayan bozunma eğrilerini, sabit uyarma dalgaboyunda farklı fotoiyonizasyon tesir kesitli üç ayrı tuzaktan gelen katkılar olarak yorumlamışlardır [17]. Bu çalışmada OSL bozunma eğrilerini, bozunma sabitleri farklı üç üstel bozunum toplamına fit ederek göstermişlerdir. Optik olarak

aktif iki tuzak düşünülduğünde ve tuzaklar arası etkileşimin olmadığı varsayıldığında (I. Dereceden kinetik düzen) süperpozisyon prensibi kullanılarak,

$$I_{OSL} = I_{01} e^{-p_1 t} + I_{02} e^{-p_2 t} \quad (7.3)$$

yazılabilir [2,78]. Bu işlem ikiden daha fazla optik aktif tuzak için genişletilebilir.

Bozunma eğrilerinin üstel fonksiyonlara fit edilmesi sonucu elde edilen bozunma sabitinin dozla olan ilişkisini Jain ve ark. (2007) çalışmışlar ve bozunma sabitinin dozla değişiminin üstel doyum fonksiyonuna uygun olarak artan bir davranış sergilediğini ifade etmişlerdir [9].

Deneysel işlemler

Bu çalışmada elde bütün veriler ışığında, bozunma sabitinin dozla olan ilişkisinin incelenmesi için en uygun materyalin NaCl olduğu kararına varılmıştır. NaCl'den elde edilen bozunma eğrileri üstel fonksiyonların toplamalarına fit edilerek bozunma sabitleri elde edilmiştir. NaCl için bozunma sabitlerinin dozla değişimi Şekil 7.32-34'de verilmiştir.

Deneysel verilere çeşitli fit fonksiyonlarının denenmesi sonucunda hem bozunma sabitinin artmasına hem de azalmasına uygun basit üstel bir fonksiyon olan,

$$p(D) = a + b \exp(-c D) \quad (7.4)$$

ifadesi elde edilmiştir. Jain ve ark. (2007)'nin uyguladığı üstel doyum fonksiyonundan daha iyi sonuç elde edilmiştir ve en önemlisi bozunma sabitinin azalışını da tanımlamaktadır. NaCl'ün bozunma sabitlerinin doza bağlı değişimi tanımlayan ifadenin parametreleri Çizelge 7.6'da verilmiştir. Düşük dozlarda üstel kısım seriye açıldığında $p(D) = (a + b) - b c D$ şeklinde lineer denklem şekline dönüşmektedir. Sonsuz küçük doz durumunda, yani dozun ihmal edildiği durumda,

$p(D=0) = (a+b)$ olmaktadır. $a+b$ toplamı büyük olasılıkla materyale, maruz kaldığı radyasyon tipine ve uyarma şekline bağlı bir terimdir. c değeri bozunma sabitin değişiminin doğasını belirleyen bir parametredir.

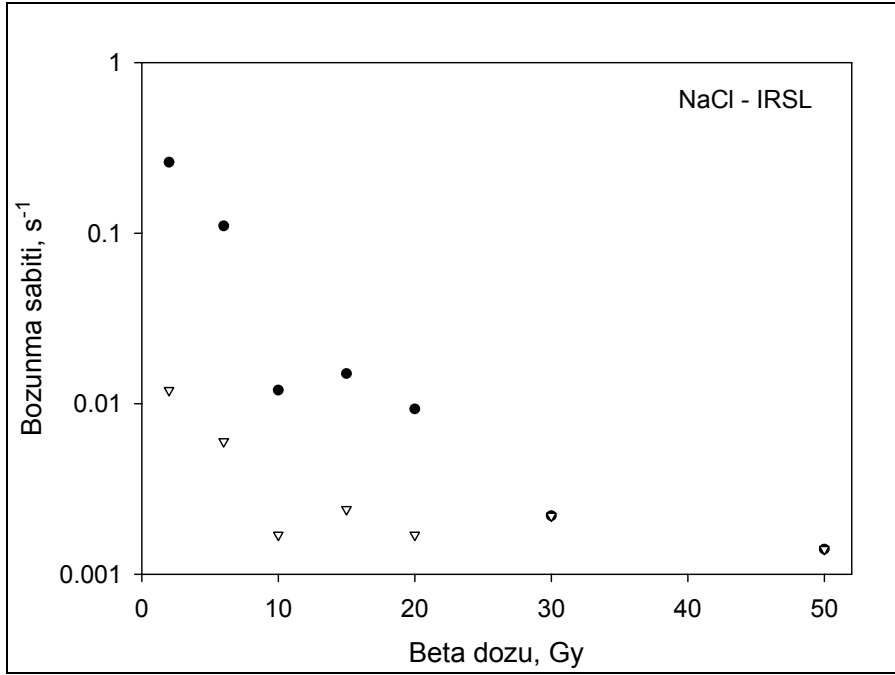
NaCl'ün beta dozuna maruz kalması sonucu elde edilen bozunma sabiti-doz grafiği Şekil 7.32 ve 7.33'de gösterilmiştir. X-ışınına maruz bırakma sonucu elde edilen bozunma eğrilerinin bozunma sabitleri dizini Şekil 7.34'de sunulmuştur. Bu grafiklerden açıkça görülmektedir ki NaCl için bozunma sabiti dozla azalmaktadır.

