



**İNSAN KANINDAN ELDE EDİLEN LÜMİNESANS SAYIMLARININ
KİNETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Gülper AKSOY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2018

Gülper AKSOY tarafından hazırlanan “İNSAN KANINDAN ELDE EDİLEN LÜMİNESANS SAYIMLARININ KİNETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ayşe Güneş TANIR

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Abdullah AYDIN

Fizik Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Mustafa Hicabi BÖLÜKDEMİR

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 04/07/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gülper AKSOY

04/07/2018

İNSAN KANINDAN ELDE EDİLEN LÜMİNESANS SAYIMLARININ KİNETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Gülper AKSOY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2018

ÖZET

Optik Uyarmalı Lüminesans, iyonize radyasyona maruz kalmış örneklerdeki geriye dönük (retrospective) toplam dozu belirlemek için kullanılan bir dozimetri yöntemidir. Dâhili veya harici olarak iyonize radyasyona maruz kalmış insan kanı kullanılarak, kişinin aldığı radyasyon dozunu doğrudan tespit edebilmek için daha önce deneysel bir çalışma yapılmıştır. Elde edilmiş deneysel veriler kullanılarak, bu çalışmada, lüminesans mekanizmasının aydınlatılması amacıyla kinetik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. İnsan kan örneklerinden alınan lüminesans sayımları, eğri-uyarlama (curve-fitting), aktif-uyarmalı lüminesans yaklaşımı ve Lineer Modülasyon Tekniği kullanılarak incelenmiştir. Aktif uyarmalı lüminesans yaklaşımı, bir radyoaktif çekirdeğin ardışık bozunmasına benzetilmiş yeni bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak Luminesans bozunma eğrilerinin pik formlarının eldesinin mümkün olduğu gösterilmiş; kan örnekleri için bozunma sabitleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bozunma sabitlerinin, örneğin maruz kaldığı dozla değiştiği gözlenmiştir.

Bilim Kodu : 20216

Anahtar Kelimeler : İnsan kanı, Optik uyarmalı lüminesans, Radyasyon, Kinetik.

Sayfa Adedi : 45

Danışman : Prof. Dr. Ayşe Güneş TANIR

INVESTIGATION OF KINETIC CHARACTERISTIC OF LUMINECENCE SIGNAL
FROM HUMAN BLOOD

(M.Sc. Thesis)

Gülper AKSOY

GAZI UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND TECHONOLOGY

July 2018

ABSTRACT

OSL technique is based measuring the luminescence intensity from a sample that was exposed to ionizing radiation. It is obvious that humans are exposed to ionizing radiation both internally or externally. It has been previously performed the direct determination of radiation dose in human blood. The detrapping constants for human blood sample were obtained using curve fitting, Active OSL, Linear Modulation techniques and deconvolution programmer. The explanation of the AOSL is based on the radioactive decay law of successive disintegration. It allows obtaining the peak forms of luminescence signal. It has been observed that the decay rates for blood sample exposed to different radiation doses changed with dose. AOSL Approximation is appropriate – for separating the peaks that correspond to decay rates.

Science Code : 20216

Key Words : Human blood, Optically stimulated luminescence, Radiation, Kinetic parameters.

Page Number : 45

Supervisor : Prof. Dr. Ayşe Güneş TANIR

TEŐEKKÖR

Tez çalıŐmalarım sűresince ve űncesinde, yardım ve yűnlendirmelerini esirgemeyen, kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. AyŐe GűneŐ TANIR'a; OSL hakkında bilgilerini benimle paylaŐan hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa Hicabi BÖLÖKDEMİR'e ve sahip olduėum kıymetli aileme sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Ardışık Nükleer Bozunma	5
2.2. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL).....	7
2.3. Radyasyonun Biyolojik Etkileri.....	12
2.4. Kanın İçeriği	15
3. KİNETİK PARAMETRELERİ ELDE ETME YÖNTEMLERİ.....	19
3.1. Termal Eğri Fit Modeli	19
3.2. GO (General Order) Modeli.....	20
3.3. LM-OSL (Lineer Modülasyon OSL) Tekniği.....	21
3.4. Aktif-OSL (AOSL) Yaklaşımı.....	23
4. BULGULAR	27
4.1. Radyoizotop Tanı/Tedavisi Almış Kan Örneği	28
4.2. ^{99m} Tc Şırınga Edilmiş Kan Serumı	33
4.3. Kan Örnekleri İçin LM Grafikleri.....	36
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	39
KAYNAKLAR	41

ÖZGEÇMİŞ 45



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İçerik.....	17
Çizelge 5.1. Bozunma sabitlerinin kıyaslanması	40



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Lüminesans yayınıcı.....	8
Şekil 2.2. Basit katı yapıda, lüminesans mekanizmasının adımları.....	9
Şekil 2.3. Farklı uyarma mekanizmaları ile en yaygın kullanılan lüminesans işlemleri	12
Şekil 2.4. Verilen D1 radyasyon dozu için, hayatta kalan oksijen bakımından zengin hücrelerin fraksiyonu.....	15
Şekil 3.1. Al ₂ O ₃ :C için LM-OSL grafiğı	23
Şekil 3.2. AOSL yaklaşımı	23
Şekil 4.1. Bir radyasyon kaynağına maruz kalmamış sağlıklı insan kanından elde edilen lüminesans sinyalleri	27
Şekil 4.2. Radyoizotop tedavisi almış iki kan tabletinden ölçülen doğal sayımlar	29
Şekil 4.3. 0,143Gy, 0,286Gy, 0,429Gy, 0,572Gy, 0,858Gy dozu verilerek elde edilen lüminesans sayımlarıdır	30
Şekil 4.4. Radyoizotop tedavisi almış kan örneklerine OSL laboratuvarında 1, 2, 3,ve 5 Gy doz verildikten sonra ölçülen sayımların bozunma eğrileri	31
Şekil 4.5. Verilerin AOSL yaklaşımı ile Pik şeklinin eldesi	32
Şekil 4.6. Bozunma eğrilerinin verileri kullanılarak AOSL yaklaşımı ile elde edilen PS grafiğı. OSL laboratuvar dozu, 1Gy, 2 Gy, 3 Gy ve 5 Gy dir.....	33
Şekil 4.7. 17 µCi, 34 µCi, 51 µCi, ve 85 µCi aktiviteli kan tabletlerinden elde edilen bozunma eğrileri.....	34
Şekil 4.8. Verilerin AOSL yaklaşımı ile elde edilmiş grafikleri.....	35
Şekil 4.9. LM-OSL grafikleri.....	36
Şekil 4.10. 17 µCi ve 85 µCi verilmiş kan örnekleri için LM-OSL grafiğı.....	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
b	Kinetiklik Derecesi
b	Bozunma Sabiti
c	Boyutsuz bir sabit
E	Aktivasyon Enerjisi
E_c	İletim bandı enerji durumu
E_g	Bant aralığı enerjisi
E_v	Valans bandı enerji durumu
G_y	Gray
I	Işık Şiddeti
k	Boltzman sabiti
n	T sıcaklığında tuzaklanmış toplam elektron sayısı
N	Tuzak Konsantrasyonu
n₀	İlk Tuzak Konsantrasyonu
P	LM-OSL de sayma süresi
R	Serbest Radikal
s	Frekans Faktörünü Tanımlar
S	Saniye
T	Katının Sıcaklığı
U	Bağımsız Değişken
β	Boyutsuz bir pozitif sayı
λ	Bozunma Sabiti
μm	Mikro metre

Kısaltmalar**AOSL****CW-OSL****DNA****DOSL****GO****LM****LM-OSL****OSL****POSL****PS-plot****PTOSL****RC****TL****TLD-100****TLD-200****TLD-500****TLD-700****Açıklamalar**

Aktif OSL

Sürekli Dalga OSL

Deoksiribo Nükleik A

Gecikmiş OSL

General Order

Lineer Modülasyon

Linear Modülasyon OSL

Optik Uyarmalı Lüminesans

Pulslu OSL

Pik - Formu

Foto Transfer OSL

Birleşme Merkezi

Termolüminesans

Termolüminesans Dozimetri Materyali

Termolüminesans Dozimetri Materyali

Termolüminesans Dozimetri Materyali

Termolüminesans Dozimetri Materyali

1. GİRİŞ

İnsanların iyonize radyasyona görece fazla maruz kaldıkları alanların başında radyasyonla tedavi/tanı merkezleri gelmektedir. Bu alanlarda hedeflerin aldıkları dozlar çeşitli dozimetri sistemleriyle belirlenebilmektedir. İyon odaları, termolüminesans tekniği, ülkemizde yaygın olarak kullanılan doz belirleme yöntemleridir. Bu yöntemlerden en yenisi Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) olarak adlandırılan dozimetri yöntemi ilk olarak, doğal oluşmuş mineraller kullanarak çevre dozlarının tahmini için, Huntley ve diğerleri(1985) tarafından önerilmiştir. Günümüzde, OSL'nin medikal alanda kullanımı yaygınlaşmıştır. Ülkemizde kullanımının yaygın olduğu söylenemez. Bugün, üç temel dozimetri alanı için kullanılır: 1) Personel dosimetri, 2) Çevre dozimetrisi ve 3) Geriye dönük dozimetri (retrospective dosimetri) (Botter-Jensen, 2000; Botter-Jensen ve diğerleri, 2003; Aitken, 1998: 1-351). Lüminesans tekniğinin daha kullanılabilir yöntem olması için, deneysel verilerin derlenmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve kinetik mekanizmasının açıklanması kritik önemdedir.

Doz, hedefte birim kütle başına soğurulan iyonize radyasyon enerjisidir. Radyoterapide insanlara verilecek doz değerleri, insan vücuduna eşdeğer kabul edilen fantomlar üzerine yerleştirilen materyaller kullanılarak belirlenir; TLD-100, TLD-200, TLD-500 ($Al_2O_3:C$), TLD-700, BeO gibi. Her ne kadar, kullanılan bu materyallerin, elektron yoğunlukları, kütle sayıları (Z) gibi temel özelliklerinin biyolojik yapılarla eşdeğer olmasına özen gösterilse de özdeş olduğu söylenemez. Bu ölçümlerin doğrudan insan üzerinde yapılması da mümkün değildir. Hastalıkların teşhisi/tanısı için kullanılan iyonize radyasyon dozunun tespitinin doğrudan yapılması için OSL yönteminin kullanılması bölümümüzde yüksek Lisans çalışması olarak (Güleç, 2014) gerçekleştirilmiş ve Tanır ve diğerleri (2016) tarafından yayınlanmıştır. Tanır ve diğerleri (2016) tarafından yayınlanan çalışmada, iyonize radyasyon kaynağına maruz kalmış kan örneklerinin OSL sayımları ölçülerek, sayımların zamanla değişimini gösteren bozunma eğrileri elde edilmiş, ancak, lüminesans sayımlarının kinetik incelemesi yapılmamıştır.

OSL mekanizmasının net bir açıklaması yoktur. Ancak bir katının basit bant yapısı göz önüne alınarak anlatılır (Aitken, 1985). Lüminesans bozunma eğrisinin şeklini analitik olarak tanımlayabilecek tam bir model de yoktur. Eğrinin şekli katı bant modelinin enerji aralığında bulunan farklı derinliklerdeki tuzak parametreleri ile karakterize edilir.

Bozunma eğrisinin deneysel verileri, genellikle basit üstel fonksiyonların toplamı olarak tanımlanır. Ancak “kaç farklı üstel fonksiyonun toplamıdır ve bu bozunmaya katkıda bulunan kaç farklı tuzak parametresi vardır” sorusuna tam olarak cevap vermek zordur. Tuzak parametrelerini bulmak için pek çok araştırmacı tarafından farklı modeller önerilmiştir (Bailiff ve Poolton , 1991 ; Bailiff ve Barnet , 1994 , Smith ve Rhodes, 1994 ; Mc Keever ve Chen , 1997; Bulur, 1996; Bulur, 2000; Akselrod ve McKeever, 1999; Bulur ve diğerleri, 2001; Kitis ve Pagonis, 2007; Tanır ve Bölükdemir, 2010; Tanır ve Bölükdemir, 2011). Modellerin temel amacı güvenilir sonuçlar elde edebilmektir. OSL mekanizmasının doğası, lineer olmayan etkileşimlerin üst üste binmesi nedeniyle karmaşıktır. En basit modelin bile, süreci önceden kestirilemez. Katının uyarılması ile valans banttıan çıkarılan elektronların yasak enerji aralığında hareketlerini tanımlayan denklemler lineer olmayan diferansiyel denklemlerdir ve analitik çözümleri tam olarak yapılamaz. Bu denklemler üzerine yapılan kısıtlamalar farklı modellerin ortaya konulması demektir. Birinci dereceden kinetiklik olarak tanımlanan model Randall ve Wilkins (1945) tarafından önerilmiştir. İkinci derece kinetiklikte, valans bantdan yayınlanan elektronların 2. kez tuzaklandıkları, Garlick ve Gibson (1948) tarafından öngörülmüştür.

Krish ve Chen, 1991 de, kararlı olabilecek parametrelerin, lüminesans bozunma eğrisinin pik formunun (PS grafiği) elde edilebileceğini rapor etmiştir. Tuzakların kinetik özellikleri ve pik formları, Lineer Modülasyon (LM-OSL) tekniği ile ilk olarak Bulur (1996) tarafından önerilmiştir. Agersnap ve diğerleri (2000); Singrayer ve Bailey (2003), LM tekniğinin uygulamaları üzerinde çalışanlardan bazılarıdır.

