

## Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Cu Termolüminesans Dedektörün Farklı Enerjilerdeki Fotonlara Karşı Dedektör Cevap Fonksiyonunun Monte Carlo Yöntemiyle İncelenmesi

Bünyamin Aydın<sup>1,\*</sup>, M. Mustafa Aydın<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bilim ve Sanat Merkezi, Uşak, 64400, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, 34469, İstanbul, Türkiye

\*Yazılan yazar e-posta: mmesssm@yahoo.com

Alınış: 05 Mayıs 2014, Kabul: 04 Eylül 2014

**Özet:** Birçok Termolüminesans Dozimetreleri (TLD) “personel doz eşdeğerini” ölçmek için farklı alanlarda kullanılmaktadır. TL malzemelerin değişik dozimetrik özelliklerinin ve karakteristiklerinin belirlenerek analizlerinin yapılması gerekmektedir. TL malzemeleri için dedektör cevap fonksiyonlarının enerjiye bağlılığını veren verileri elde etmek, deneysel yöntemler kullanıldığında oldukça güçtür ve büyük hata değerleriyle birlikte ölçülebilmektedir. Bu dedektörler, bilgisayar ortamında modellendiğinde ayrıntılı bilgi almak mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, Cu ile katkılanmış TLD olarak kullanılan Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> malzemesi modellenmiştir. Yönlü foton kaynaklarından, farklı uzaklıklardaki TL dozimetrelerin dedektör cevap fonksiyonlarının enerjiye bağlılığı MCNP Monte Carlo simülasyon yöntemi ile bulunmuştur. Önceden yapılmış çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile bu çalışmada elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Monte Carlo, Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Cu, TL, foton

## The Investigation of The Detector Response Function of The Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Cu Thermoluminescence Detector Against The Photons In Different Energies By Using Monte Carlo Method

**Abstract:** Many of the Thermoluminescence dosimeters (TLD) are used in different areas in order to measure “personnel dose equivalent”. It’s analyzes must be done by determining different dosimetric characteristics and specialty of TL the material. Obtaining data which supplies energy dependence of the detector response function for TL supplies is very difficult when experimental methods are used and can be measured with a large error value. It’s possible to get the detailed information when these detectors are modeled at computers. In this study, Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> material which is used as “TLD” doped with Cu activator is modeled. Directional photon sources, in different distances TL dosimeter detector response function of the energy dependence has been found by the method of the MCNP Monte Carlo simulation method. In previous studies with the results obtained have been compared with the values obtained in this study.

**Key words:** Monte Carlo, Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Cu, TL, foton

### 1. Giriş

TL malzemelerin radyasyon alanı içerisinde almış olduğu doz miktarının belirlenmesi önemlidir. Çünkü çoğu zaman, alınan dozu belirlemek amacıyla taşınabilir dozimetreler kullanılmaktadır. Bu durumda dedektör cevabının enerjiye bağlılığının bilinmesi gerekmektedir. Fakat TL malzemeleri için dedektör cevap fonksiyonlarının enerjiye bağlılığını veren verileri elde etmek, deneysel yöntemler kullanıldığında oldukça güçtür ve büyük hata değerleriyle birlikte ölçülebilmektedir. Buna karşın bu dedektörler, bilgisayar ortamında modellendiğinde, farklı enerjilerdeki fotonlar için dedektör cevap fonksiyonları hakkında oldukça ayrıntılı bilgi almak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada TL malzemesi olarak kullanılan  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  için fotonların dedektör cevap fonksiyonlarının enerjiye bağıllığını veren veriler, simülasyon yöntemi ile bulunmuştur. Bunun için yönlü kaynaklardan, farklı uzaklıklardaki TL malzemeleri ışınlanmıştır.

### 1.1 Genel Bilgiler

Radyasyonun varlığının anlaşılması duyu organları ile mümkün olmadığından, algılanması ve ölçümleri radyasyona hassas cihazlar ile yapılır. Radyasyonun ölçülmesinin temeli, radyasyon ile maddenin etkileşmesi esasına dayanır.