Çizelge 7.6. Bozunma sabitinin doza bağlı gelişiminin fit sonuçları

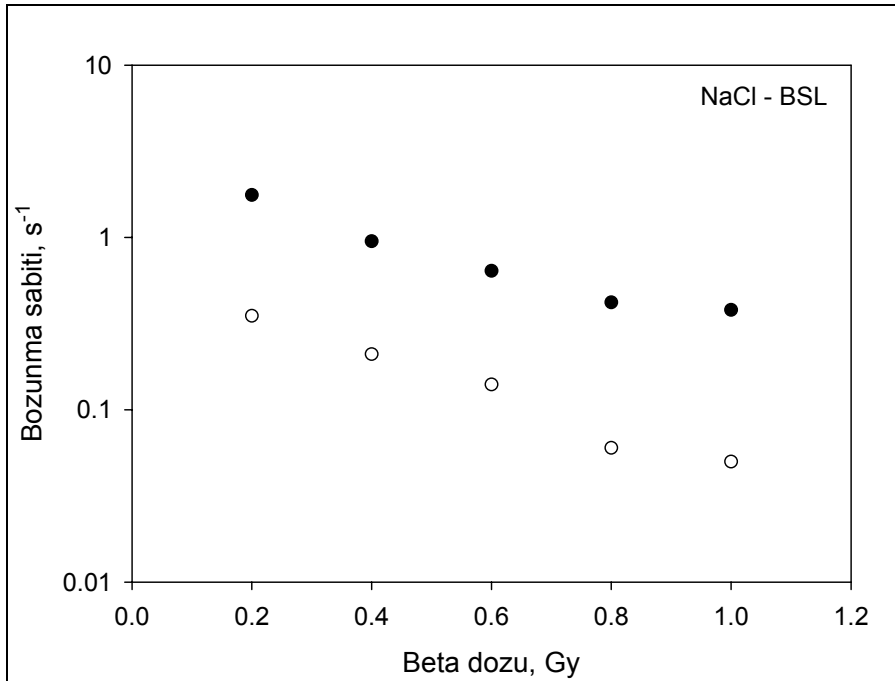
Uygulama	Bileşen	a	b	$a+b$	c	R	s
IRSL Beta	Hızlı	0,0011	0,435	0,4361	0,255	0,993	0,014
	Yavaş	0,0025	0,084	0,0865	1,084	0,920	0,002
BSL Beta	Hızlı	0,313	3,196	3,509	3,97	0,988	0,032
	Yavaş	0,0001	0,581	0,5811	2,39	0,989	0,015
IRSL X-ışını	Hızlı	-2,64	25,65	23,01	0,33	0,984	1,44
	Orta	-3,48	4,74	1,26	0,041	0,989	0,059
	Yavaş	0,018	0,069	0,087	0,287	0,968	0,004

Herhangi bir tuzaktan elde edilen OSL şiddetinin sabit olduğunu düşünürsek bozunma sabitinin artması bozunma eğrisi altında kalan alanın azalması demektir. Yani, bozunma sabiti artan bir materyalin enerji depolama kapasitesi azalacaktır veya doyuma ulaşacaktır. Bozunma sabitin azalması için ise tam tersi söylenebilir. Burada önemli olan bu azalışın basit bir fonksiyon olarak ifade edilebilmesidir.

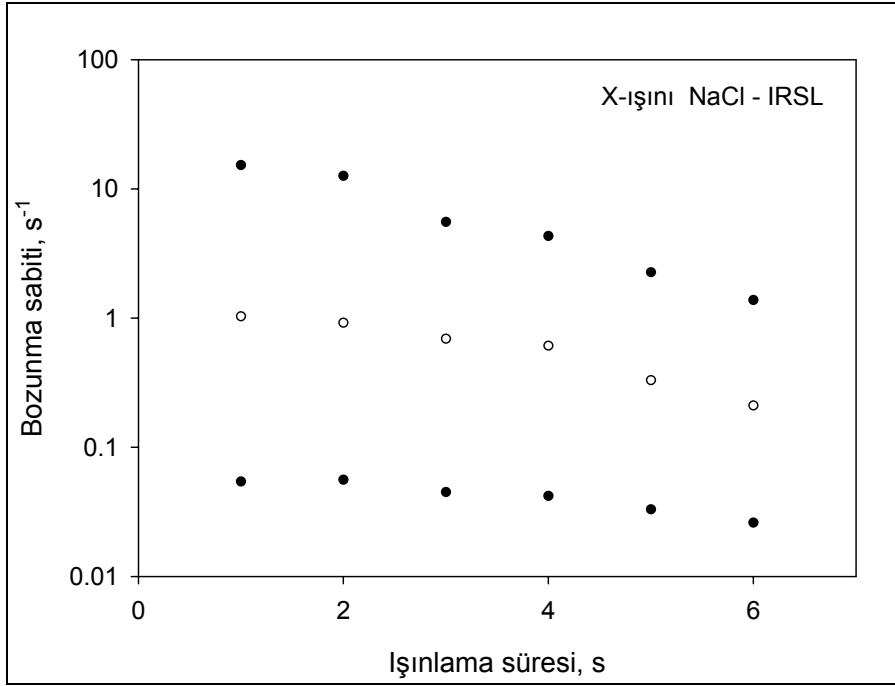
NaCl için bozunma sabitinin azalması tuzak derinliğinin artması anlamına gelir. Çünkü aynı şartlar altında derinlik arttıkça bozunma olasılığı azalacaktır. İyonize radyasyonla birlikte tuzak ve tekrar-birleşme merkezlerindeki elektron-deşik konsantrasyonunun artması ile coulomb etkileşimi artmış, dolayısı ile tuzak derinliği artmış olabilir.



Şekil 7.32. NaCl'ün IRSL eğrileri için bozunma sabitinin beta dozuna bağlılığı



Şekil 7.33. NaCl'ün BSL eğrileri için bozunma sabitinin beta dozuna bağlılığı



Şekil 7.34. NaCl'ün BSL eğrileri için bozunma sabitinin x-ışını dozuna bağlılığı

Eşitlik 7.4 bozunma sabitinin artışını öngören Jain ve ark.'nın ifadesiyle uyum içerisindedir. Bununla birlikte Eşitlik 7.4'ün avantajı hem bozunma sabitinin artmasını hem de bozunma sabitinin azalmasını tanımlayacak yapıda olmasıdır.