Sürekli dalga (CW) OSL de, iyonize radyasyona maruz kalmış bir örnek, laboratuvarında optik olarak uyarılırken lüminesans sayımları sürekli olarak gözlenebilir ve tuzaklar boşalınca kadar exponansiyel fonksiyona benzeyen sayımlar kaydedilir. Bu bozunma eğrisi, uzun uyarma sürelerinde exponansiyel olmayan bir kuyruk içerir. Sonuçta, bozunma eğrisinin şekli, örneğin yapısına, soğurulan doza, uyarma şiddetine ve sıcaklığına bağlıdır. Bailiff ve Poolton (1991) bazı feldspat örneklerinden elde ettikleri bozunma eğrisinin şeklinin,

$A(1+bt)^{-P}$ fonksiyonuna uyduğunu rapor etmişlerdir. Pek çok model, optik olarak uyarılmış yüklerin tuzaklardan kurtularak birleşme bölgesine taşındığını kabul eder. Böyle

kabul edilmiş en basit model bir tuzak ve bir birleşme merkezini dikkate alan durumdur. Bu durumu tanımlayan eşitlik,

$I=I_0 \exp(-t/\tau)$ ile tanımlanır. Burada, I_0 , $t=0$ da , lüminesans şiddeti ve $\tau= 1/f$ bozunma sabitidir. Bu durumda bozunma eğrisi, basit bir eksponansiyel fonksiyondur.

Aktif uyarmalı lüminesans yaklaşımında (AOSL) , lüminesans mekanizmasına yeni bir bakış sunulmuştur. AOSL yaklaşımının bir radyoaktif çekirdeğin ardışık bozunumuna benzetilmesinin detayları, Tanır ve Bölükdemir'in 2010-2011'deki çalışmasında gösterilmiştir.

Bu çalışmada, daha önce deneysel olarak, insan kan örneklerinin aldıkları radyasyon dozunun doğrudan belirlenmesini gerçekleştirmek için ölçülen OSL bozunma eğrilerinin verileri kullanılarak, kinetik parametreler (bozunma sabitleri) AOSL yaklaşımı kullanılarak elde edilmiştir. Aynı kan örneklerinin verilerine, LM-OSL tekniği uygulanarak sonuçları AOSL sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın GİRİŞ bölümünü sırasıyla, Genel Bilgiler, Yöntemler, Bulgular ve Tartışma/Sonuç takip etmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ardışık Nükleer Bozunma

Radyoaktif bir çekirdeğin bozunarak bir radyoaktif ürün çekirdeğin oluşması ve bu durumun devam etmesi ardışık radyoaktif bozunmalar dizisi demektir. $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ gibi.

Bu bozunma dizisinin başlangıç koşulları, iki farklı durum ile tanımlanabilir: birinci durum, $N_1(t=0) = N_0$ ve $N_2(t=0) = 0 = N_3(t=0)$. İkinci durumda, $N_1(t=0) = N_{10}$ ve $N_2(t=0) = N_{20}$ olabilir. Bozunma sabitleri, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots$ ile gösterilirler (Krane, 1987).

Bir A radyoaktif elementinin λ_1 bozunma sabiti ile, radyoaktif olan bir B elementine ve B'nin de λ_2 ile kararlı son elemente bozunumu gösteren eşitlikler Krane (1988) ve Arya (1968) tarafından yazılmış kitaplarda bulunabilir.

AOSL de, katıda tuzaklanmış elektronların $t=0$ zamanındaki sayıları ikinci duruma benzetilmiştir.

Bu çalışmada göz önüne alınan ardışık bozunma, ana çekirdeğin ürün çekirdeğe ve ürün çekirdeğin de kararlı bir elemente bozunması ile sınırlıdır. Genel olarak ilgilenilen soru, ana radyoaktif izotopun belirli sayıdaki çekirdeği ile başlanırsa, herhangi bir t anında her bir bozunmanın ürünü olan çekirdek sayısının ne olduğudur. Bu durum, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

N_1 , herhangi bir t anında λ_1 bozunma sabiti ile ürün çekirdeğe bozunacak olan ana elementin çekirdek sayısı; N_2 , λ_2 bozunma sabiti ile kararlı bir elemente bozunmuş olan ürün çekirdeklerin sayısı olsun.

Ürün çekirdeğin kararlı bir çekirdeğe bozunmuş olduğu ve $t=0$ anında $N_1=N_{10}$, $N_2=N_{20}=0$ ve $N_3=N_{30}=0$ olduğu varsayılırsa,

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (2.1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (2.2)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (2.3)$$

Eşitlik (2.1), N_1 ' in bozunma hızını tanımlar. Eşitlik (2.3), N_3 'ün oluşma hızını verirken Eşitlik (2.2) N_2 çekirdeklerinin $\lambda_1 N_1$ kadar artarken, $\lambda_2 N_2$ kadar azaldığını anlatır.

Bu Eşitliklerin çözümünü bulmakla ilgileniyoruz.

$t=0$ anında $N_1 = N_{10}$ olması şartıyla Eşitlik (2.1) un integrali alınır;

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.4)$$

Eşitlik (2.4), Eşitlik (2.2)'de yerine konursa

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.5)$$

Eşitlik (2.5)'in her iki tarafını $e^{\lambda_2 t}$ ile çarparsak

$$e^{\lambda_2 t} \frac{dN_2}{dt} + e^{\lambda_2 t} \lambda_2 N_2 = e^{\lambda_2 t} \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t}$$

$$\frac{d}{dt} (N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (2.6)$$

Şeklinde de yazılabilir. Eşitlik (2.6)'nın integrali alınır,

$$N_2 e^{\lambda_2 t} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} + C \quad (2.7)$$

C sabitinin değeri $N_2 = N_{20} = 0$

$$C = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10}$$

C değeri Eşitlik (2.7)'de yerleştirilerek her iki tarafı $e^{\lambda_2 t}$ ile bölünürse,

$$N_2 = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.8)$$

Aynı şekilde Eşitlik (2.8) $N_{30}=0$ şartlarında çözülürse

$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (2.9)$$

Bu eşitlikler, $t=0$ da $N_1=N_{10}$ ve $N_{20}=N_{30}=0$ durumu için türetilmişlerdir. Benzer işlemler takip edilerek N_1, N_2 ve N_3 için, N_{20} ve N_{30} $t=0$ anında sıfıra eşit olmasa bile, ifadeler elde edilebilir:

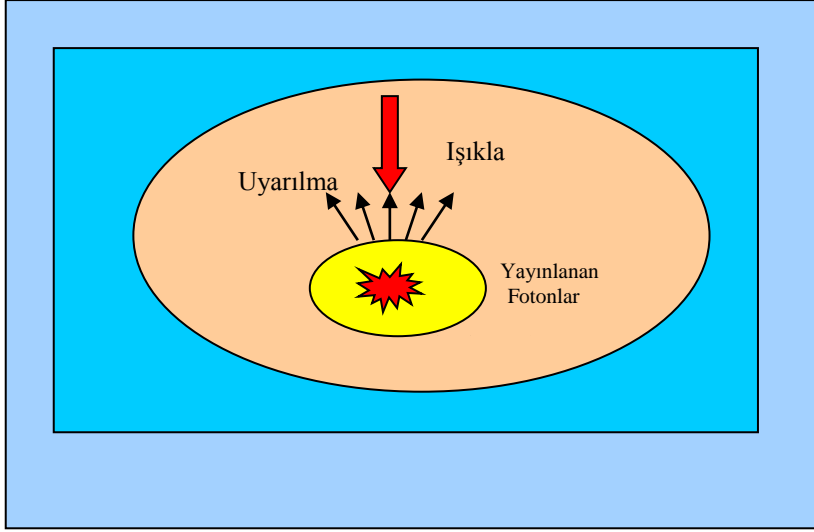
$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.10a)$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{20} e^{-\lambda_2 t} \quad (2.10b)$$

$$N_3 = N_{30} + N_{20} (1 - e^{-\lambda_2 t}) + N_{10} \left(\left[1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right] e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (2.10c)$$

2.2. Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL)

LUMİNESANS, basitçe, materyal içinde soğurulmuş enerjinin, uyarılma sonucunda görünür bölge veya civarında tekrar yayınlanmasıdır.

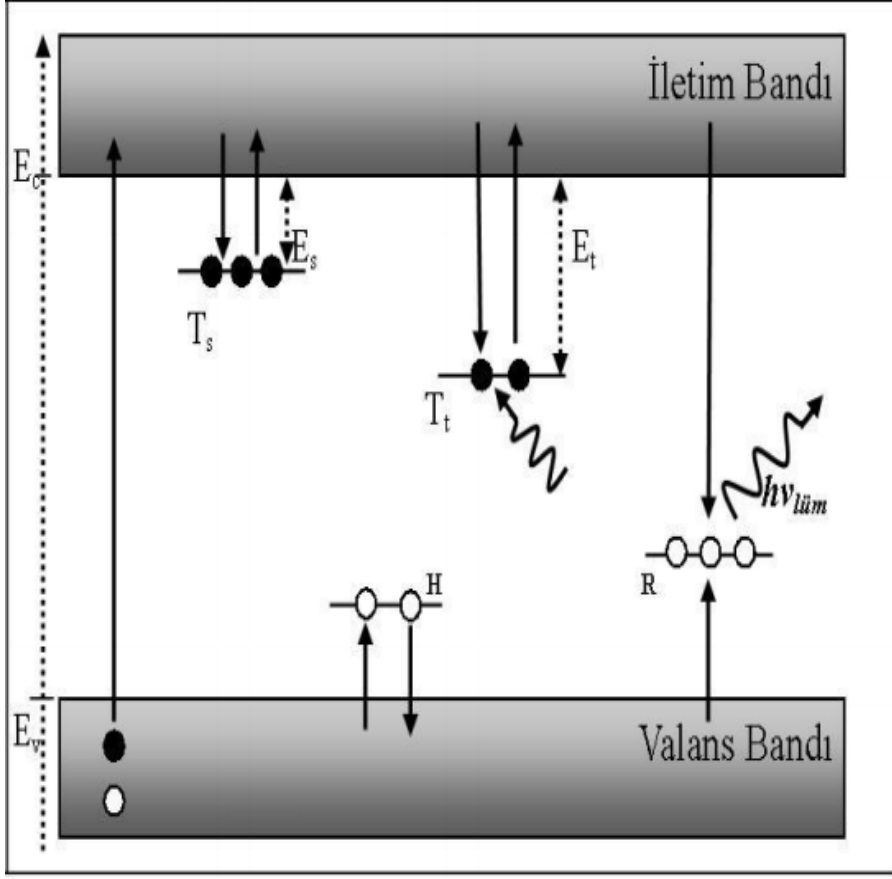


Şekil 2.1. Lüminesans yayını

Lüminesans, atom veya molekülün uyarılmasıyla yayınlanan elektromanyetik radyasyon için kullanılan genel bir ifadedir. Bir örneğin ısıtılarak uyarılmasıyla meydana gelen akkor ışık yayını ile lüminesansı ayırmak için lüminesans, soğuk ışık olarak da adlandırılır (Şekil 2.1).

Lüminesans, farklı uyarılma yollarına göre adlandırılır:

1. Fotolüminesans (fotonlar ile uyarma),
2. Katodolüminesans (elektronlar ile uyarma),
3. Kemilüminesans (kimyasal enerji ile uyarma),
4. Biyolüminesans ve Tribolüminesans (mekanik enerji ile uyarma) (Thomsen, 2004; McKeever, 1985).



Şekil 2.2. Basit katı yapıda, lüminesans mekanizmasının adımları (Aitken, 1985)

Şekil 2.2 de, bir katı yapı içinde lüminesans mekanizmasının adımları gösterilmektedir: İyonize radyasyona maruz kalmış özellikle yalıtkan bir katının valans bandından çıkarılan bir elektronun tuzaklarda hapsolmesi ve uyarılma sonucu iletim bandına giderek geri dönüşünde bir deşik ile birleşmesi ile yayınlanan lüminesans olayı anlatılmaktadır.

Uyarma ışığının dalga boyu, Enerji $(hv) = 1240/\lambda$ ile verilir. Böylece yeterli derinlikteki tuzaktan ($\sim 1,7$ eV) bir elektron çıkarmak için $1240/1,7 = 730$ nm den küçük dalga boylu uyarma ışığına gereksinim vardır.

OSL de uyarıcı ışığın dalga boyu ile yayınlanan ışığın dalga boyu arasında bir korelasyon yoktur.

OSL mekanizmasını tam olarak anlamaktaki güçlük, doğasındaki karmaşıklık, birbirlerini etkileyen durumların fazlalığı ve lineer olmayan işlemlerin varlığıdır. Mekanizmayı açıklamak için kullanılan en basit model bile çok açık değildir. Ancak son yıllardaki

karmaşık işlemleri çözmeye yarayan bilgisayar programları nispeten açıklık sağlamaktadır. Bu durum göz önüne alındığında “ lüminesansın üretilme mekanizmasının ayrıntısı nasıldır?” sorusuna yapılan çözüm önerileri OSL modellerinin doğmasına neden olmuştur.

Katıda en dışta bulunan iki bant, valans (valance) ve iletim bandı olarak adlandırılır. Bu izinli iki enerji durumu, arada bulunan yasak enerji aralığı ile ayrılır. Şekil 2.'de görülen, valans bant, 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 bandın 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 hemen hemen serbest elektronlardır. Bant aralığının enerjisi, ($E_g=E_v-E_c$) kristaldeki bir bağı koparmak için gerekli olan enerjidir. Bir bağ koparıldığında, elektron valans bandından ayrılmak için gerekli enerjiyi soğurur ve iletim bandına geçer. Kristaller, bant aralığının genişliğine göre sınıflandırılabilirler. Bant aralığının genişliği ~3-10 eV arasında ise kristal yalıtkan (çok zayıf iletken), genişlik ihmal edilecek kadar küçük veya yoksa (valans ve iletim bandı üst üste ise) iletken iletken olarak adlandırılır. Yarıiletken materyaller iletken ve yalıtkan arasında bulunurlar.

Böylece, elektronların kendi termal enerjileri valans bandından iletim bandına geçecek kadar büyük olmadığı için, yalıtıkta iletim bandı sadece birkaç elektron içerecektir.

Optik Uyarımalı Lüminesansda, lüminesans yayını, optik uyarma ile oluşturulur. İlk ölçümler argon lazeri kullanılarak kuvars ve feldspat ile yapılmıştır (Huntley ve diğerleri, 1985). OSL 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. OSL, TL'ye karşı çeşitli avantajlara sahiptir. (Thomsen, 2004). OSL'nin en önemli avantajı, uyarma işleminin oda sıcaklığında yapılabilmesidir, böylelikle ısıtmanın olumsuz etkisi olan termal sönme gözlenmemektedir (Bøtter-Jensen ve diğerleri, 2003, 182; Bölükdemir, 2007).