### 1.2 Termolüminesans Dozimetreler (TLD)

Canlı bir organizmanın ya da bir malzemenin maruz kaldığı radyasyon dozunu belirlemeye yarayan ölçü aletlerine "Dozimetre" adı verilir Bugün TLD'ler özellikle kişilerin radyasyon kazalarında maruz kaldıkları yüksek dozları ölçmede elverişlidirler. Taşınması kolay, hafif ve ucuz olan TLD'lerin en önemli sakıncası pahalı ve karmaşık bir okuyucu cihaza gereksinim duymasındır Bir TLD temelde bir parça termolüminesans malzemedir ve genellikle kristallerden oluşur. Bu kristallere aktivatör olarak küçük miktarda safsızlık eklenmektedir (örneğin  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  de Cu aktivatördür) [1].

### 1.3 Simülasyon Yöntemi

Genel anlamda simülasyon, gerçeğin temsil edilmesi olarak tanımlanabilir ve amacı, gerçek yaşam olgusunu girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek, model üzerinden tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde hiçbir değişiklik yapmadan deneyebilmektir. Yani gerçek sistemden elde edilen veri ve bilgiler, bilgisayarda geliştirilen modellere uygulanır, bunun sonucunda sayısal bir takım sonuçlara ulaşılır. Bu sonuçların değerlendirilerek hedeflenen sonuçlara ulaşılması, anlamlı olarak sistemdeki ölçütlerinin birtakım tahminleri olarak ifade edilebilir. Her hangi bir problem için en kötü durum senaryoları simülasyon modelleri aracılığı ile araştırılabilir [2].

### 1.4 Monte Carlo Tekniği

Monte Carlo ile istatistiksel teknikler kullanılarak fiziksel bir olayın sayısal modeller yardımıyla temsil edilmesi amaçlanmaktadır. Son yıllarda bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle hem iyi seçilmiş rastgele sayı dizilerinin elde edilebilmesi hem de simülasyon zamanının önemli ölçüde kısaltılması sağlanmıştır. Yöntem kimyada, gaz kinetiğinde, fizikte foton ve parçacıkların difüzyonunda, sağlık fiziğinde radyasyon dozimetresi ve radyasyondan korunma çalışmalarının analizinde kullanılabilir. Monte Carlo tekniği, bir simülasyon çalışmasında bir ya da daha çok olasılık dağılımından rastgele sayılar seçmeye dayanan olasılık teorisi üzerine kurulu, deneysel ve istatistiksel problemlerinin çözümüne yönelik bir sistemdir [3].

### 1.5 MCNP Kodu

MCNP (Monte Carlo N – Parçacık Taşınım) Monte Carlo yöntemini kullanarak radyasyon etkileşimlerini simüle edebilen bilgisayar yazılımından biridir. Los Alamos Ulusal Laboratuvarında Transports Methods Groups (XTM) tarafından geliştirilmiş Fortran ve C kaynak kodundan oluşan bir programdır. Kod sürekli tesir kesiti verisini kullandığından dolayı karmaşık parçacık geçişini modellemede oldukça iyi uygulanır. Temelde kod iki ana kısımdan oluşur: MCNP paketi ile birlikte dağıtımı yapılan standart kaynak kod ve kullanıcı tarafından yazılan kullanıcı kodudur [3].

### 1.6 Tally (Ambar-Veri Çetelesi)

Ambar olarak adlandırabileceğimiz ve sonuçların toplandığı bu bölümde tanecikler için standart veri çeteleleri mevcuttur. Bunlardan amaçlara uygun veri çeteleleri kullanılmaktadır. Örneğin parçacık akımı F1, enerjinin depolanması F6 veri çeteleleri ile elde edilebilmektedir. Bir MCNP hesaplamasının sonuçları, ilgilenilen konu ile ilişkili olarak çıktılarının toplanmasıyla elde edilir. Akımlar, akılar, enerji oluşumu, dedektör verimi ve reaksiyon hızları gibi verilerin birleştirilmesi ile sonuçlar elde edilir. Bütün nesiller kaynaktan yayınlanan parçacık sayısına bölünerek normalize edilir [2].