8. TARTIŞMA

125-200 °C ön-ısıtma sıcaklık aralığında NaCl tabletleri için IRSL şiddetinde (Şekil 7.1) önemli derecede sistematik artış ve azalmalar gözlenmemiştir, fakat KCl tabletleri için (Şekil 7.2) aynı sıcaklık aralığında IRSL şiddetinde önemli değişimler gözlenmiştir. Tavlama sıcaklıkları göz önüne alındığında NaCl'ün IRSL sinyalinin KCl'den daha kararlı olduğu söylenebilir.

Halperin (1960) ilk-artış yöntemi ile NaCl ve KCl'ün tuzak aktivasyon enerjisini sırasıyla $0,93\text{ eV}$ ve $0,59\text{ eV}$ bulmuştur. Bu çalışmada tavlama sıcaklık değeri alınarak elde edilen NaCl ile ilgili deneysel verilere eğri-fit, ik-artış ve pik-şekil metodu uygulanmıştır. Böylece NaCl'ün tuzak aktivasyon enerjisi 10Gy ile 40Gy arasında 0,94 ile 0,48 eV aralığında değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca KCl'ün tuzak aktivasyon enerjisi eğri-fit metodu ile 0,65 eV bulunmuştur [70]. IRSL sinyallerinin NaCl için 275 °C'nin üzerinde ve KCl için ise 250 °C'nin üzerindeki sıcaklıkta güçlü bir kayba uğradığı gözlenmektedir.

NaCl için beta dozu arttıkça aktivasyon enerjisinin azaldığı, pik-şekil metodu sonuçları ile eğri-fit sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu ve ilk-artış metodunda bulunan değerlerin diğer iki işlem sonucunda bulunanlardan küçük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi IRSL şiddetinin gelişim bölgesinin ölçülebilir olması için çok zayıf olmasıdır. Doz arttıkça pik genişliği artar ve aktivasyon enerjisi azalır. NaCl'ün yüksek dozlarda kullanılmasından sakınılması bu etkiyi azaltacaktır.

Aktivasyon enerjisi verilerinden yararlanarak şu yargılara varılmıştır: birincisi, özellikle yüksek dozlarda NaCl için doz arttıkça aktivasyon enerjisi azalmaktadır, yani doza bağlı bir gelişim söz konusudur; ikincisi, pik sıcaklığı doza bağımlı olarak değişmektedir; üçüncüsü, IRSL tuzakları için aktivasyon enerjisi pik-şekil metodu kullanılarak belirlenebilmektedir. Tuzaklanmış yüklerin konsantrasyonu dozla orantılı olduğu için tekrar tuzaklanma olasılığı doz arttıkça artar. Artan dozla azalan

aktivasyon enerjisinin sebebi, tekrar tuzaklanma olasılığının tekrar-birleşme olasılığından daha büyük olması olabilir.

CW-OSL eğrilerinin PS OSL eğrilerine dönüştürülmesi ile NaCl'den elde edilen IRSL şiddetinin KCl'den elde edilenden daha büyük olduğu ve KCl'ün PS eğrisinin pik maksimumu NaCl'ünkinden daha kısa sürede oluştuğu gözlenmiştir. Bu KCl'ün lüminesans bozunumunun NaCl'den daha hızlı olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda NaCl'den elde edilen PS eğrisinin genliğinin KCl'den daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu ise NaCl'ün lüminesans veriminin KCl'den daha yüksek olmasının bir sonucudur. NaCl, KCl'e göre daha kararlı ve daha yüksek optik duyarlılığa sahiptir.

NaCl'den elde edilen bozunma eğrileri yüksek dozlar için dört kısma ayrılarak irdelenmiştir. Her kısmında doz bağımlı olduğu sonucuna varılmıştır.

NaCl'ün doz cevap eğrisine bakıldığında düşük dozlarda doz bağımlılığı lineer olarak gözlenirken yüksek dozlarda doyuma ulaştığı görülmüştür. NaCl'ün IRSL doz cevabı 50 Gy civarında doyuma ulaşmaya başladığı dolayısıyla tuzaklanan yüklerin maksimum miktarının bu dozdan itibaren değişmeyeceği sonucuna varılmıştır. Sınırlı sayıda tuzaktan dolayı lüminesans sinyalinin şiddeti için bir üst sınır olacaktır. 50 Gy ve üstündeki dozlarda NaCl'den elde edilen doz cevabı doyuma ulaştığı için yüksek dozlarda dozimetrik amaçlı kullanılması önerilemez. Fakat NaCl'ün yüksek optik duyarlı olması düşük doz ölçümlerinde bir avantaj sağlar. NaCl'den elde edilen toplam BSL sayımlarının beta dozuyla değişimi 1Gy'e kadar lineer iken 1Gy'den büyük dozlarda üstel bir ilişki sergilemektedir

NaCl'ün x-ışını radyasyonuna lineer bir cevap verdiği görülmüştür. X-ışını radyasyonuna lineer bir cevap vermesi NaCl'ü bu konuda daha çok çalışılması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Çünkü x-ışını radyasyonu medikal alanda teşhis ve tedavi aracı olarak kullanılmaktadır. Bu durumda NaCl veya türevleri x-ışını kullanılan yerlerde doz miktarını ölçmek için kullanılabilir.