OSL dozimetrisinin gündemde olan kullanımları:

1. Personel dozimetri
2. Çevre dozimetri

3. Medikal dozimetri

4. Kaza dozimetri olarak sınıflandırılabilir.

Kristali uyarma ve ışık sinyallerinin dedeksiyonu için farklı uyarma işlemleri vardır. Bazıları aşağıda özetlenmiştir (Pradhan ve diğerleri, 2008).

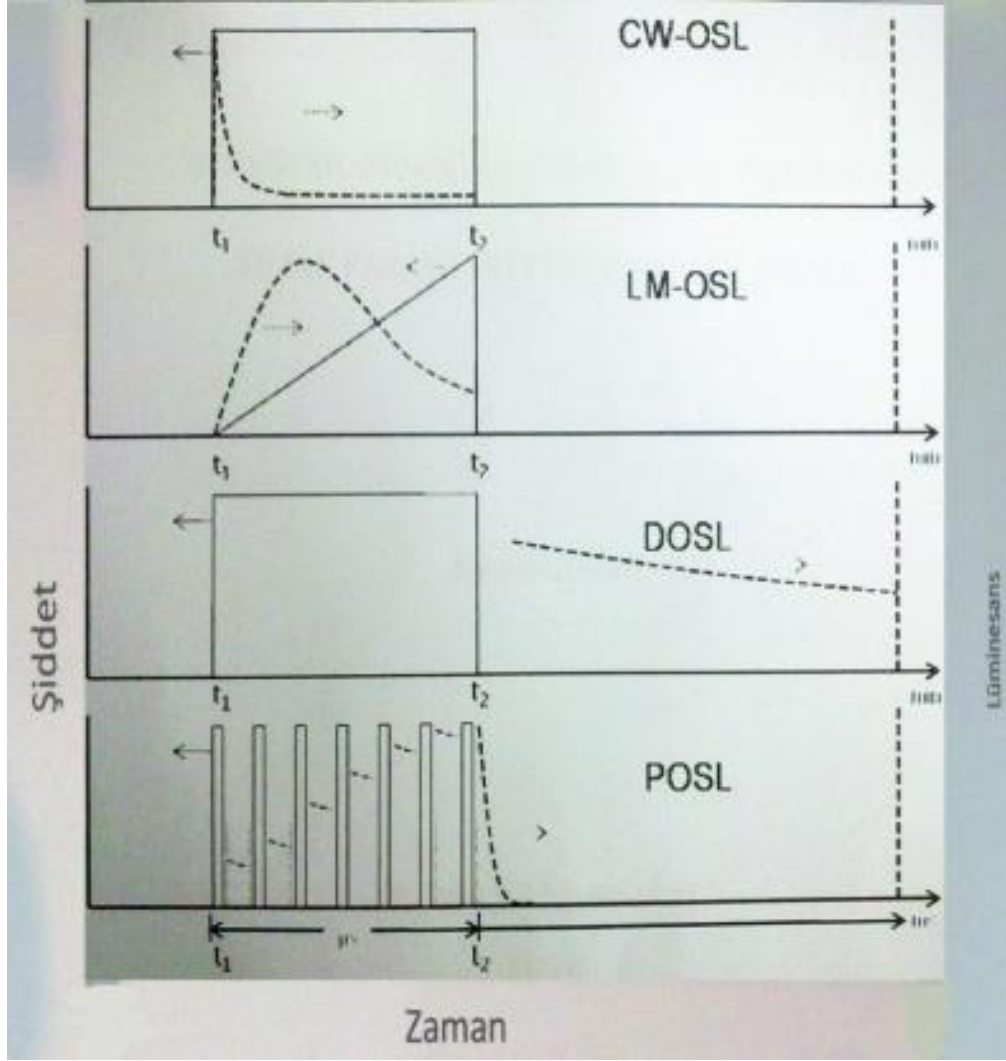
CW-OSL (Sürekli dalga OSL): sürekli ışık vererek uyarma.

LM-OSL (Lineer Modülasyon OSL): CW-OSL den farklı olarak, uyarma ışığının şiddeti lineer olarak artırılır.

DOSL (Gecikmiş OSL): materyale bir ön radyasyon verilir. Lüminesans uyarma ışığı kapatıldıktan sonra ölçülür.

POSL (Pulslu OSL): DOSL'ye benzer ancak kısa pulslar ile uyarma yapılır.

PTOSL (Foto Transfer OSL): materyal radyasyona maruz bırakılır ve derin tuzaklara dokunmadan dozimetrik tuzaklar boşaltılır. Derin tuzaklardan elde edilen sinyallere PTOSL denir.



Şekil 2.3. Farklı uyarma mekanizmaları ile en yaygın kullanılan lüminesans işlemleri (Bøtter-Jensen ve diğerleri, 2003, 182; Bölükdemir, 2007; (Pradhan ve diğerleri, 2008)

2.3. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

İyonize radyasyonun hedefle etkileşmesinin temeli, atom veya molekülün iyonize edilmesidir. Hedefin, radyasyonla etkileşmesi sonucunda, birim kütlesi başına soğurduğu enerjiye DOZ denir. Etkileşmeyi, hedefin biyolojik bir doku olduğunu göz önüne alarak biraz daha özelleştirirsek, radyasyonun biyolojik etkilerini incelemiş oluruz:

İyonize radyasyonun (x ve gamma ışınları, alfa ve beta parçacıkları vb.) zararlı etkileri, 1895 yılında x-ışınlarının keşfinden birkaç ay sonra cilt reaksiyonları ile gözlenmiştir. Vücut organları üzerindeki zararlı etkileri 1902 ye kadar yayınlanan raporlardan anlaşılmaktadır.

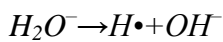
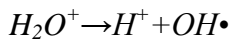
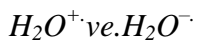
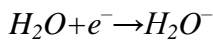
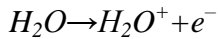
Dokular, şekil ve işlevleri farklı, çapları 3µm den 100µm ye kadar değişen hücrelerden oluşur. Yetişkin bir insanda yaklaşık 5×10^{13} hücre bulunur. Hücrenin en önemli ve yoğun olan kısmını da çekirdek oluşturur ve çekirdeğin en önemli molekülü de DNA dır.

İyonize radyasyonun biyolojik bir ortamla etkileşme mekanizmasının adımları şöyle sıralanabilir (Krane, 1987):

- 1- Radyasyon dokudaki atomları iyonlaştırır; bu işlem 10^{-16} s veya daha kısa bir sürede meydana gelir.
- 2- İyonlaşmış moleküller serbest radikalleri oluşturur veya diğer uyarılmış moleküllerin oluşturduğu kimyasal reaksiyonlara katılabilirler; Bu işlem 10^{-3} ile 10^{-15} s arasında bir sürede oluşabilir.
- 3- Serbest radikaller birleşerek karmaşık biyolojik yapılar oluşturabilirler ve biyolojik fonksiyonların değişmesine neden olurlar. Bu işlemin etkileri saatler ve yıllar içinde görülebilir.

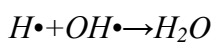
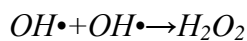
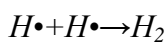
Etkileşmede, 2. basamağın atlanarak 3. basamağın görülmesi mümkündür.

İnsan vücudunun yaklaşık %80 'inin sudan ibaret olması nedeni ile radyasyonun su moleküllerini iyonlaştırması ilk adımdır:

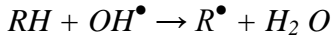
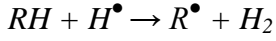


Sonuç bir iyon ve bir serbest radikalın oluşmasıdır.

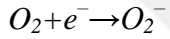
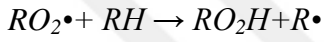
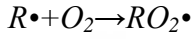
Serbest radikal kimyasal bağa katılan ve serbest bir elektrona sahip (çiftlenmemiş) nötr bir atom veya moleküldür. Bu serbest radikaller son derece reaktif olduklarından yaklaşık 10^{-6} s de saf sulu bir ortamda şu mümkün reaksiyonları yapabilirler:



Ortamin organik madde olması durumunda serbest radikal bir RH kombinasyonu oluşturabilir. Sonuç biyolojik olarak daha karmaşık bir sistemin parçası olabilecek R serbest radikalinin oluşmasıdır ve böylece sistemin fonksiyonu değişebilir; ölümlle sonuçlanabilir; genetik mutasyona uğrayabilir.



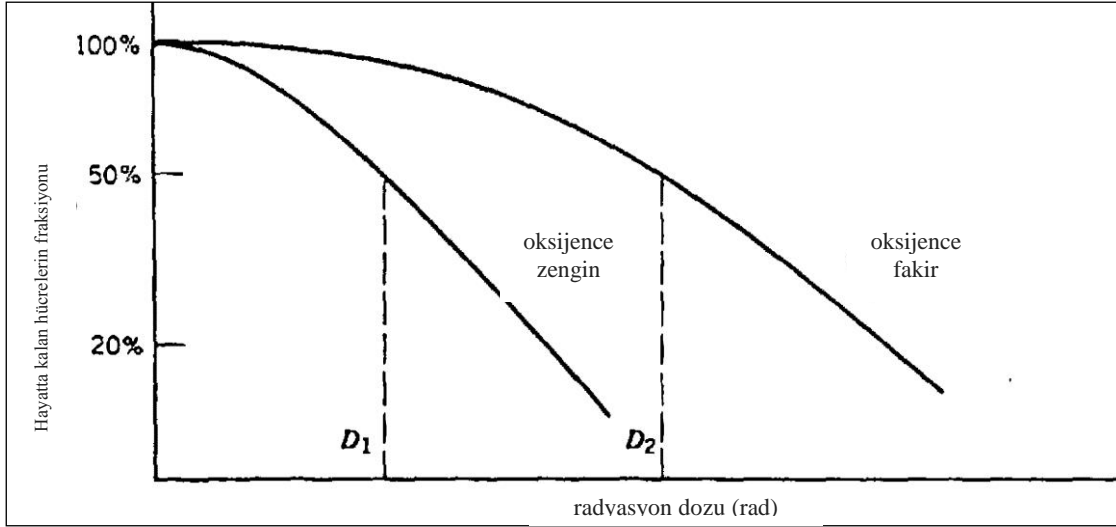
Radyasyona maruz kalan hedef oksijen bakımından zenginse,



Elektronun oksijen tarafından yakalanması, istenmeyen kimyasal reaksiyonların başlamasına neden olacağı gibi serbest elektronun iyonlaşma sonucu üretilen iyonlarla tekrar birleşmesini önleyeceğinden, radyasyon zararı elektronların tekrar yakalanması yoluyla iyileştirilemez. Bu olay oksijen etkisi olarak adlandırılır.

Oksijen Etkisi, fazlaca oksijenlendirilmiş dokuda kendini gösterir; Tümörler normal dokulara göre daha düşük kan miktarına sahiptirler, dolayısı ile oksijence daha fakirdirler.

Ortamdaki oksijen mevcudiyeti radyasyonun biyolojik etkisini artırmaktadır. Çünkü oksijen, H₂O₂ (hidrojenperoksit) ve diğer organik peroksitlerin oluşmasını artırır. Bu reaksiyonlar sonucu biyolojik hasar ilerler ve kalıcı hasarlar oluşur. Yani, radyasyona hassasiyeti artırmak için en sık kullanılan kimyasal etken oksijendir. İyi oksijenlenen hücreler, hipoksik (oksijence fakir) hücelere oranla 2,5 ile 3 kez daha radyasyona hassas bulunmuştur. İnsan vücudunda istisnalar olmasına rağmen normal dokuların oksijenlenmeleri hemen hemen aynıdır. Büyük olasılıkla tüm hücrelerin yaklaşık %30'unun hipoksik olduğu söylenmektedir. Yani tümör hücrelerinin oksijence fakir olması onları radyasyona karşı korumaktadır denilebilir.



Şekil 2.4. Verilen D_1 radyasyon dozu için, hayatta kalan oksijen bakımından zengin hücrelerin fraksiyonu, oksijen bakımından fakir hücrelerin fraksiyonundan daha küçüktür. Aynı fraksiyonda oksijen açısından fakir hücreleri öldürmek için daha yüksek bir D_2 dozu gerekir (Krane, 1987)

DNA, hücre çekirdeğinde kromozomu meydana getiren genlerin yapıtaşlarıdır ve hücre bölünmesi, protein sentezi gibi hücrenin canlılığını temin eden işlemleri yönetir. Aralarında köprüler bulunan iki zincir halindedir ve her zincir bir şeker (deoksiriboz) ve bir fosforik asit tekrarından oluşan bir zincirdir. Bu iki molekül aralarında baz çiftleri ile bağlanmışlardır (adenin ve guanin veya sitozin ve timin). Bu baz çiftlerinin dizilme biçimleri genetik kodu oluşturur. Bu DNA molekülü direkt olarak elektron tarafından hasara uğratılabilir ama daha çok, dolaylı olarak, suyun radyolizi ile oluşan serbest radikaller tarafından hasarlar meydana getirilir. Baz çiftlerinde ve şeker moleküllerinde ara kimyasal bağlar çözülerek zincirde kopmalar, yanlış yerden yeni bağlanmalar meydana gelir. Hücre bu hasarı tamir edemezse ya ölür veya canlılığını devam ettirir. Ancak genetik kodda yer alan bu değişiklik (mutasyon), hücre bölünmesi ile nesilden nesile aktarılacaktır.

Biyolojik etkilerde, LD50/60 tanımı vardır: radyasyona maruz kalan nüfusun %50 sinin 60 gün içinde öleceği anlamını taşır.