Hesaplanması istenilen nicelikler, MCNP’de kullanılan veri çeteleleri Tablo 1’dedir. Bu çalışmada bu veri çetelelerinden F1 ve F6 kullanılmıştır [3].

**Tablo 1.** MCNP’de kullanılan veri çeteleleri

Sembol	Veri Türü	Birimi
F1	Tüm yüzey üzerinden integre edilen parçacık akımı	Parçacık
F2	Yüzey üzerinden ortalama akı	Parçacık/cm <sup>2</sup>
F4	Hücre üzerinden ortalama akı	Parçacık/cm <sup>2</sup>
F5a	Nokta veya halka dedektörün parçacık akısı	Parçacık/cm <sup>2</sup>
F6	Her bir hücrede biriken enerji (doz)	MeV/g
F8	Dedektörde üretilen pulsların enerji dağılımı	

### 1.7 Yapılan Çalışmalar

Horowitz termolüminesans ve dozimetrideki uygulamalarının teorik ve mikrodozimetrik temelleri anlattığı makalesinde TL malzemelerinin genel karakteristik özelliklerini, TL malzemelerini, TL doz cevabını, TL modellerini ve iyonize radyasyon dozimetrisi hakkında ayrıntılı açıklamalarda bulunmuştur [4].

Prokic’in deneysel bir çalışma için hazırlamış olduğu dozimetre disk biçiminde oluşturulmuş yarıçapı 2,25 mm, kalınlığı 0,95 mm olan bir tablettir. Deneysel çalışmada fotonlar için Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Cu,Ag,P dozimetresinin Bağıl TLD Cevabını bulmuştur. Bulmuş olduğu bu sonucu önceden yapılmış başka bir çalışmadaki LiF:Mg,Ti ile karşılaştırmış ve Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Cu,Ag,P dozimetresinin LiF:Mg,Ti dozimetresinden daha duyarlı olduğu sonucuna varmıştır [5].

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada MCNP-4C2 simülasyon programı kullanılmıştır. Simülasyonda noktasal kaynaklardan yayınlanan fotonlarla tasarımları yapılan TLD kaynaklar ışınlanmıştır. Simülasyonlarda ikincil parçacık olarak oluşan elektronlar da hesaba katılmışlardır.

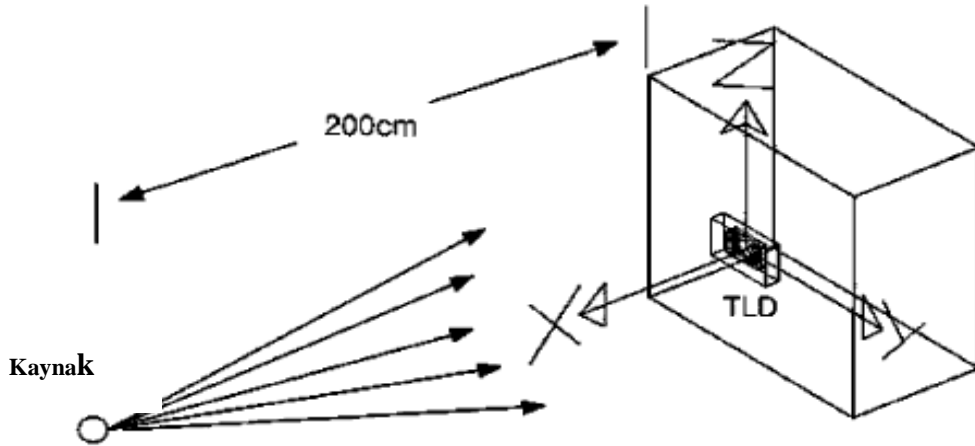
### 2.1 Dedektör Cevabı

Analizlerin amacı, bazı dedektör türlerinin tüm yüzey üzerinden integre edilen parçacık akımını, bir yüzey üzerinden ortalama akıyı, hücre üzerinden ortalama akıyı, her bir hücrede biriken enerjinin cevaplarını tahmin etmektir. Bu yüzden alan bilgisi dedektör cevaplarına dönüştürülebilmelidir.