NaCl, KCl, RbCl, SrCl₂, MgCl₂, CaCl₂ ve BaCl₂ gibi alkali halojenürlerin radyasyondan sonra alınan lüminesans sayımlarına iyi cevap veren materyallerin sırasıyla NaCl, KCl, MgCl₂, RbCl, BaCl₂ olduğu görülmüştür. SrCl₂, MgCl₂, CaCl₂'ün yüksek nem kapma özelliğinden dolayı bu peletler kısa sürede bozulmuştur. Bütün materyallerde 200°C'den sonra keskin bir lüminesans sönümü gözlenmektedir. BaCl₂ sıcaklıkla hassasiyeti en çok değişen materyaldir. Hidroskopik özelliğe sahip olmasına rağmen NaCl ve KCl sistematik olarak en düzenli cevap veren materyaller olmuştur.

Doz kararlılığı grafiklerine bakıldığında NaCl ilk sayımlardan itibaren her tekrarda yaklaşık toplam BSL sayımları verirken KCl ilk 8 sayıma kadar bir artış gösterip daha sonraki tekrarlar da sistematik bir düzen gözlenmiştir. NaCl'ün kullanımında ardışık iki kontrol sayımı yapmak yeterli olacak iken KCl'ün kullanımında en az sekiz ardışık sayımın gerçekleştirilmesinden sonra yargıya varılması gerekmektedir. Diğer alkali halojenürlerde güvenilir bir ilişki görülmemiştir.

NaCl'ün bozunma eğrileri incelendiğinde bozunma sabitinin dozla azaldığı görülmüştür. Bozunma sabitinin dozla değişimine çeşitli fit fonksiyonlarının denenmesi sonucunda hem bozunma sabitinin artmasına hem de azalmasına uygun basit üstel bir fonksiyon olan $p(D) = a + b \exp(-cD)$ ifadesi elde edilmiştir. Bu matematiksel ifade ile Jain ve ark. (2007)'nin uyguladığı üstel doyum fonksiyonundan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir ve en önemlisi bozunma sabitinin hem azalmasını hem artışını tanımlayabilmektedir. Bozunma sabitinin azalması bozunma eğrisi altında kalan alanın artması demektir. Yani, bozunma sabiti azalan bir materyalin enerji depolama kapasitesi artacaktır ve sonunda bir doyuma ulaşacaktır. Böylece OSL kinetiği için yeni parametreler söz konusu sonucuna varılmıştır. Bu parametrelerin incelenmesi optik lüminesans dozimetriye yeni bir görüş getirebilecektir.

Yapılan çalışmaların sonucunda NaCl'ün OSL sinyallerinin kullanılan diğer materyallerden daha kararlı, güvenilir ve kabul edilebilir olduğu görülmüştür. NaCl

evre dozimetre aracı olarak kullanılabilir, fakat en büyük problemlerden birisinin hidroskopik özelliğe sahip olmasıdır. Hidroskopik zellięinin NaCl'n lüminesans kinetiğini nasıl etkilediği ayrıca çalışılması gereken bir konu olduğu açıktır. Bu olumsuz etkiye rağmen doğada ve insanoğlunun yaşamının hemen hemen her aşamasında bulunması NaCl' çekici kılmaktadır, bu nedenle daha fazla incelenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Bøtter-Jensen, L., McKeever, S.W.S., Wintle A.G., “Optically Simulated Luminescence Dosimetry”, *Elsevier*, Amsterdam, 15-56 (2003).
2. Thomsen, K.J., “Optically Stimulated Luminescence Techniques in Retrospective Dosimetry using Single Grains of Quartz extracted from Unheated Materials”, Ph.D. Thesis, *Risø National Laboratory*, Roskilde, 17-41 (2004).
3. Bøtter-Jensen, L., “Development of Optically Stimulated Luminescence Techniques using Natural Minerals and Ceramics, and their Application to Retrospective Dosimetry”, Ph.D. Thesis, *Risø National Laboratory*, Roskilde, 11-22 (2000).
4. Antonov-Romanovskii, V.V., Keirum-Marcus, I.F., Poroshina, M.S., Trapeznikova, Z.Z., *Conference of the Academy of Sciences of the USSR on the Peaceful Uses of Atomic Energy*, Moskow, USAEC Report AEC-tr-2435 (Pt.1), 239 (1956).
5. Bräunlich, P., Schäfer, D., Scharmann, A., “A simple model for thermoluminescence and thermally stimulated conductivity of inorganic photoconducting phosphors and experiments pertaining to infra-red stimulated luminescence”, *Proceeding of the First International Conference on Luminescence Dosimetry*, Stanford, USAEC, 57-73 (1967).
6. Sanborn, E.N., Beard, E.L., “Sulfides of strontium, calcium, and magnesium in infra-red stimulated luminescence dosimetry”, *Proceeding of the First International Conference on Luminescence Dosimetry*, Stanford, USAEC, 183-191 (1967).
7. Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I., Thewalt, M.L.W., “Optical dating of sediments”, *Nature*, 313: 105-107 (1985).
8. Yazıcı, A.N., “Thermal and optical characteristics of radiation induced defect centers in alkali halide crystals”, Ph.D. Thesis, *University of Gaziantep Institute of Science and Technology*, Gaziantep, 13-42 (1996).
9. Jain, M., Bøtter-Jensen, L., Thomsen, K.J., “High local ionization density effects in X-ray excitations deduced from optical stimulation of trapped charge in $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ ”, *Journal of Physics-Condensed Matter*, 19 (11): 116201 (2007).
10. Hütt, G., Jaek, I., Tchonka, J., “Optical dating: K- feldspars optical response stimulation spectra”, *Quaternary Science Reviews*, 7: 381-385 (1988).