2.4. Kanın İçeriği

Kan, plazma adı verilen sıvıda süspansiyon halinde hücresel elementleri içeren dokudur. Damarların içini doldurur ve kalbin yardımıyla tüm vücudu dolaşır. Hücrelere oksijen ve besin maddelerini taşır, metabolizma sonucu oluşan zararlı atıkları toplar, hücrelerden

uzaklaştırır vücuttan atılabilecekleri organlara götürür. Oksijeni (O₂) açığa çıkarır, açığa çıkan bu CO₂ hücre dışına atılır. Kan, karbondioksiti solunumla vücut dışına atılması için akciğerlere taşır.

Kan, taşıdığı hormonlar, vitaminler ve inorganik maddeler aracılığıyla hücreler ve organlar arasındaki iletişimi ve düzeni sağlar.

Kan, çeşitli hücrelerin yardımıyla vücudu yabancı maddelerin, mikroorganizmaların ve toksinlerin etkisinden korur. Bu işlevi fagositoz ve vücutta su ve tuz dengesinin korunmasına yardım ederek tüm hücrelerin belirli bir gerginlik içinde görevlerini sürdürmelerini sağlar.

Yetişkin bir insanda yaklaşık 5 litre kan vardır. Kan, kan hücreleri ve kanın sıvı bölümü (plazma) olmak üzere başlıca iki ögeden oluşur. Plazmanın yaklaşık %90'ı su, %10'u çeşitli organik ve inorganik maddelerden oluşur. Fibrinojen, kanın pıhtılaşmasını sağlayan büyük moleküllü proteindir. Fibrinojen çeşitli yollarla plazmadan uzaklaştırıldığında, serum denilen kan sıvısı elde edilir. Fibrinojen kanın yapışkanlığını sağlar. Damardan bir parça kan alıp bir cam tüpün içine koyarsak, biraz sonra kanın pıhtılaştığı görülür. Pıhtılaşan kan, tüpün dibine çöker, üstünde altın sarısı bir sıvı toplanır. Buna serum denir. Kanın vücut ve damar içindeyken taşıdığı özellikler serumda da vardır.

Kan damarlardan çıktıktan sonra, ona çabucak Citrade de soude, acide oxalique gibi bazı maddeler katılacak olursa kan pıhtılaşma özelliğini kaybeder. Bu kanda da al ve akyuvarlar dibe çöker, üstlerinde yine bir sıvı kalır. Buna da plazma denir; insandan insana kan nakledilirken, alınan kanın pıhtılaşmaması için bu ilaçlardan faydalanılır. Kan saklarken de aynı usule başvurulur.

Kanın element içeriği aşağıda listelenmiştir:

Kan içeriği (ICRP):

Yoğunluk (g/cm³) = 1,06000E+00

Ortalama Uyarılma Enerjisi (eV) = 75,200000

Çizelge 2.1. Kanın element içeriği

Atom Numarası	% Ağırlık Kesri
1 (H)	0,101866
6 (C)	0,100020
7 (N)	0,759414
11 (Na)	0,001850
12 (Mg)	0,000040
14 (Si)	0,000030
15 (P)	0,000350
16 (S)	0,001850
17 (Cl)	0,002780
19 (K)	0,001630
20 (Ca)	0,000060
26 (Fe)	0,000460
30 (Zn)	0,000010



3. KİNETİK PARAMETRELERİ ELDE ETME YÖNTEMLERİ

Lüminesans mekanizmasının temel kinetik parametreleri, aktivasyon enerjisi, bozunma sabiti, kinetiklik derecesi, frekans faktörü ve tuzak konsantrasyonu olarak ifade edilir. Deneysel elde edilmiş OSL bozunma eğrilerini kullanarak, kinetik parametreleri tam olarak belirleyecek analitik bir yöntem yoktur. Bu parametrelerin hesaplamasında kullanılan bazı yöntemler hakkında kısa açıklamalar aşağıda sunulmuştur.

1. Termal eğri fit modeli
2. GO (General Order) modeli
3. LM-OSL (Lineer Modülasyon OSL) tekniği
4. AOSL (Aktif OSL) yaklaşımı

3.1. Termal Eğri Fit Modeli

Spooner (1994) ve Huntley ve diğerleri (1996) uyarma sıcaklığına bağlı olarak elde edilen toplam lüminesanstaki azalmayı termal sönme ile açıklamışlar ve elde ettikleri verileri,

$$\eta = \frac{1}{\left(1 + ce^{-E/kT}\right)} \quad (3.1)$$

eşitliğine uygun şekilde fit etmişlerdir. Burada, T, katının sıcaklığı; E, aktivasyon enerjisi; η , lüminesans verimi; c, boyutsuz bir sabit; k, Boltzmann sabitidir. Bu eşitlik lüminesans veriminin termal olarak azalmasını göstermektedir.

Lüminesans veriminin sıcaklıkla değişimi deneysel olarak elde edildikten sonra veriler Eşitlik 3.1'e fit edilerek c ve E belirlenmektedir.

Bu çalışmada kullanılan deneysel veriler, kan örnekleri kullanılarak elde edilen lüminesans sayımlarıdır ve sıcaklıkla değişimleri incelenmemiştir. Kan örnekleri sıcaklıkla bozulmaktadır ve oda sıcaklığının hemen üstünde bile sayım alınamamaktadır.

3.2. GO (General Order) Modeli

Bu model, 2005'de Rasheedy (2005) tarafından önerilmiş ve lüminesans şiddeti, Eşitlik 3.2 ile tanımlanmıştır.

$$I(t) = \frac{-dn}{dt} = N \frac{n^b}{b-1} s e^{-E/kT} \quad (3.2)$$

E, aktivasyon enerjisi;

k, Boltzmann sabiti;

T, sıcaklığı;

n, T sıcaklığında tuzaklanmış olan toplam elektron sayısı;

N, tuzak konsantrasyonu;

b, kinetiklik derecesi;

s, frekans faktörünü tanımlar (Ogundare ve diğerleri, 2006).

Bu modelde, lüminesans veriminin sıcaklığa göre grafiği, pik-formuna dönüştürülerek farklı noktalara karşılık gelen T_1 , T_2 ve T_3 sıcaklıkları tespit edilir. Bozunma eğrisinin pik formunun maksimum şiddetine karşılık gelen sıcaklık (T_m) belirlenir.

Kinetiklik derecesi, bir kristalde elektronların tuzaklardan kaçma olasılığı, matematiksel olasılık teorilerindeki bağıntılarla ifade edilebilmektedir. Tuzaklardan kurtulan elektronların tekrar tuzaklanmadığı durum birinci derece kinetiklik olarak tanımlanır. İkinci dereceden kinetiklik ifadesi, yeniden tuzaklanmanın baskın olduğu bir durumu tanımlar (Randall ve Wilkins, 1945). Lüminesans işlemlerinde 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 (Furetta, 2003). Frekans faktörü, kristalde 1 cm^3 'de saniyede tuzaklanmış elektronların sayısını ifade etmektedir (Ogundare ve diğerleri, 2006). GO metodu termolüminesans (TL) için önerilmiş bir yöntem olmasına rağmen OSL için uygulandığı çalışmalara literatürde rastlamak mümkündür.

3.3. LM-OSL (Lineer Modülasyon OSL) Tekniği

LM-OSL tekniği, ilk olarak Bulur (1996) tarafından önerilmiştir. Bu teknikte, katıyı uyaran ışık şiddeti sıfırdan bir maksimum değere lineer artırılırken lüminesans sayımları kaydedilir.

LM-OSL tekniği, CW-OSL'den (sürekli dalga) farklı olarak bozunma eğrisini pikler halinde gösterir. Bu teknik, Bulur ve Göksu (1997) tarafından feldspat içeren jeolojik örneklere uygulanmıştır (Bulur, 2001).

LM tekniği uygulanarak elde edilen OSL eğrisi önce artarak bir maksimuma ulaşır. LM-OSL verilerinin analizi, tuzaklardan elektron çıkarma hızı ve uyarma ışığının şiddeti arasında bir ilişki olduğunu kabul ederse de farklı yalıtkanlarla yapılan deneysel çalışmaların sonucu bu kabulün de şüpheler olduğunu söyler (Bulur ve diğerleri, 2001).

LM-OSL ile ölçülen pik formundaki bozunma eğrisi, farklı tuzaklardan yayınlanan sinyallerin üstüste binmesinden oluşur: $I(u)=I_1(u)+I_2(u)$.

CW-OSL eğrisini LM-OSL eğrisine dönüştürmek için yeni bir bağımsız değişken, u , tanımlanır:

$$U = \sqrt{2tP}$$

$$t = \frac{u^2}{2P} \quad (3.3)$$

Burada u , t gibi saniye birimindedir. P , LM-OSL'de sayma süresidir. Burada, zaman, t 'den, u 'ya dönüşmüştür. t , CW-OSL'de ölçülen toplam zaman ise LM-OSL'de $P=2t$ seçmek uygundur (Bulur, 2000). Bulur ve diğerleri, (2001) tarafından yapılan çalışmalarında, $Al_2O_3:C$ için uygulamalar verilmiştir. şekil 3.1'de. Bulur ve diğerleri, (2001) tarafından yapılmış çalışmada $Al_2O_3:C$ için LM-OSL grafiğini göstermektedir.

Bir tuzak ve bir birleşme merkezini içeren, 1. dereceden LM-OSL bozunma eğrileri (Bulur ve diğerleri, 2001).

$$L(t) = n_0 b e^{-bt} \quad (3.4)$$

Eşitlik (3.3), Eşitlik (3.4)'te yerine yazılıp ve eşitliğin her iki tarafı $\frac{u}{P}$ ile çarpılırsa

$$I(u) = n_0 \frac{b}{P} u e^{-\frac{b}{2P} u^2}$$

elde edilir. Burada n_0 , ilk tuzak konsantrasyonunu, b de lüminesans bozunma eğrisinin bozunma sabitini temsil eder.

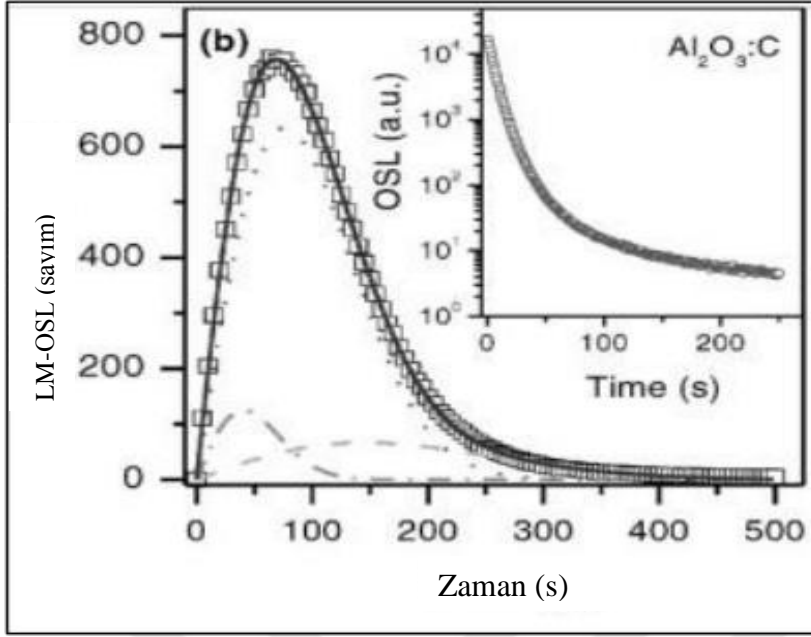
Genel dereceden kinetiklik için sunulan ifadeler,

$$t_m = \sqrt{\frac{2}{\beta-1}} \frac{P}{b \left(\frac{n}{n_0}\right)^{\beta-1}}$$

$$I_m = \frac{2n_0}{\beta-1} \frac{1}{t_m} \left(\frac{2\beta}{\beta+1}\right)^{\beta/1-\beta}$$

şeklinde tanımlanır (Bulur ve diğerleri, 2001).

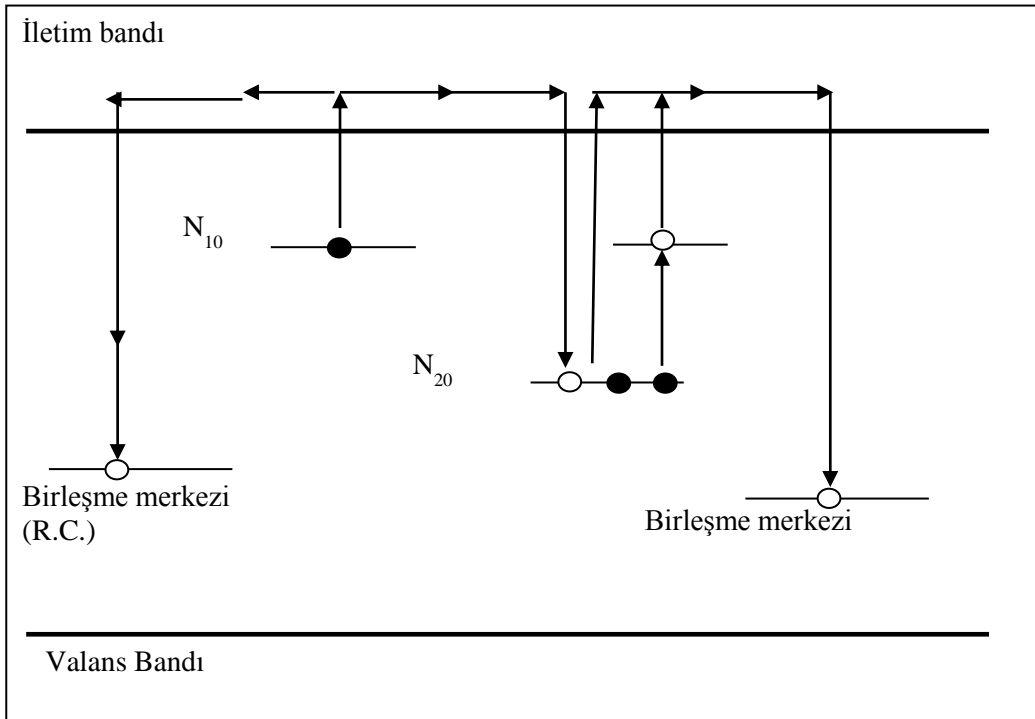
Burada β , boyutsuz ve pozitif bir sayıdır; n_0 , tuzaklanmış elektronların ilk sayısıdır.