Cevap Fonksiyonu: Dedektör hacminde ölçülen dozun (F6), dedektöre giren parçacık sayısına (F1) oranıdır. Bağlı Cevap Fonksiyonu: Cevap Fonksiyonu değerinin 662.0 keV'lik fotonların değerine bölünmesidir. Hranitzky et al. MCNP kodu kullanarak yapmış oldukları simülasyon çalışmasında enerji cevabı 662.0 keV foton enerjisine normalize edilerek bulunmuştur [6].

### 2.2 Simülasyon İçin Kaynak-Dozimetre Geometrisi

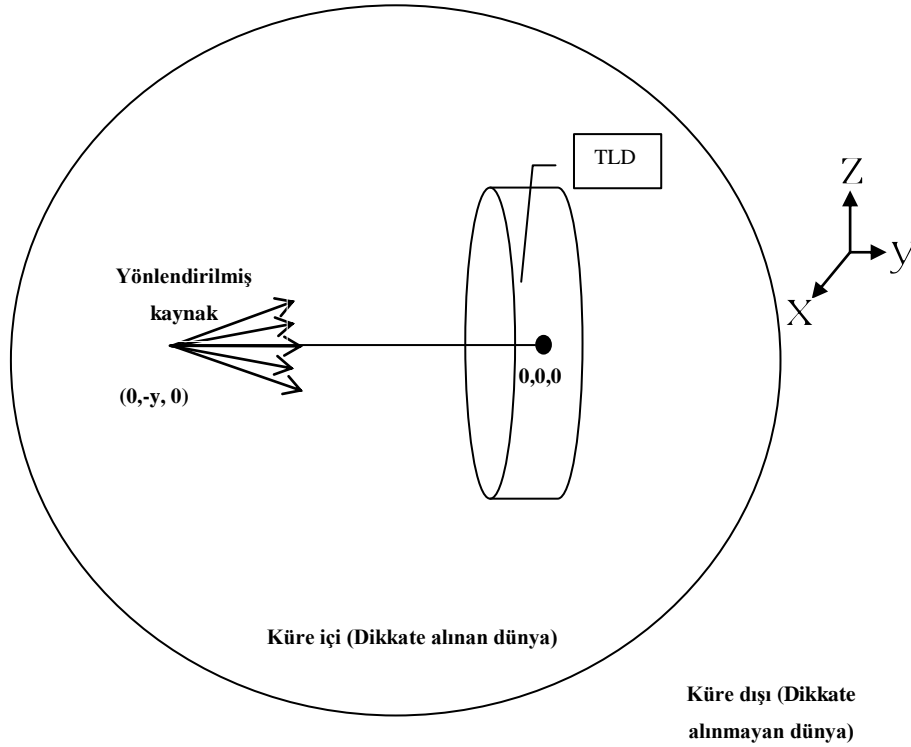
Bu çalışmada simülasyon için, radyasyon kaynağı ve dozimetrenin bulunduğu ortam hazırlanırken daha önce yapılmış olan çalışmalar da dikkate alınmıştır. Yapılmış olan çalışmalardan Jung et al. yapmış olduğu deneysel çalışmanın şematik geometrik yapılandırılmasında kaynak-dozimetre arası uzaklık 2.0 m alınmıştır. Şekil 1'de gösterilen geometrik yapılandırma bu çalışmanın temelini oluşturmuştur [7].



Şekil 1. Jung et al. yapmış olduğu deneysel çalışmanın şematik geometrik yapılandırılması [7]

Bu çalışmanın temel öğelerinden dozimetrelerin geometrik şekli düzgün silindirdir. Daros et al. yapmış oldukları çalışmada  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  TL dozimetrelerinin biçimi, Jung et al. yapmış olduğu deneysel çalışmada kullandıkları TL dozimetresinin şekli, Hranitzky et al. Monte Carlo simülasyon yöntemiyle yapmış oldukları çalışmada TLD'lerin geometrik biçimi silindirdir [8,7,6].