11. Bøtter-Jensen, L., Murray, A.S., “Developments in optically stimulated luminescence techniques for dating and retrospective dosimetry”, ***Radiation Protection Dosimetry***, 84: 307-316 (1999).
12. Bøtter-Jensen, L., Duller, G.A.T. “A new system for measuring OSL from quartz samples”, ***Nuclear Tracks Radiation Measurements***, 20: 549-553 (1992).
13. Duller, G.A.T., “Equivalent dose determination using single aliquots”, ***Nuclear Tracks and Radiation Measurements***, 18: 371-378 (1991).
14. Murray, A.S., Roberts, R.G., Wintle, A.G., “Equivalent dose measurement using a single aliquot of quartz”, ***Radiation Measurements***, 27: 171-184 (1997).
15. Murray, A.S., Wintle, A.G., “Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol”, ***Radiation Measurements***, 32: 57-73 (2000).
16. Murray, A.S., Roberts, R.G. “Measurement of the equivalent dose in quartz using a regenerative-dose single aliquot protocol”, ***Radiation Measurements***, 29: 503-515 (1998).
17. Smith, B.W., Rhodes, E.J., “Charge movements in quartz and their relevance to optical dating”, ***Radiation Measurements***, 23: 329-333 (1994).
18. Bailey, R.M, Smith, B.W., Rhodes, E.J., “Partial bleaching and the decay form characteristics of quartz OSL”, ***Radiation Measurements***, 27: 123-136 (1997).
19. Bailey, R.M., “The interpretation of quartz optically stimulated luminescence equivalent dose versus time plots”, ***Radiation Measurements***, 32 (2): 129-140 (2000).
20. Adamiec, G., “OSL decay curves - relationship between single- and multiple-grain aliquots”, ***Radiation Measurements***, 39 (1): 63-75 (2005).
21. Bulur, E., Duller, G.A.T., Solongo, S., Bøtter-Jensen, L., Murray, A.S., “LM-OSL from single grains of quartz: a preliminary study”, ***Radiation Measurements***, 35 (1): 79–85 (2002).
22. Markey, B.G., Colyott, L.E. McKeever, S.W.S, “Time-resolved optically stimulated luminescence from $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ ”, ***Radiation Measurements***, 24: 457-563 (1995).
23. McKeever, S.W.S., Markey, B.G., Akselrod, M.S., “Pulsed optically stimulated luminescence dosimetry using $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ ”, ***Radiation Protection Dosimetry***, 65: 267-272 (1996).

24. Akselrod, M.S., McKeever, S.W.S., “A radiation dosimetry method using pulsed optically stimulated luminescence”, ***Radiation Protection Dosimetry***, 81: 167-176 (1999).
25. Akselrod, M.S., Larsen, N.A., McKeever, S.W.S., “A procedure for the distinction between static and dynamic radiation exposures of personal radiation badges using pulsed optically stimulated luminescence”, ***Radiation Measurements***, 32(3): 215-225 (2000).
26. Spooner, N.A., “On the optical dating signal from quartz”, ***Radiation Measurements***, 23(2-3): 593-600 (1994).
27. Huntley, D.J., Short, M.A., Dunphy, K., “Deep traps in quartz and their use for optical dating”, ***Canadian Journal of Physics***, 74(3-4): 81-91 (1996).
28. Bräunlich, P., “Comment on the Initial-Rise Method for Determining Trap Depths”, ***Journal of Applied Physics***, 38(6): 2516-2519 (1967).
29. Chen, R., “Glow curves with general order kinetics”, ***J. Electrochem. Soc.***, 116: 1254–1257 (1969).
30. McKeever, S.W.S., “Thermoluminescence of solids”, ***Cambridge University Press***, Cambridge, 154-177 (1985).
31. Stoddard, A.E., “Effects of illumination upon NaCl thermoluminescence”, ***Physical Review***, 120: 114 (1960).
32. Nanto, H., Usuda, T., Murayama, K., Sokooshi, H., Nakamura, S., Inabe, K., Takeuchi, N., “Photostimulable transparent NaCl-Cu single-crystals for 2-dimensional X-ray-imaging sensors”, ***Applied Physics Letter***, 59(15): 1838-1840 (1991).
33. Nanto, H., Usuda, T., Murayama, K., Nakamura, S., Inabe, K., Takeuchi, N., “Emission mechanism of optically stimulated luminescence in copper-doped sodium-chloride single crystals”, ***Radiation Protection Dosimetry***, 47(1-4): 293-296 (1993).
34. Bailey, R.M., “Towards a general kinetic model for quartz luminescence”, ***Radiation Measurement***, 33: 17-45 (2001).
35. Zhang, J.F., Yan, C., Zhou, L.P., “Feasibility of optical dating using halite”, ***Journal of Luminescence***, 114: 234-240 (2005).
36. Nanto, H., Murayama, K., Usuda, T., Endo, F., Hirai, Y., “Laser-stimulable transparent KCl:Eu crystals for erasable and rewritable optical memory utilizing photostimulated luminescence”, ***Journal of Applied Physics***, 74: 1445-1447 (1993).