Şekil 3.1. $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ için LM-OSL grafiği (Bulur ve diğerleri, 2001)

3.4. Aktif-OSL (AOSL) Yaklaşımı

Tanır ve Bölükdemir (2010) tarafından önerilen AOSL yaklaşımını Şekil 3.2’de şematik olarak göstermektedir



Şekil 3.2. AOSL yaklaşımı (Tanır ve Bölükdemir, 2010)

Şekil 3.2'deki diagram, optik olarak uyarılan bir örnek içindeki yüklerin hareketlerini öngörmektedir. Tuzaklanmış elektron sayısı, $t=0$ da N_{10} ve N_{20} olarak tanımlanmıştır (Tanır ve Bölükdemir, 2010).

İyonize radyasyona maruz kalarak, valans bantdan ayrılıp yasak enerji aralığında tuzaklanan elektronların ışık ile uyarılmaları sonucunda tuzaklardan kurtulan elektronların lüminesans yayınlamaları, bir radyoaktif elementin ardışık bozunumuna benzetilmiştir, ancak özdeş değildir. Bir katı yapı içindeki tuzaklar, genellikle sığ, orta ve derin tuzaklar olarak tanımlanabilir. Sığ tuzaklardaki elektronlar, ışık ile uyarıldıklarında iletim bandına λ_1 hızıyla geçebilirler ve tekrar birleşme merkezleri ile birlikte orta veya derin tuzaklarda tuzaklanabilirler. Derin tuzaklardan çıkan yükler de ya sığ tuzaklara veya iletim bandına gidip tekrar birleşme merkezlerine dönüp lüminesans yayınlanmasına neden olabilirler. Bu durumu tanımlayan eşitlikler nükleer bozunmaya benzer olarak, aşağıda gösterilmektedir. OSL şiddetinin zaman ile değişimi üstel fonksiyon olarak tanımlanır. Bozunma eğrisi iki veya üç basit üstel fonksiyonun toplamı olarak ifade edilebilir. Eşitlik 4 kullanılarak, bozunma eğrisi pik formuna dönüştürüldüğünde pikler görülür (Tanır ve Bölükdemir, 2010). Bozunma sabitlerinin birbirine yakın ve tuzak elektron popülasyonlarının çok farklı olmaması durumunda bozunma sabitlerinin belirlenebileceği pikler net olmamaktadır. Bu durumda, nükleer bozunmada uygulandığı gibi, lüminesans şiddetinin logaritması t 'ye göre çizildiğinde farklı λ 'ları bulmak mümkün olmaktadır.

Şekil 3.2'de geçişlerin hepsi ok işaretiyle gösterilmiştir. AOSL yaklaşımı, birbirine özdeş olmayan radyoaktif elementlerin peş peşe bozunumuna benzer. Radyasyona maruz kalmış insan kanında sığ ya da dozimetrik tuzakların olduğu kabulü göz önüne alınmıştır. Sığ tuzaklardan yayınlanan elektronlar, iletim bandına çıkıp birleşim merkezi (RC)ye gelebilirler veya dozimetrik tuzaklarda tuzaklanabilirler. Sığ tuzaklardaki elektronlar ışık ile uyarıldıklarında iletim bandına λ_1 hızıyla geçebilirler ve tekrar birleşme merkezleri ile birlikte orta veya derin tuzaklarda da tuzaklanabilirler. Derin tuzaklardan çıkan yükler de ya sığ tuzaklara veya iletim bandına gidip tekrar birleşme merkezlerine dönüp lüminesans yayınlanmasına neden olabilirler. Bu durumu tanımlayan eşitlikler nükleer bozunmaya benzer olarak, Eşitlik 3.4 ve 3.5'te gösterilmektedir. Eşitlik.4 kullanılarak elde edilen lüminesans bozunma eğrileri ile deneysel lüminesans bozunma eğrileri karşılaştırılmıştır. Eşitlik 3.4 bir radyoaktif çekirdeğin ardışık bozunumunu gösteren ifadedir. Ancak Eşitlik 3.5 Ardışık nükleer bozunmaya uğrayan bir radyoaktif çekirdeğin aktiflik ifadesine

bir modifikasyon yapılarak elde edilmiş bir ifadedir. Bu ifade ile elde edilen lüminesans şiddetidir.

OSL şiddetinin zaman ile değişimi üstel fonksiyon olarak tanımlanır. Bozunma eğrisi iki veya üç basit üstel fonksiyonun toplamı olarak ifade edilebilir. I OSL, lüminesans şiddeti; N_{10} ve N_{20} tuzak konsantrasyonu; λ_1 ve λ_2

Bozunma sabitidir. Burada $t=0$ da $N_1 = N_{10}$ ve $N_2 = N_{20}$ olarak alınır.

$$N = N_1 + N_2 = N_{10}e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}] + N_{20} e^{-\lambda_2 t} \quad (3.4)$$

$$I = I_1 + I_2 = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}] + \lambda_2 N_{20} e^{-\lambda_2 t} \quad (3.5)$$

OSL bozunma eğrilerinin grafiği Eşitlik 3.4 kullanılarak çizilebilir. Yani Eşitlik 3.4, belli bir zaman aralığı içinde sayılan lüminesans fotonlarının sayısını göstermektedir ve OSL bozunma eğrisini temsil etmektedir. Kinetik parametreleri bulmak için Eşitlik 3.5 kullanılarak, bozunma eğrisi pik formuna dönüştürüldüğünde pikler görülür. OSL bozunma eğrisi, lüminesans sayımlarının zamana göre çizilen grafiğidir.

Kan örnekleri için TL tekniğini uygulamak olanağı yoktur. Çünkü örnekler sıcaklıkla bozulmaktadır. Sıcaklık ile Lüminesans sayımının değişimi belirlenemediği için Termal Fit, GO Modeli gibi diğer teknikleri uygulama olanağı bulunmamaktadır. Dolayısı ile, Aktif uyarmalı OSL yaklaşımı olarak adlandırılan yöntem (AOSL) ve LM-OSL tekniği ile bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bozunma eğrileri, farklı hazırlanmış kan örnekleri için elde edilmiştir. Bunlar:

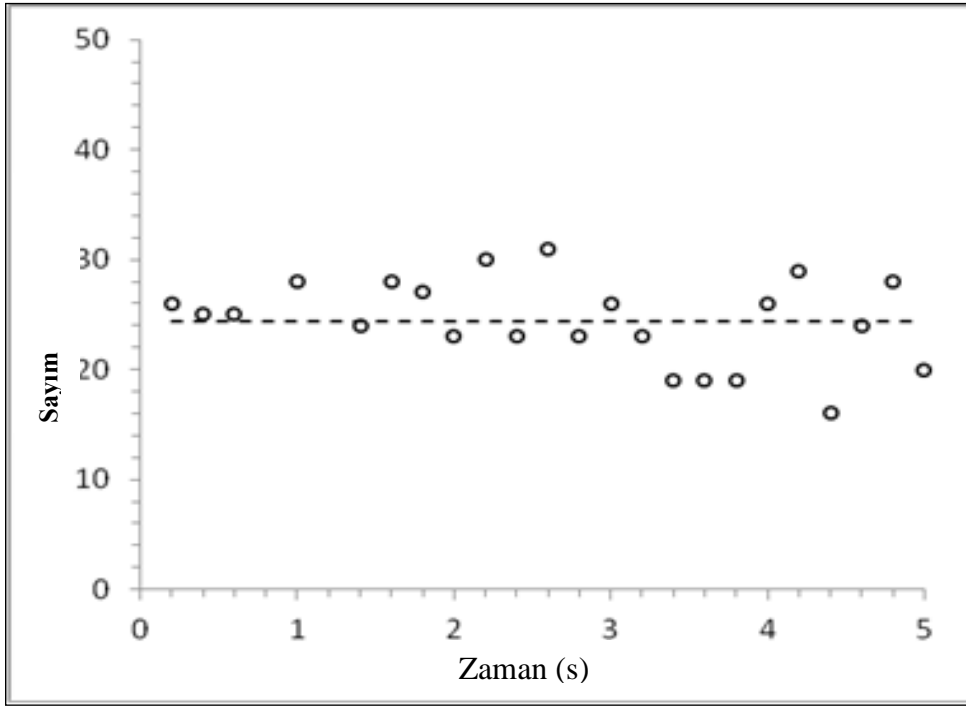
- 1- Radyoizotop tanı/ tedavisi almamış insandan elde edilen kan örnekleri;
- 2- Nükleer Tıp merkezinde radyoizotop tedavisi almış insan kan örneği

Yukarıda sıralanan farklı hazırlanmış örneklerin bozunma eğrilerine, öncelikle exponansiyel fit uygulanmıştır. Hemen hemen 1' e yakın bir korelasyon faktörü elde edilmiş olan veriler (bozunma sabitleri) dikkate alınarak daha önce Bölüm 2 de detaylandırılmış olan AOSL ve LM teknikleri uygulanmıştır.



4. BULGULAR

OSL sisteminde, sağlıklı insan kan örneklerinden elde edilen sayımları gösteren grafik Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu grafikte görülen CW-OSL bozunma eğrisine benzer bir bozunma eğrisinin elde edilmediği görülmektedir. Bu sayımlar bu kan örneğinin iyonize radyasyona maruz kalmadığını belirtmektedir.



Şekil 4.1. Bir radyasyon kaynağına maruz kalmamış sağlıklı insan kanından elde edilen lüminesans sinyalleri; görüldüğü gibi sinyaller sadece taban sayımı düzeyindedir (Tanır ve diğerleri, 2010)

Bu çalışmada, daha önce Tanır ve diğerleri (2010) tarafından kan örnekleri için deneysel olarak elde edilmiş OSL eğrilerinin bozunma olasılık parametrelerinin eldesi üç farklı işlem için gerçekleştirilmiştir: Kesim 4.1’de, nükleer tıp merkezinde radyoizotop enjekte edilmiş kan örneklerinin bozunma eğrileri; Kesim 4.2’de, bir radyoizotopa maruz kalmamış kan örneği serumunun bir tüp içine yerleştirilerek laboratuvarında ^{99m}Tc enjekte edilmesiyle elde edilen bozunma eğrileri; Kesim 4.3’de sağlıklı kan örneğinin dışarıdan radyoaktif kaynağa maruz bırakılmasıyla ölçülen bozunma eğrileri: ve Kesim 4.4’de, aynı deneysel veriler kullanılarak LM-OSL tekniğinin uygulanmasıyla kinetik parametrelerin elde edilmesi. Kesim 4.1 , 4.2 ve 4.3’deki veriler öncelikle $y = a \exp(-bx) + c \exp(-dx)$ ifadesine fit edilmiştir. a, b, c ve d değerleri tespit edilerek Eşitlik 3.4 ve Eşitlik 3.5’de

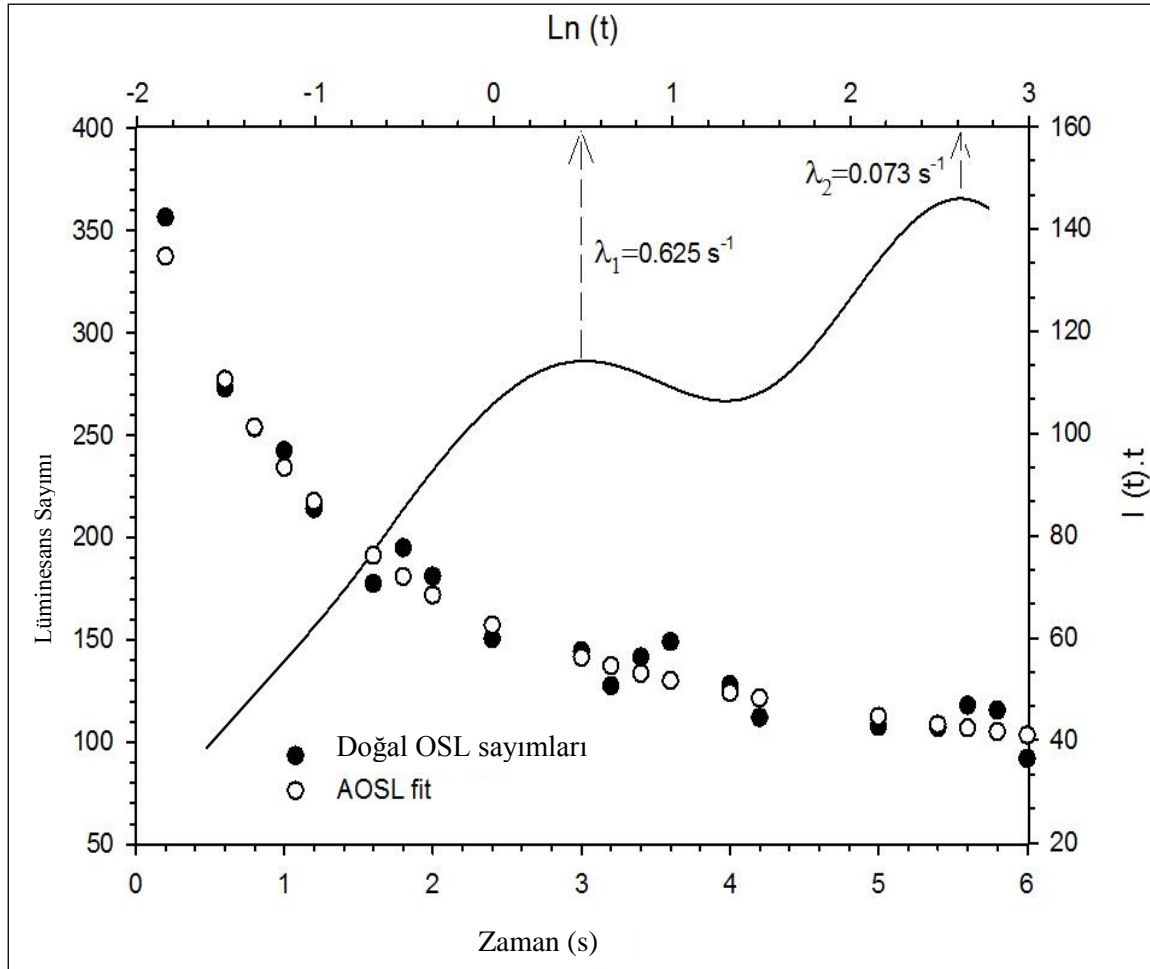
yerlerine yazılmıştır. Aktiflik veya OSL şiddeti olarak dikkate alınan Eşitlik 3.5 kullanılarak pik formu grafiği elde edilmiştir. Pik formu grafiği (PS-plot), $t.I(t)$ nin $\ln(t)$ 'ye göre çizilmiş grafikdir. Şunu belirtmek önemlidir: Deneysel veriler doğrudan Eşitlik 4.1'de fit edilerek de bu katsayıları bulmak mümkündür.