Bu çalışmada gerçekleştirilen simülasyon işlemlerinde, modellenen geometrik biçimli silindir TLD'ler ve yönlendirilmiş foton kaynağı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Silindir biçiminde TLD ve yönlü kaynağın gösterimi

### 2.3 Monte Carlo Hesaplamalarında Kullanılan Malzemeler Ve Yoğunlukları

Bu çalışmada simülasyonu yapılan TLD malzemesinin ve ortam malzemesi havanın kompozisyonu, yoğunluk ve atom numaraları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Monte Carlo hesaplamalarında kullanılan malzemeler, element bileşimleri ve yoğunlukları

Malzeme	Element	Element Bileşimi (%)	Yoğunluk ( g/cm <sup>3</sup> )
Hava	C	0.0124	1.205x10 <sup>-3</sup>
	N	75.5267	
	O	23.1781	
	Ar	1.2827	
Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	Li	08.2081	2.440
	B	25.5715	
	O	66.2204	

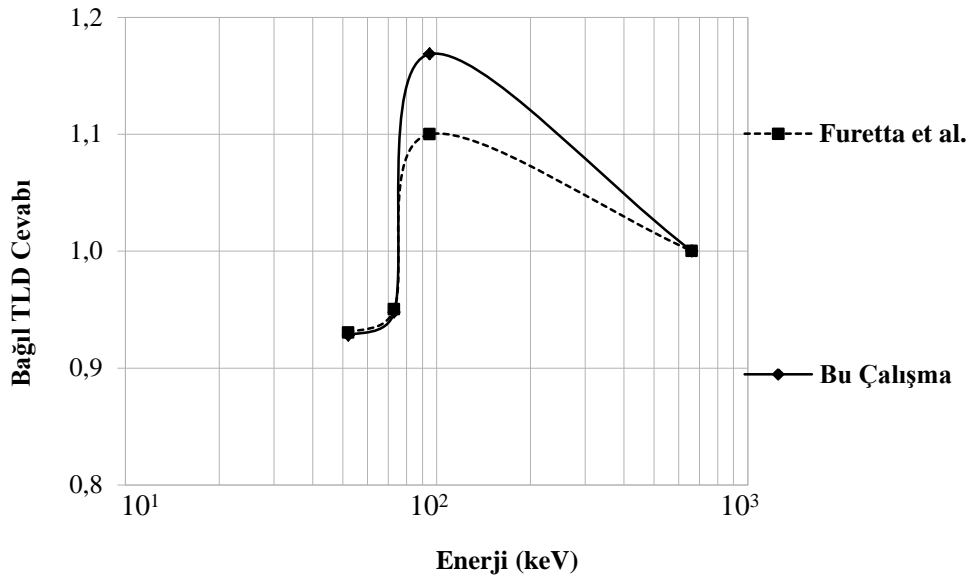
### 3. Bulgular

Bu çalışmada Cu ile katkılandırılmış Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> TLD'nin çeşitli enerjilerdeki fotonlara karşı cevap fonksiyonlarının belirlenmesi amacıyla simülasyon çalışmaları

gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile bulunan veri değerleri, yapılmış olan diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Furetta et al.  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$  için belirlediği, Bağlı TLD Cevabını bu çalışma ile karşılaştırmak için 52.0, 73.0, 95.0 ve 662.0 keV enerjili fotonların simülasyonu yapılmıştır. TLD boyutları  $r:2,25 \times 10^{-1}$  cm,  $h:9,5 \times 10^{-2}$  cm alınmıştır. Dozimetreyi oluşturan elementlerin yüzdeleri % 08.20 Li + % 25.54 B + % 66.00 O, % 0.06 Cu'dır. Kaynaktan çıkan fotonlar dozimetreye doğru konik olarak yönlendirilmiştir. Kaynak ve dozimetre arası uzaklık 5.0 cm'dir. Simülasyonun sonucu Şekil 3'de verilmiştir.

Bu çalışmada fotonların 52.0, 73.0, 95.0 ve 662.0 keV enerjilerdeki Bağlı TLD Cevabı, Furetta et al. yapmış oldukları çalışmada bulunan değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir. Buna karşın sadece 95.0 keV enerjide farklılık ortaya çıkmıştır. Genel anlamda grafiğin eğilim çizgisinde bir uyum söz konusu olmakla birlikte sadece bir değer farklı olması, simülasyon yöntemindeki kısıtlılıktan ileri gelebilir [9].