37. Nanto, H., Murayama, K., Usuda, T., Taniguchi, S., Takeuchi, N., "Optically stimulated luminescence in KCl:Eu single crystals", ***Radiation Protection Dosimetry***, 47: 281-284 (1993).
38. Wintle, A.G., "Thermal quenching of thermoluminescence in quartz", ***Geophysics J.R. Astr. Soc.***, 41:107-113 (1975).
39. Bölükdemir, M.H., Tanır, G., "Determination of equivalent dose by using the slow component of IRSL decay curves", ***G.U. Journal of Science***, 20(3); 1-7 (2007).
40. Hütt, G., Brodski, L., Bailif, I.K., Göksu, Y., Haskell, E.H., Junger, H., Stoneham, D., "Accident dosimetry using environmental materials collected from regions downwind of Chernobyl: a preliminary evaluation", ***Radiation Protection Dosimetry***, 47: 307-313 (1993).
41. Bøtter-Jensen, L., Duller, G.A.T., "A new system for measuring OSL from quartz samples", ***Nuclear Tracks Radiation Measurements***, 20: 549-553 (1992).
42. Bøtter-Jensen, L., Murray, A.S., "Developments in optically stimulated luminescence techniques for dating and retrospective dosimetry", ***Radiation Protection Dosimetry***, 84: 307-316 (1999).
43. Galloway, R.B., "Stimulation of luminescence using green light emitting diodes", ***Radiation Protection Dosimetry***, 47: 679-682 (1993).
44. Bøtter-Jensen, L., "Luminescence techniques: instrumentation and methods", ***Radiation Measurements***, 17: 749-768 (1997).
45. Duller, G.A.T., Bøtter-Jensen, L., Murray, A.S., Truscott, A.J., "Single grain laser luminescence (SGLL) measurement using a novel automated reader", ***Nuclear Instruments and Methods B***, 155: 506-514 (1999).
46. Bulur, E., "An alternative Technique for optically stimulated luminescence (OSL) experiment", ***Radiation Measurements***, 26 (5): 701-709 (1996).
47. McKeever, S.W.S., Markey, B.G., Akselrod, M.S., "Pulsed optically stimulated luminescence dosimetry using α -Al₂O₃:C", ***Radiation Protection Dosimetry***, 65: 267-272 (1996).
48. Levy, P.W., "Thermoluminescence kinetics in materials exposed to the low doses applicable to dating and dosimetry", ***Nuclear Tracks Radiation Measurements***, 10: 547-556 (1985).

49. Bøtter-Jensen, L., Bulur, E., Duller, G.A.T., Murray, A.S., “Advances in luminescence instrument systems”, *Radiation Measurements*, 32: 523–528 (2000).
50. Larsen, N. A., “Dosimetry based on thermally and optically stimulated luminescence”. Ph.D. thesis, Risø-R-1090(EN), *University of Copenhagen, Niels Bohr Institute*, 51–75, 95–102 (1999).
51. Chen, R., Leung, P.L., “The decay of OSL signals as stretched exponential functions”, *Radiation Measurement*, 37: 519–526 (2002).
52. Bulur, E., Göksu, H.Y., “IR stimulated luminescence from ZnS and SrS based phosphors: A re-examination with linear modulation technique. *Phys. Stat. Sol. (a)* 161(2): R9–R10 (1997).
53. Bulur, E., Göksu, H.Y., “OSL from BeO ceramics: new observations from an old material”, *Radiation Measurement*, 29: 639–650 (1998).
54. Bulur, E., Göksu, H.Y., Wahl, W., “Infrared stimulated luminescence from $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 : \text{C}$ ”, *Radiation Measurement*, 29: 625–638 (1998).
55. Bulur, E., Bøtter-Jensen, L., Murray A.S., “LM-OSL signals from some insulators: An analysis of the dependency of the bleaching rate on stimulation light intensity”, *Radiation Measurement*, 33: 715–719 (2001).
56. Kuhns, C.K., Agersnap Larsen, N., McKeever, S.W.S., “Characteristics of LMOSL from several different types of quartz”, *Radiation Measurement*, 32: 413–418 (2000).
57. Bulur, E., “A simple transformation for converting CW-OSL curves to LM-OSL curves” *Radiation Measurement*, 32: 141–145 (2000).
58. Godfrey-Smith, D.L., Huntley, D.J., Chen, W.H., “Optically dating studies of quartz and feldspar sediment extracts”, *Quaternary Science Reviews*, 7: 373–380 (1988).
59. Duller, G.A.T., “Recent developments in luminescence dating of Quaternary sediments”, *Prog. Phys. Geogr.*, 20: 127–145 (1996).
60. Olley, J.M., Caitcheon, G.G., Murray, A.S., “The distribution of apparent doses as determined by optically stimulated luminescence in small aliquots of fluvial quartz: implications of dating young sediments”, *Quaternary Science Reviews*, 17: 1033–1040 (1998).
61. Banerjee, D., Bøtter-Jensen, L., Murray, A.S., “Retrospective dosimetry: Estimation of the dose to quartz using the single-aliquot regenerative-dose protocol”, *Applied Radiation Isotopes*, 52: 831–844 (2000).

62. Furetta, C., "Hanbook of thermoluminescence", **World Scientific Publishing Company**, Singapore, 1-19, 39-40, 101-108, 165-182, 247-312, 401-431 (2003).
63. Garlick, G.F.J., Gibson, A.F., "The electron trap mechanism of luminescence in sulphide and silicate phosphors", **Proc.Roy.Soc.**, London, A60: 574–590 (1948).
64. Grossweiner, L.I., "A note on the analysis of first-order glow curves", **J.Appl.Phys.**, 24: 1306–1307 (1953).
65. Lushchik, C.B., "The investigation of trapping centers in crystals by the method of thermal bleaching", **Sov.Phys.-JETP**, 3: 390–399 (1956).
66. Halperin, A., Braner, A.A., "Evaluation of thermal activation energies from glow curves", **Physical Review**, 117: 408–415 (1960).
67. Spooner, N.A., Aitken, M.J., Smith, B.W., Franks, M., McElroy, C., "Archaeological dating by infrared stimulated luminescence using a diode array", **Radiat. Prot. Dozim.**, 34: 83–86 (1990).
68. Internet: "National Optical Astronomy Observatory (NOAO), Kitt Peak National Observatory (KPNO), Filter Information, Schott Glass Filters, BG39 & BG40", http://www.noao.edu/kpno/filters/sgt/123b_sm.gif (2007).
69. Aitken, M.J., "Thermoluminescence Dating", **Academic Press, London**, 1-15, 61-112, 219–238 (1985).
70. Tanır, G., Bölükdemir, M.H., Çatlı, S., Tel, E., "IRSL characteristics of NaCl and KCl relative to dosimeter", **Radiation Measurements**, 42: 29–34 (2007).
71. Bailey, R.M., Adamiec, G., Rhodes, E.J., "OSL properties of NaCl relative to dating and dosimetry", **Radiation Measurements**, 32: 717–723 (2000).
72. Tanır, G., Bölükdemir, M.H., "Activation energy depended on radiation doses for NaCl", **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 270(2); 413–416 (2006).
73. Sunta, C.M., Ayta, W.E.F., Kulkarni, R.N., Piers, T.M. and Watanabe, S., "Theoretical models of thermoluminescence and their relevance in experimental work", **Radiation Protection Dosimetry**, 84: 25–28 (1999).
74. Kirsh, Y., Chen, R., "Analysis of the phosphorescence of X-irradiated albite using a TL-like presentation", **Nucl. Tracks Radiat. Meas.**, 18: 37–40 (1991).
75. Tanır, G., Bölükdemir, M.H., "Infrared stimulated luminescence-decay shape from NaCl as a function of radiation doses" **Radiation Measurements**, In Press, Accepted Manuscript, Available online 12 July (2007).