4.1. Radyoizotop Tanı/Tedavisi Almış Kan Örneği

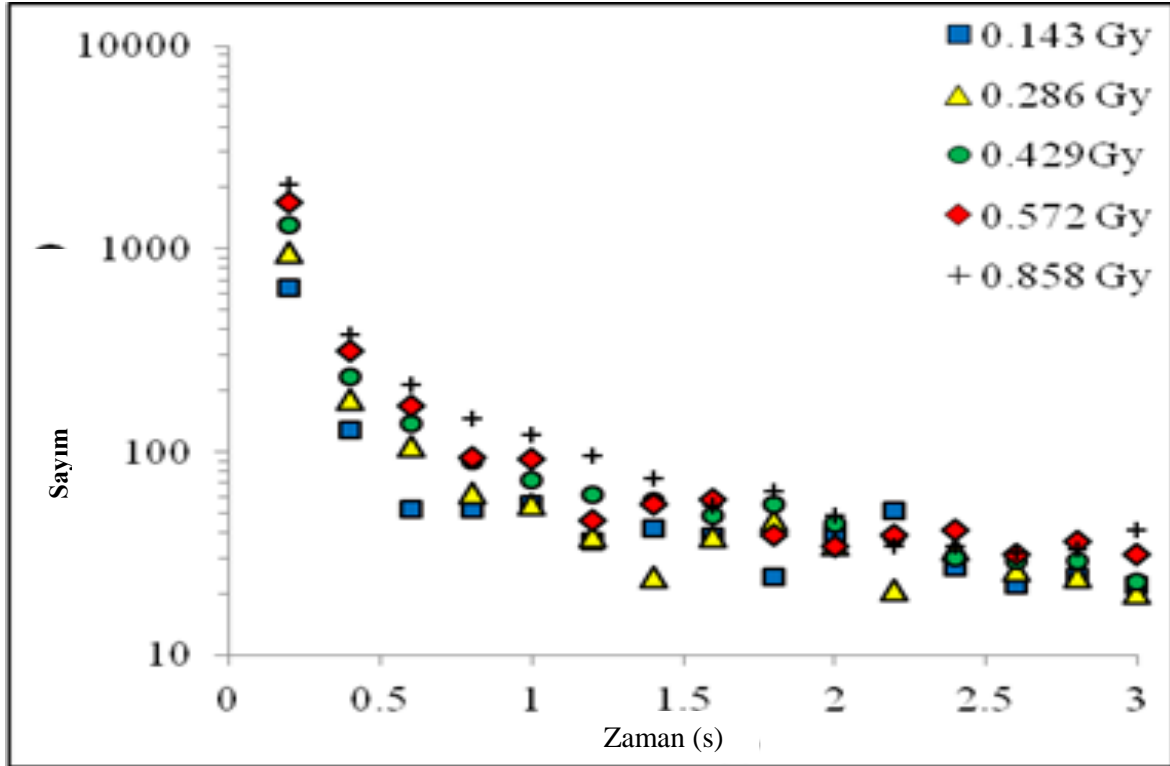
OSL laboratuvarında doz verilmemiş (doğal tabletler: sadece tanı veya tedavi amaçlı radyoizotop almış) kan örneklerinin sayımları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Şekil.7 hem deneysel bozunma eğrilerini hem de AOSL yaklaşımı ile elde edilmiş grafiği göstermektedir. PS grafiğinden elde edilen bozunma hızları Tablo.1 de listelenmiştir. $\lambda_1 =$ sığ tuzak ve $\lambda_2 =$ dozimetrik tuzakları AOSL yaklaşımından açıkça görmek mümkündür.

Bu kan örneklerinden hazırlanmış 4 özdeş tablete $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ kaynağı kullanılarak önce 0,143 Gy, 0,286 Gy, 0,429 Gy, 0,572 Gy, 0,715 Gy ve 0,858 Gy ve sonra 1 Gy, 2 Gy, 3 Gy ve 5 Gy laboratuvar dozu verilerek elde edilen lüminesans sayımlarına da benzer işlemler uygulanmıştır.

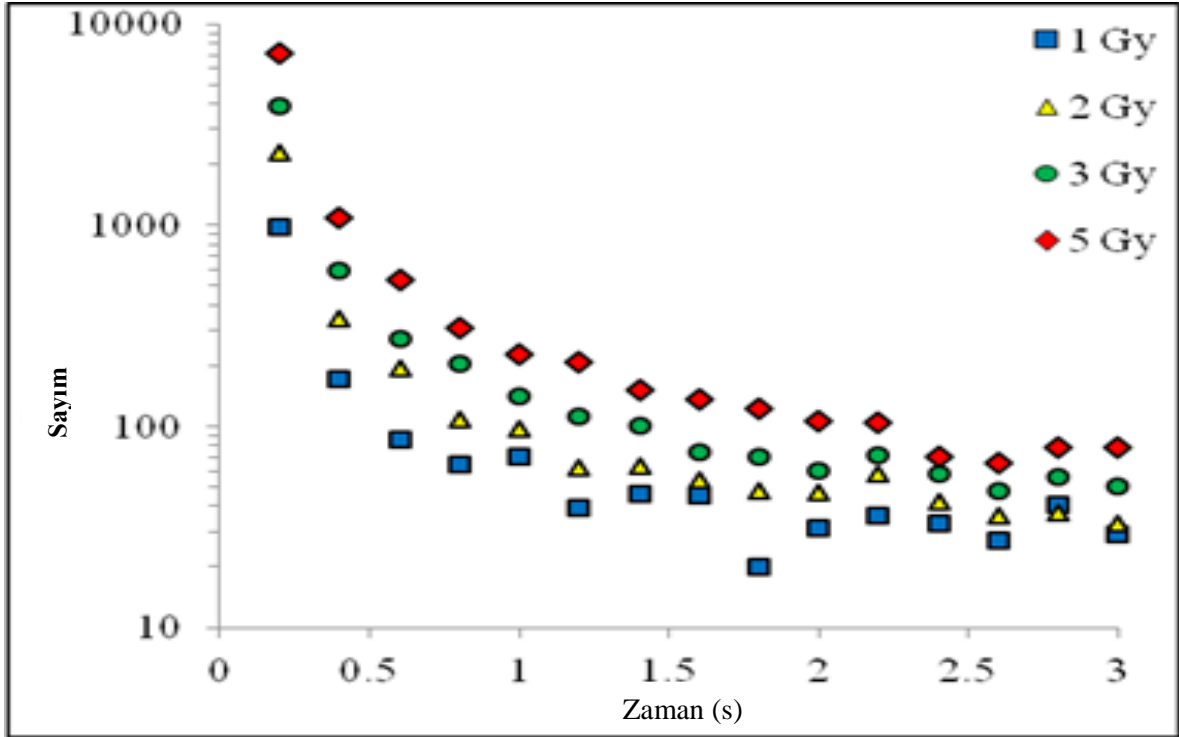
Şekil 4.3 önce 0,143 Gy, 0,286 Gy, 0,429 Gy, 0,572 Gy, 0,715 Gy ve 0,858 Gy için ve Şekil 4.4 1 Gy, 2 Gy, 3 Gy ve 5 Gy dozlar için çizilmiştir. Tüm bozunma hızları Tablo 1 de ve Şekillerin altında verilmiştir.



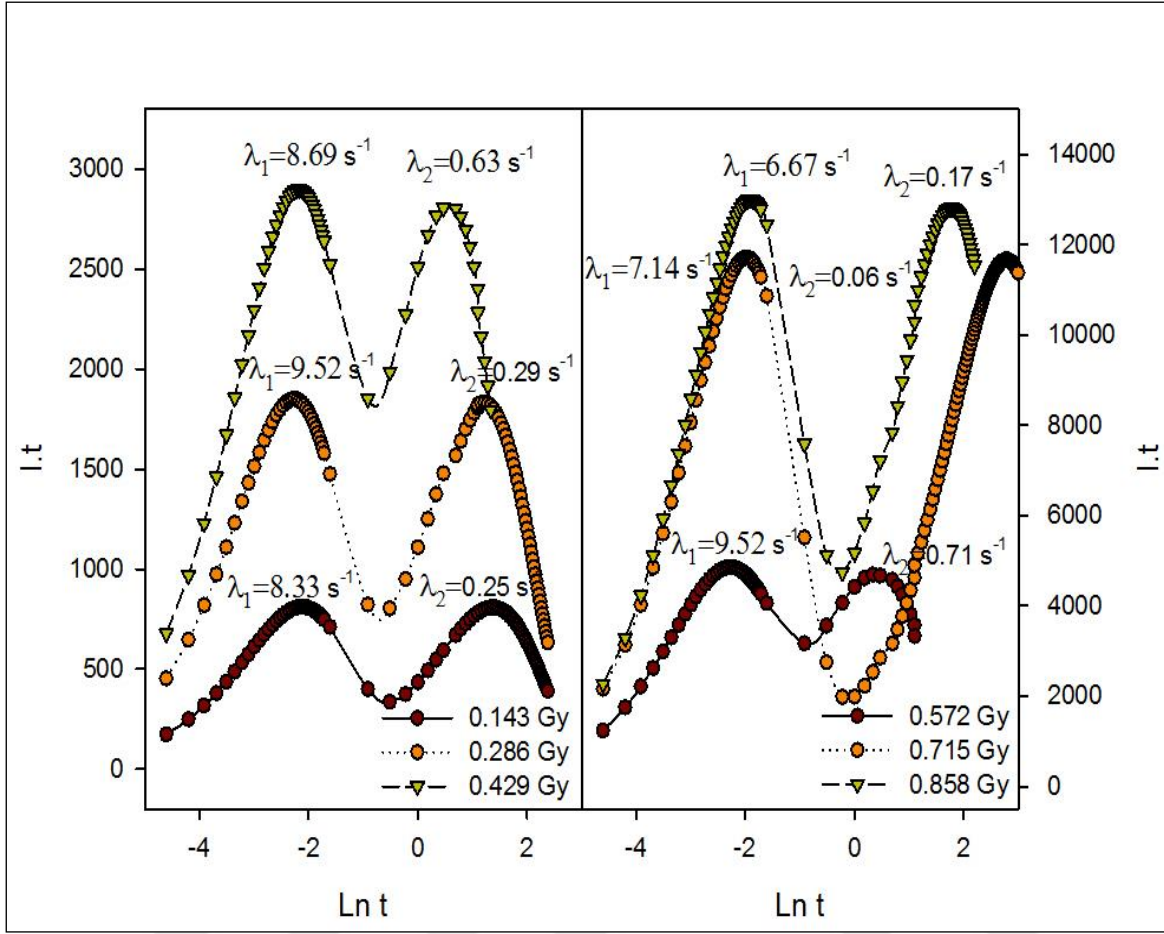
Şekil 4.2. Radyoizotop tedavisi almış iki kan tabletinden ölçülen doğal sayımlar. $b = 0,917$, $d = 0,073$; s (standart sapma) = 8,93, r (bağlantılı katsayı) = 0,99 dolu çizgi: AOSL yaklaşıklığı kullanarak çizilen PS grafiğidir. $\lambda_1 = 0.62 \text{ s}^{-1}$ 'ye ; $\lambda_2 = 0.073 \text{ s}^{-1}$ 'ye karşılık gelir