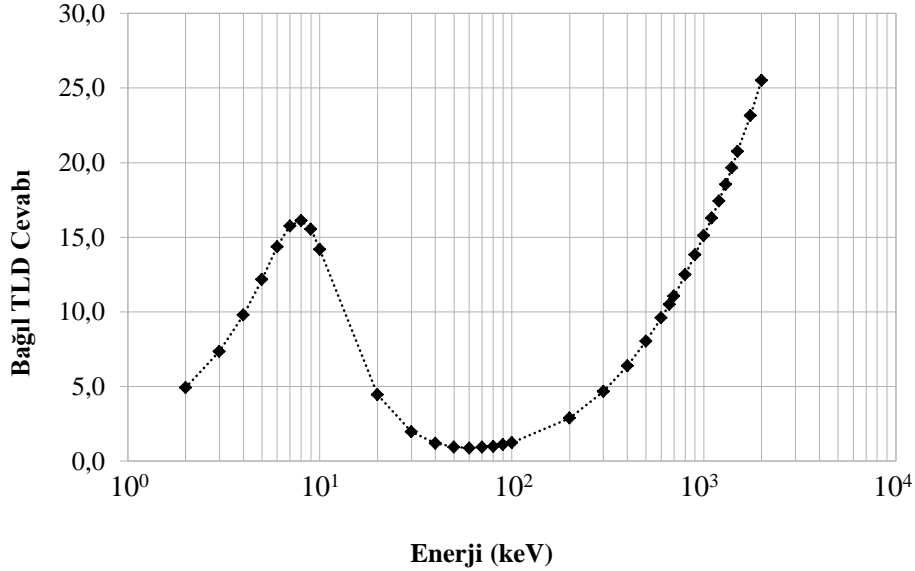


Şekil 3. Furetta et al.  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$  TL dozimetresi için belirledikleri, fotonların Bağlı TLD cevabı ile, bu çalışmada bulunan sonucun karşılaştırılması

Bu çalışmada  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$  dozimetre için belirlenen 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 20.0, 30.0, 40.0, 50.0, 60.0, 70.0, 80.0, 90.0, 100.0, 200.0, 300.0, 400.0, 500.0, 600.0, 662.0, 700.0, 800.0, 900.0, 1000.0, 1100.0, 1200.0, 1300.0, 1400.0, 1500.0, 1750.0, 2000.0 keV enerjili fotonların Bağlı TLD Cevabı Şekil 4'te gösterilmiştir. Kaynaktan çıkan fotonlar dozimetreye doğru konik olarak yönlendirilmiştir. Kaynak ve dozimetre arası uzaklık 5.0 cm'dir. TLD boyutları  $r:2,25 \times 10^{-1}$  cm,  $h:9,5 \times 10^{-2}$  cm alınmıştır. Fotonlar  $1,59 \times 10^{-1}$   $\text{cm}^2$ 'lik bir alandan dozimetreye geçmişlerdir. Dozimetrenin bileşenleri % 08.20 Li + % 25.54 B + % 66.11 O, % 0.06 Cu'dur. Dozimetrenin hacmi  $1,51 \times 10^{-2}$   $\text{cm}^3$ 'dür.

Grafikte görüldüğü üzere 2.0 keV foton enerjisinde Bağlı TLD Cevabı 4.92 değerindedir. Bu noktadan itibaren 8.0 keV enerjiye kadar eğilim çizgisi yükselmektedir. 8.0 keV enerjide Bağlı TLD Cevabı en yüksek değer olan 15.75 değerine ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra Bağlı TLD Cevabı düşmeye başlayarak düşüş