76. McKeever, S.W.S., Chen, R., “Luminescence Models”, ***Radiation Measurements***, 27: 625-661 (1997).
77. Roberts, R.G., Spooner, N.A., Questiaux, D.G., “Palaeodose underestimates caused by extended-duration preheats in the optical dating of quartz”, ***Radiation Measurements***, 23: 647-653 (1994).
78. McKeever, S.W.S., “Optically stimulated luminescence dosimetry”, ***Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B***, 184: 29-54 (2001).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BÖLÜKDEMİR, Mustafa Hicabi
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 24.12.1979 Amasya-Merkez
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (542) 238 47 32
 E-posta : hicabi@gazi.edu.tr ; mustafahicabi@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi / Fizik Bölümü	2004
Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi/ Fizik Bölümü	2001
Lise	Amasya Sağlık Meslek Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005–2007	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2002–2004	Gaziosmanpaşa Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2001–2002	Amasya Özel İpekyolu İ.Ö.O.	Laboratuvar Usta Öğr.

Yabancı Dil

İngilizce

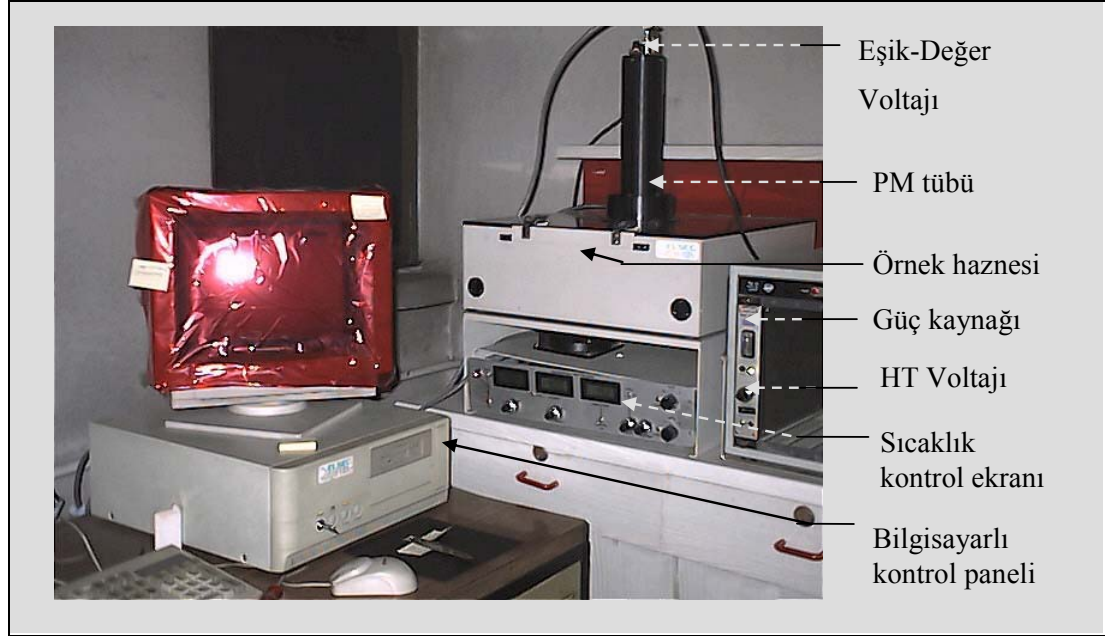
Yayınlar

1. Tanır, G. and Bölükdemir, M.H., “Infrared stimulated luminescence-decay shape from NaCl as a function of radiation doses” Radiation Measurements, In Press, Accepted Manuscript, Available online 12 July 2007.
2. Tanır G., Bölükdemir M.H., Çatlı, S., Tel, E., “IRSL characteristics of NaCl and KCl relative to dosimeter”, Radiation Measurement, 42: 29-34, 2007.

3. Tataroğlu, A., Altındal, Ş., Bölükdemir, M.H. and Tanır, G., "Irradiation effect on dielectric properties and electrical conductivity of Au/SiO₂/n-Si (MOS) structures" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, In Press, 264 (1): 73-78, 2007.
4. Tataroğlu, A., Bölükdemir, M.H., Tanır, G., Altındal, Ş., Bülbül, M.M., "Effects of beta-ray irradiation on the C–V and G/x–V characteristics" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 254: 273–277, 2007.
5. Tanır, G., Bölükdemir, M.H., "Activation Energy depended on radiation doses for NaCl", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 270 (2): 413-416, 2006.
6. Tanır, G., Şencan, E., Bölükdemir, M.H., Türköz, M.B., Tel, E., "Application of the luminescence single aliquot technique for dose estimation in the Marmara Sea" Journal of Environmental Radioactivity, 84: 409-416, 2005.
7. Tanır, G., Türköz, M.B., Şencan, E., Bölükdemir, M.H., Tel, E., Okuducu, Ş., "Comparison of the decay-rate parameter of the luminescence signal generated using different laboratory radiation doses" Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 265 (3): 399–403, 2005.
8. Bölükdemir, M.H., Tanır, G., "Determination of equivalent dose by using the slow component of IRSL decay curves", G.U. Journal of Science, 20 (3), 1-7, 2007.