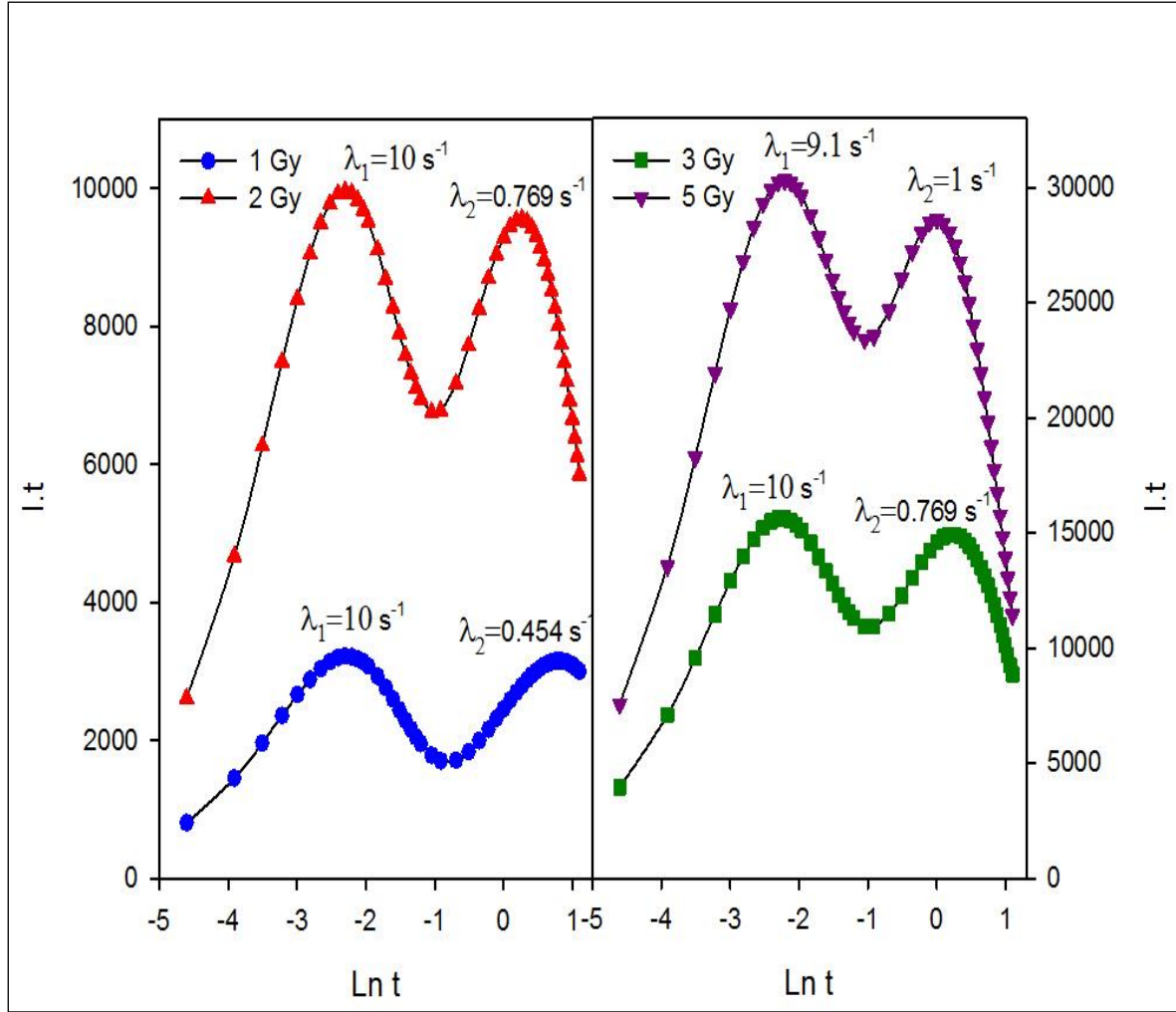
Şekil 4.3. 0,143 Gy, 0,286 Gy, 0,429 Gy, 0,572 Gy, 0,858 Gy dozu verilerek elde edilen lüminesans sayımlarıdır



Şekil 4.4. Radyoizotop tedavisi almış kan örneklerine OSL laboratuvarında 1 Gy, 2 Gy, 3 Gy ve 5Gy doz verildikten sonra ölçülen sayıların bozunma eğrileri



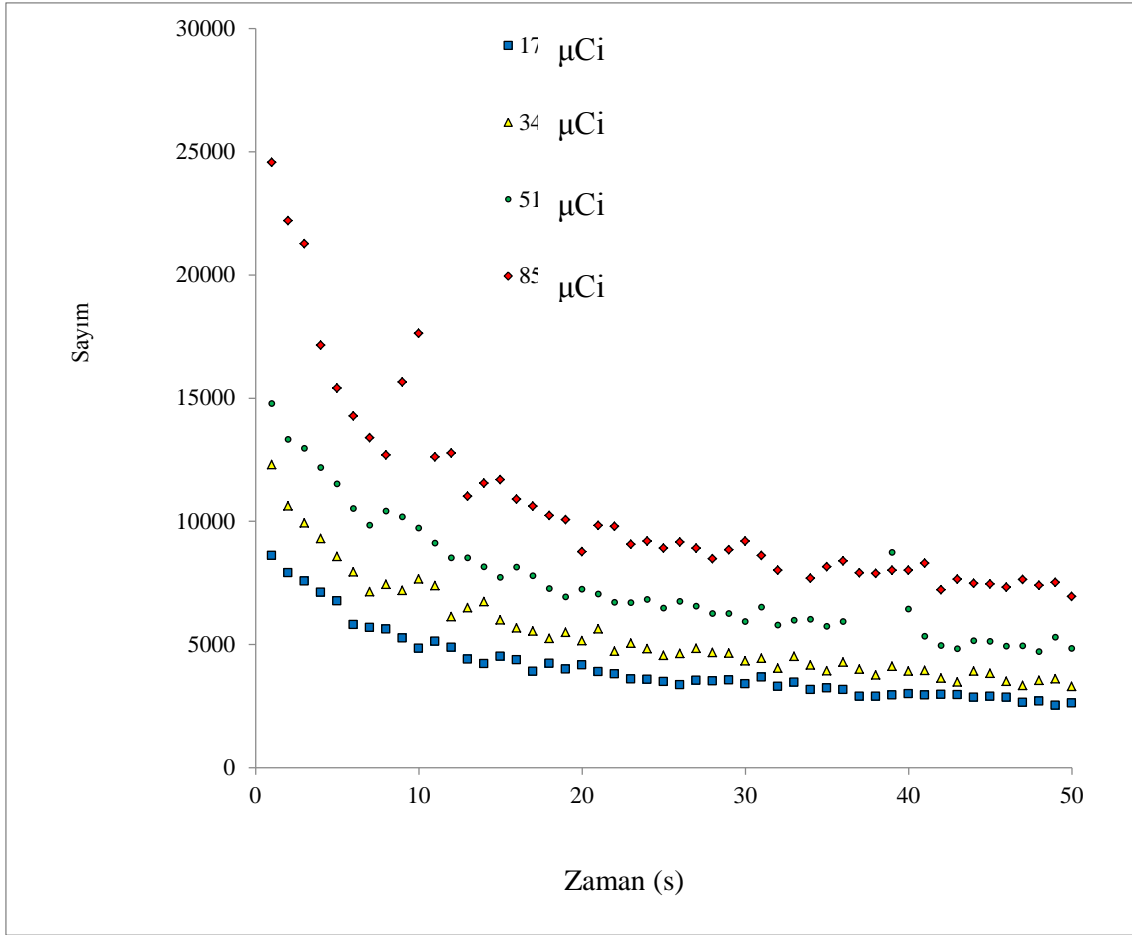
Şekil 4.5. Verilerin AOSL yaklaşımı ile Pik şeklinin elde edilmesi. Her pik için bozunma sabitleri görülmektedir



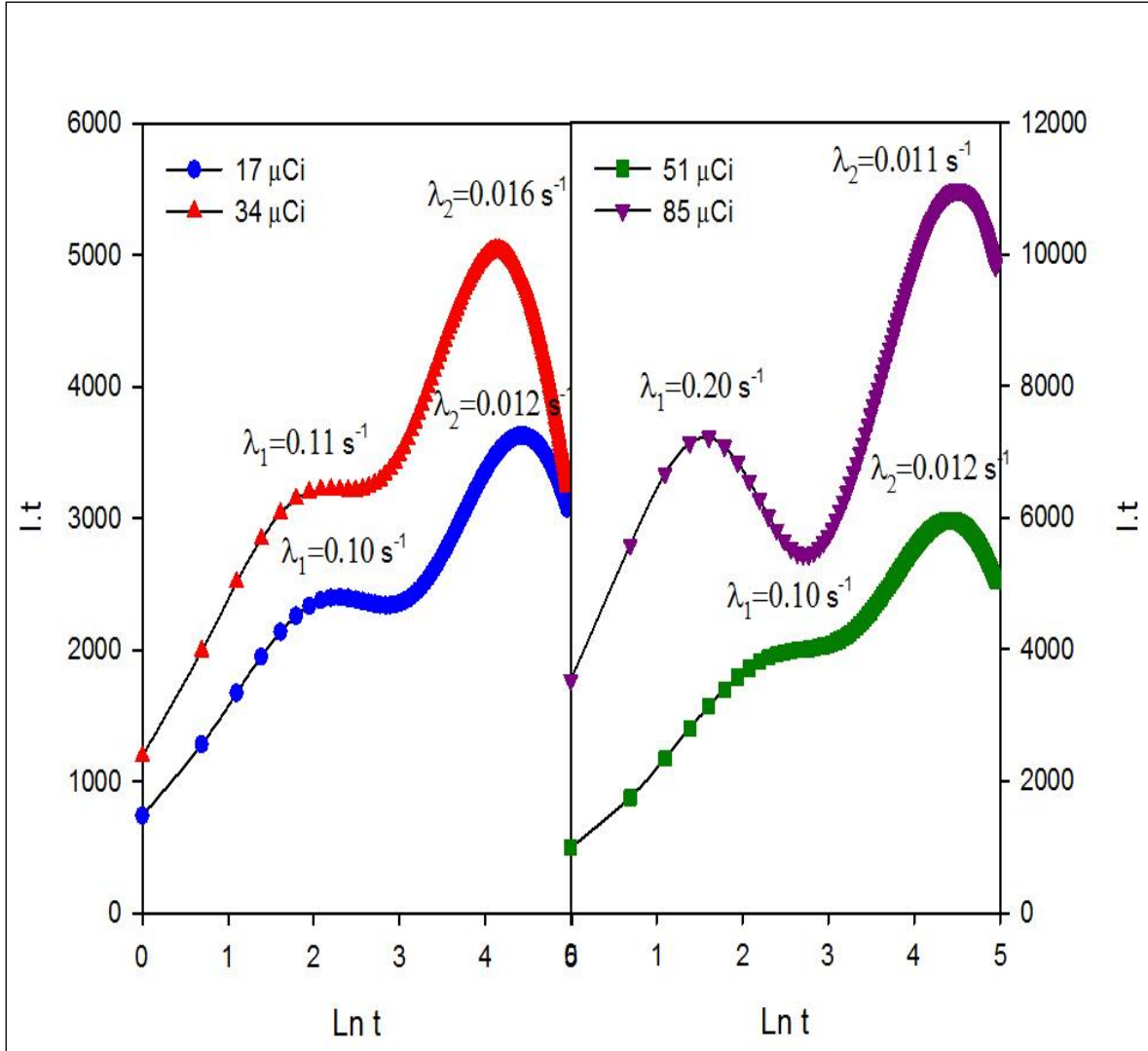
Şekil 4.6. Bozunma eğrilerinin verileri kullanılarak AOSL yaklaşımı ile elde edilen PS grafiği. OSL laboratuvar dozu, 1 Gy, 2 Gy, 3 Gy ve 5 Gy dir

4.2. ^{99m}Tc Şırınga Edilmiş Kan Serumu

Radyoizotopa maruz kalmamış kan serumuna, bir tüpün içinde ^{99m}Tc şırınga edilerek 5 adet Al disk üzerine 1 damla, 2 damla, 3 damla ve 5damla olacak şekilde hazırlanan tabletlerin lüminesans sayımlarının grafikleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Her diskin aktivitesi sırayla 17 μ Ci, 34 μ Ci, 51 μ Ci, ve 85 μ Ci’dir. Grafiklerden, aktiflik arttıkça lüminesans sayımlarının arttığı görülmektedir. AOSL yaklaşımı ile PS grafikleri Şekil 4.8’de görülmek yaklaşımı ile PS grafikleri Şekil 4.8’de görülmektedir. Elde edilen bozunma sabitleri şeklin üzerinde görülmektedir.



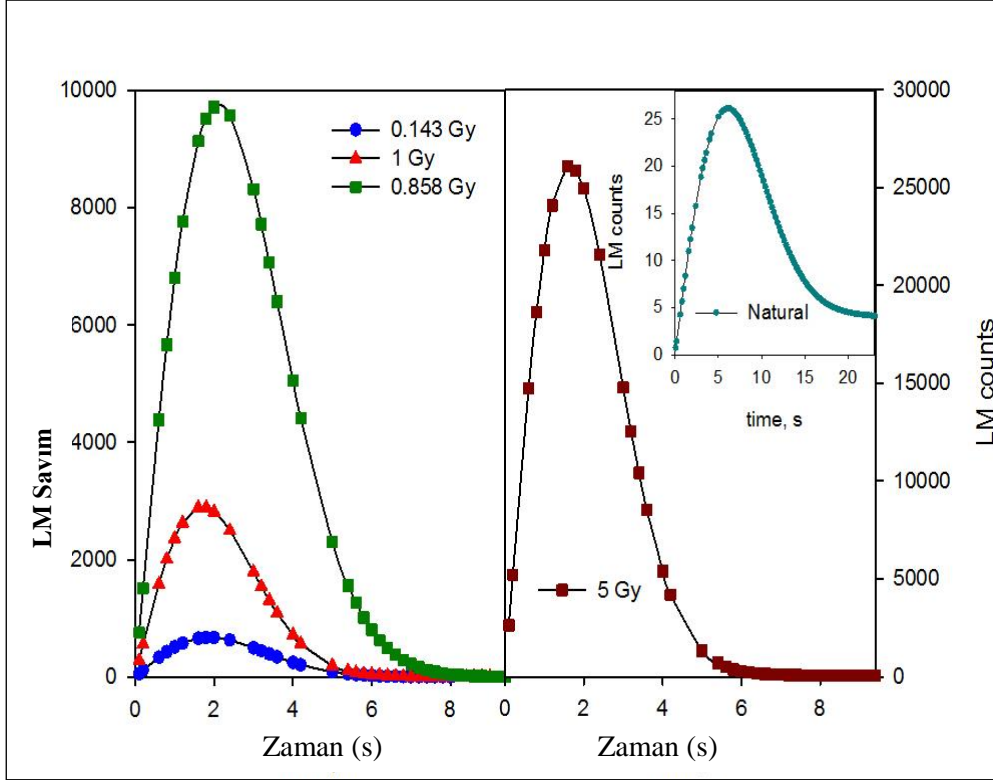
Şekil 4.7. 17 µCi, 34 µCi, 51 µCi, ve 85 µCi aktiviteli kan tabletlerinden elde edilen bozunma eğrileri (Tanır ve diğerleri, 2016)