EKLER

EK-1 ELSEC OSL 9010 sayma sistemi



Resim 1.1. Laboratuvardaki ELSEC 9010 OSL sayma sistemi

ELSEC 9010 Sayma sisteminin temel özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Toplam dozu belirlemede doğruluk payı %95–97 civarındadır,
- Örnek diskleri bir kez yerleştirdikten sonra el ile müdahaleye gerek olmayacak şekilde düzenlenmiştir,
- 64 örnek aynı çalışma sürecinde incelenebilir,
- En iyi lüminesans birikimini sağlar,
- Sıcaklık kontrolü otomatik olarak yapılır,
- Kullanma kolaylığı sağlar,

İşlemler hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Uyarma süresinin 1 saniyeden az olması durumunda 64 örnek için ışınlama süresi 10 dakika civarındadır.

OSL 9010 sayma sisteminin ana bölümleri ise şunlardır:

Kontrol paneli (bilgisayar): 40MB hard disk'e sahip 80386 işlemciye uyumlu bir IBM-masaüstü bilgisayarı içerir.

Bilgisayar arayüz kartı: Stepper (mekanik adım) sürücü kart ve sayıcı kartı içerir

EK-1 (Devam) ELSEC OSL 9010 sayma sistemi

Arayüz modülü: Yüksek voltaj güç sağlayıcı, LED kontrol devreleri ve LED akımı, tablet sıcaklığı, ışık şiddeti göstergelerini içerir.

Tablet tablası: Her biri yaklaşık 9.6mm çapında 64 tablet yerleştirilebilen siyah kaplamalı tabla içerir.

Tabla Hareket Mekanizması: Bilgisayar kontrolü ile tablanın pozisyonunu xy-kademeli motoru kullanarak önce sıfır konumuna daha sonra isteğe göre fotoçoğaltıcı tüp altına veya çıkarma pozisyonuna getirebilen mekanizmadır.

Tablet Uyarma Birimi: Cihaz üzerinde uyarma birimi olarak infrared ışık yayan diyot (IR-LED) modülü bulunmaktadır. Fakat uyarma için modifikasyon yaparak başka birimler ile de kullanılabilir. Uzun süreli kullanımlarda LED'lerin soğumasını kolaylaştırmak amacıyla alüminyum başlık kullanılır (Resim 2 ve 3). Bu başlık içerisine tablete belli açılarda yerleştirilmiş 24 adet IR-LED bulunmaktadır. Sabit LED sıcaklığında ve sabit ışık verecek şekilde bir akım altında tabletin uyarılması sağlanmaktadır. Tuzaklardan elektronları çıkarmak için kullanılan TEMT 484 tipi IRLED'ler $\sim 40\text{mA}$ akım'da 30mW/cm^2 'lik güç sağlarlar. Sistem 0,01 saniyeden 1 yıla kadar tablet ışınlatabilir.

Fotoçoğaltıcı tüp (Photomultiplier tube, PM tube): Farklı özelliklere sahip optik filtrelerin yerleştirilmesine olanak sağlayan ve foton sayımı için kullanılan Thorn EMI 9235 QA fotoçoğaltıcı tüp'dür. Sinyal kirliliklerini en aza indiren bir sistemdir.

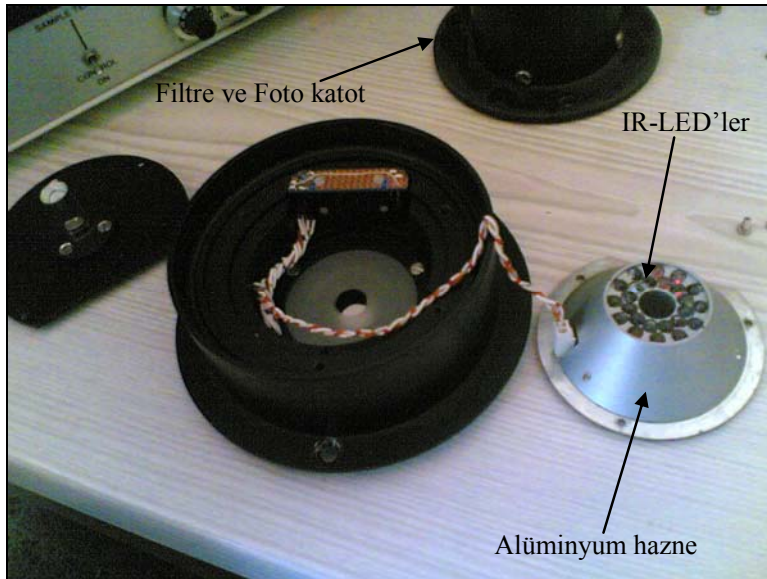
Optik filtre: Uyarma kaynağından veya sistem dışından gelen ışınların kesilmesi amacıyla PM tüpü önüne konulan optik filtrelerdir. Kullanılan uyarma kaynağına göre optik filtre değişir. Sistemde IR-LED'lerden gelen ışığın kesilmesi için Schott BG-39 ve BG-40 filtresi kullanılabilir. Bu filtrelerin geçirgenlik spektrumları Şekil 6.3'de verilmiştir.

EK-1 (Devam) ELSEC OSL 9010 sayma sistemi

Bu sistemde 3mm kalınlığında ve ~44mm çapında dairesel BG-39 cam filtre kullanılmaktadır.



Resim 1.2. IR-LED takımının devre tablası



Resim 1.3. IR-LED takımının önden görünüşü