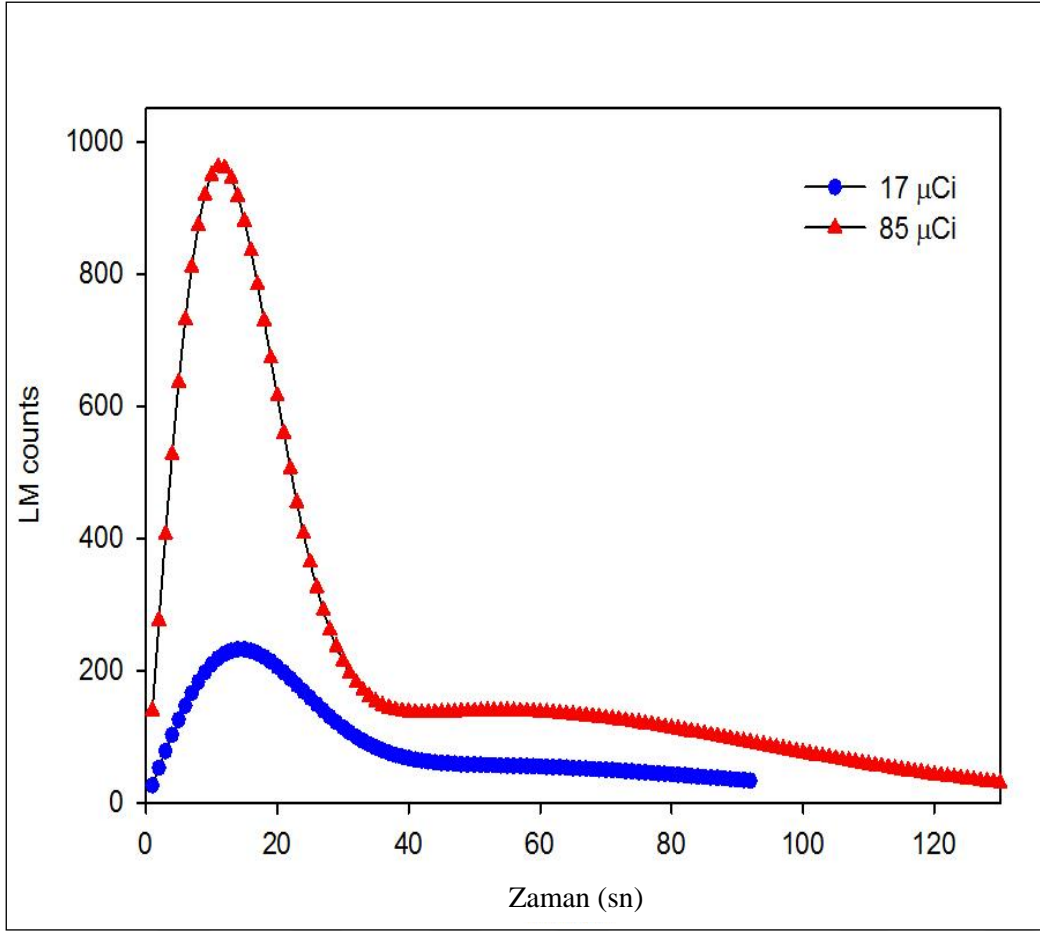
Şekil 4.8. Verilerin AOSL yaklaşımı ile elde edilmiş grafikleri

4.3. Kan Örnekleri İçin LM Grafikleri

Burada, AOSL yaklaşımının uygulandığı bozunma eğrilerine, LM-OSL dönüşümü uygulanarak grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.9'da radyoizotop tedavisi almış kan örneğine OSL laboratuvarında verilen dozlara karşılık gelen LM eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 4.9. LM-OSL grafikleri



Şekil 4.10. 17 µCi ve 85 µCi verilmiş kan örnekleri için LM-OSL grafiği

Şekil 4.10 'da kan örneklerinin LM – OSL ile çizilmiş grafikleri göstermektedir ve iki pikin AOSL yaklaşımı kadar net ortaya çıkmadığı açıktır.



5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Deneysel OSL bozunma eğrilerinin iki exponansiyel ifadenin üst üste binmesinden oluşan bir ifadeye fit edilerek (curve-fitting) kabaca elde edilmiştir. Böyle bulunan değerler Eşitlik 3.5'de yerine yerleştirilerek OSL şiddet ($I(t)$) verileri elde edilmiş ve PS grafikleri bulunmuştur. PS grafikleri $I(t) \times t$ nin $\ln t$ ' ye göre çizilmiştir. AOSL yaklaşımı ile elde edilen PS grafiğinde iki pik açıkça görülmektedir. Bu piklere karşılık gelen bozunma sabitleri, optik elektron tuzaklarına karşılık gelmektedir. AOSL yaklaşımı ile pikler açıkça ayırt edilebilir şekilde belirgindir ve λ_1 ve λ_2 için bulunan değerlerin bozunma hızlarını tam olarak verdiği görülmektedir.

Büyük bozunma hızı, (λ_1), in kararsız olan sığ tuzaklara karşılık gelmesi beklenen bir durumdur.

AOSL yaklaşımında, optik olarak uyarılarak tuzaktan çıkarılan elektronların aynı tuzaklara veya başka tuzaklara tekrar tuzaklanması mümkündür. Dozimetrik tuzakların bozunma sabiti (λ_2) AOSL yaklaşımı ile tam olarak elde edilmektedir. Dozimetrik tuzakların diğerlerinden daha kararlı olması örneklerin maruz kaldıkları eşdeğer dozun bulunmasında kritik öneme sahiptir.

Tüm grafikler için artık sinyaller sistematik hatalar göstermemektedir.

AOSL yaklaşımı, OSL bozunma eğrilerinin pik görünümlü formunun eldesi için uygun bir yaklaşımdır ve bozunma olasılığının kolayca belirlenmesini sağlamaktadır.

Çizelge 5.1'de dozlara karşılı, bozunma sabitlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Çizelgeden görülebileceği gibi, bozunma sabitleri örneği verilen dozla değişmektedir. λ_1 'de sapmalar büyük olmasına rağmen dozimetrik tuzaklar olarak ele alabileceğimiz λ_2 'lerde sapma kabul edilebilir sınırlardadır.

Çizelge 5.1. Bozunma sabitlerinin kıyaslanması

Doz(Gy)	$\lambda_1 (s^{-1})$ Eğri fit. %fark		AOSL	$\lambda_2 (s^{-1})$ Eğri fit. %fark		AOSL
0 *	0,92 0,62 32,60	0,073 0,073 -	32,60	0,073	0,073	-
0,143	9,01	8,33	7,54	0,25	0,25	-
0,286	10,5	9,52	9,33	0,30	0,29	3,30
0,429	10,52	8,69	17,39	0,60	0,63	4,76
0,572	11,6	9,52	17,93	0,69	0,71	2,82
0,715	7,42	7,14	3,77	0,06	0,06	-
0,858	7,18	6,67	7,10	0,17	0,17	-
1,0	11,02	10,0	9,25	0,45	0,45	-
2,0	12,14	10,0	17,60	0,78	0,77	1,28
3,0	11,73	10,0	14,74	0,80	0,77	3,75
5,0	11,92	9,1	23,65	1,00	1,00	-
Aktivite(μCi)						
17,0	0,17	0,1	41,17	0,012	0,012	-
34,0	0,22	0,11	50,00	0,016	0,016	-
51,0	0,14	0,10	28,57	0,012	0,012	-
85,0	0,26	0,20	23,07	0,011	0,011	-

*Doğal sayımlar

KAYNAKLAR

- Achard, P., Adriani, O., Aguilar-Benitez, M., Alcaraz, J., Alemanni, G., Allaby, J. ve Anselmo, F. (2003). Search for charged higgs bosons at LEP. *Physics Letters*, 575(3-4), 208-220.
- Aitken, M. J. (1985). *Thermoluminescence dating*. Orlando: Academic Press.
- Aitken, M. J. (1998). *An introduction to optical dating*. New York: Oxford University Press, 1-351.
- Arya, P. A. (1968). *Fundamentals of nuclear physics*. Boston: Allyn and Bacon, 671.
- Bailey, R. M., Smith, B. W. and Rhodes, E. J. (1997). Partial bleaching and the decay form characteristics of quartz OSL. *Radiation Measurements*, 27(2), 123-136.
- Bailiff, I. K. and Barnett, S. M. (1994). Characteristics of infrared-stimulated luminescence from a feldspar at low temperatures. *Radiation Measurements*, 23(2-3), 541-545.
- Bailiff, I. K., and Poolton, N. R. J. (1991). Studies of charge transfer mechanisms in feldspars. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation, Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 18(1-2), 111-118.
- Başer, Ş. (2001). *Nükleer fizik I*. Ankara: Palme Yayınları, 1-450.
- Botter-Jensen, L. (2003). *Development of optically stimulated techniques using natural minerals and ceramics and their application to retrospective dosimetry*. Roskilde: Riso National Laboratory, 119-243 .
- Bøtter-Jensen, L., McKeever, S.W.S., and Wintle, A.G. (2003). *Optically stimulated luminescence dosimetry*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Bölkdemir, M. H. (2007). *Sodyum klorür ve potasyum klorür'ün optik uyarmalı lüminesans (Osl) kinetiği*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bulur, E. (1996). An alternative technique for optically stimulated luminescence (OSL) experiment. *Radiation Measurements*, 26(5), 701-709.
- Bulur, E. (2000). A simple transformation for converting CW-OSL curves to LM-OSL curves. *Radiation Measurements*, 32(2), 141-145.
- Bulur, E. ve Göksu, H. Y. (1997). Pulsed optically stimulated luminescence from α -Al₂O₃: C using green light emitting diodes. *Radiation measurements*, 27(3), 479-488.
- Bulur, E., Bøtter-Jensen, L., and Murray, A. S. (2001). LM-OSL signals from some insulators: an analysis of the dependency of the detrapping probability on stimulation light intensity. *Radiation measurements*, 33(5), 715-719.

- Garlick, G. F. J. and Gibson, A. F. (1948). The electron trap mechanism of luminescence in sulphide and silicate phosphors. *Proceedings of the Physical Society*, 60(6), 574-580.
- Güleç, Ö. (2014). *Kan Örnekleri Kullanarak Radyasyon Dozunun Doğrudan Tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Huntley D. J., Godfrey-Smith D. I. and Thewalt M. L. W. (1985) Optical dating of sediments. *Nature*, 313(1), 105-107.
- Huntley D. J., Short M. A. and Dunphy K. (1996) Deep traps in quartz and their use for optical dating. *Canadian Journal of Physics*, 74(1), 81-91.
- Kitis, G., and Pagonis, V. (2008). Computerized curve deconvolution analysis for LM-OSL. *Radiation Measurements*, 43(2-6), 737-741.
- Kitis, G., Liritzis, I. and Vafeiadou, A. (2002). Deconvolution of optical stimulated luminescence decay curves. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 254(1), 143-149.
- Krane, K. (1987). *Introductory nuclear physics* (3rd Edition). New York: John Wiley and Sons.
- Krane, K. (1988). *Introductory nuclear physics*. New York: John Wiley and Sons.
- Krish, Y. and Chen, R. (1991). Analysis of the blue phosphorescence of x-irradiated albite using a TL-like presentation. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 18(1-2), 37-40.
- Larsen, N. A., Bulur, E., Bøtter-Jensen, L. and McKeever, S. W. S. (2000). Use of the LM-OSL technique for the detection of partial bleaching in quartz. *Radiation Measurements*, 32(5-6), 419-425.
- McKeever, S. W. S. (1985). *Thermoluminescence of solids*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McKeever, S. W. S. and Akselrod, M. S. (1999). A radiation dosimetry method using pulsed optically stimulated luminescence. *Radiat Prot Dosim* 84, 317-320 523.
- McKeever, S. W. S. and Chen, R. (1997). Luminescence models. *Radiation Measurements*, 27(5-6), 625-661.
- Ogundare, A. O. (2007). Antimicrobial effect of tithonia diversifolia and jatropha gossypifolia leaf extracts. *Trends in Applied Sciences Research*, 2(1), 145-150.
- Pradhan, S. K. and Singh, S. (2008). Combining ability and gene action analysis for morphological and quality traits in basmati rice. *ORYZA-An International Journal on Rice*, 45(3), 193-197.
- Randall, J. T. and Wilkins, M. H. F. (1945). Phosphorescence and electron traps-I. The study of trap distributions. *Proceedings of the Physical Society*, 184(999), 365-389.

- Rashidi, A., Mohammadpour-Ahranjani, B., Vafa, M. R. and Karandish, M. (2005). Prevalence of obesity in Iran. *Obesity Reviews*, 6(3), 191-192.
- Singarayer, J. S. and Bailey, R. M. (2003). Further investigations of the quartz optically stimulated luminescence components using linear modulation. *Radiation Measurements*, 37(4-5), 451-458.
- Smith, B. W. and Rhodes, E. J. (1994). Charge movements in quartz and their relevance to optical dating. *Radiation Measurements*, 23(2-3), 329-333.
- Spooner, N. A., Aitken, M. J., Smith, B. W., Franks, M. and McElroy, C. (1994). Archaeological dating by infrared-stimulated luminescence using a diode array. *Radiation Protection Dosimetry*, 34(1-4), 83-86.
- Tanır, A. G., and Bölükdemir, M. H. (2011). Application of active-OSL Approximation to some experimental optical stimulated luminescence decay. *Turkish Journal of Physics*, 35(3), 265-272.
- Tanır, A. G., Güleç, Ö., Şahiner, E., Bölükdemir, M.H., Koç, K, Meriç, N. and Keleş, Ş. K. (2016). Direct determination of radiation dose in human blood. *Neuroquantology*, 14(1), 28-35.
- Tanır, G. and Bölükdemir, M. H. (2010). An alternative view on the kinetics of optical stimulated luminescence decay. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 285(3), 563-568.
- Thomsen, M. F. (2004). Why Kp is such a good measure of magnetospheric convection. *Space Weather*, 2(11), 1-10.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKSOY, Gülper
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1984, Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon Faks : (543) 343 55 12
 e-posta : gulperaksoygu@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Fizik Bölümü	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Fizik Bölümü	2015
Lise	Abidinpaşa Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006- Halen	Genelkurmay Başkanlığı	Devlet Memuru

Yabancı Dili

İngilizce

Yayınlar

- Koç, K., Tanır, G., Aksoy, G. and Bölükdemir, M. H. (2018). Kinetic study on the OSL technique using human blood sample. *NeuroQuantology*, 16(4), 41-46.

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Dans, Kitap okuma, Tenis, Yüzmek.



GAZİ GELECEKTİR..