eğilimi 60.0 keV enerjeye kadar devam etmektedir. 60.0 keV enerjisinde Bağlı TLD Cevabı en düşük olarak 0.88 değerini almaktadır. 40.0-90.0 keV aralığında yatay seyreden eğilim çizgisi, tekrar 90.0 keV'den sonra yükselişe geçmektedir. Bu yükselme durumu simülasyonun en son enerji değeri olan 2000.0 keV'e kadar devam etmektedir. Bu noktada Bağlı TLD Cevabı en yüksek değer olan 25.51 değerine ulaşmıştır. 2.0 – 7.0 keV enerjilerindeki fotonlar için dozimetrenin tesir kesitinin büyük olması ile fotoelektrik etkinin baskın durumu ortaya çıkmaktadır. Buna karşın 90.0 – 2000.0 keV foton enerjilerinde ise Compton etkisi baskın hal almaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Bu çalışmada  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$  TL dozimetresi için belirlenen, fotonların Bağlı TLD cevabı

#### 4. Sonuç ve Yorum

Günümüzde fizik uygulamalarında, doz hesaplama ile ilgili çalışmalarda, görüntüleme işlemlerinde, zırlama uygulamalarında vb. işlemlerde radyasyon taşınımını simüle etmek amacıyla kullanılan Monte Carlo programları mevcuttur. MCNP çok düşük enerjiden başlayıp çok yüksek enerjilere ulaşan elektron ve fotonların madde içindeki taşınımını simüle edebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı diğer Monte Carlo programlarına göre bazı işlemleri daha hassas hesaplayabilmektedir.

Bu çalışmada dozimetre olarak kullanılan  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$  TL malzemesinin dedektör cevap fonksiyonlarının enerji bağımlılığı Monte Carlo hesaplama yöntemi ile bulunmuştur. Çalışmada TLD Monte Carlo simülasyonu metodu kullanılarak modellenmiş ve dozimetrelerin radyasyon enerjisine bağlı cevapları incelenmiştir. Çalışılan kaynaklar istenilen enerji spektrumuna sahiptir. Çalışmada istenildiği şekilde foton enerjisi kullanılarak yapılan hesaplamalarda verilerin birbiri ile ve literatür değerleri ile göz önünde bulundurulacak bir farklılığın olmadığı ortaya konmuştur.

Simülasyon ve deneysel çalışmalarda 100 keV civarı enerjilerde  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$  TL malzemesinin dedektör cevap fonksiyonlarının daha fazla incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca 30-100 keV enerji aralıklarında da kapsamlı araştırmaların yapılması iyi olacaktır.

## Teşekkür ve Bilgi

Bu çalışma Adım Fizik Günleri III 2014’de bildiri olarak sunulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Tsoufanidis, N., 1983. Measurement and Detection of Radiation, Hemisphere Publishing Corporation, New York, p. 571.
- [2] Hançerlioğulları A., 2006. Monte Carlo Simülasyon Metodu ve MCNP Kod Sistemi, *Kastamonu Education Journal*, 14(2):545-546.
- [3] Briesmeister J.F., Editor 2000. MCNP- A General Monte Carlo N-Particle Transport Code System. LA-12625-M, Version C.
- [4] Horowitz Y.S., 1981. Theoretical and microdosimetric basis of thermoluminescence and applications to dosimetry, *Physical Medical Biology*, 26(4): 765-824.
- [5] Prokic, M., 2002. Dosimetric characteristics of  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu,Ag,P}$  solid TL detectors, *Radiation Protection Dosimetry*, 100(1-4): 265-268.
- [6] Hranitzky C., Stadtmann H., Olko P., 2006. Determination of  $\text{LiF:Mg,Ti}$  and  $\text{LiF:Mg,Cu,P}$  TL efficiency for x-rays and their application to Monte Carlo simulations of dose meter response, *Radiation Protection Dosimetry*, 119(1-4): 483-486.
- [7] Jung H., Lee K.J., Kim, J.L., 2003. A personal thermoluminescence dosimeter using  $\text{LiF:Mg,Cu,Na,Si}$  detectors for photon fields, *Applied Radiation and Isotopes*, 59, 87-93pp.
- [8] Daros K.A.C., Campos L.L., Medeiros R.B., 2001. TL response study of the  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ . Pellets with graphite for dosimetry in beta radiation and low-energy photons fields. *Applied Radiation and Isotopes*, 54: 957-960.
- [9] Furetta C., Prokic M., Salamon R., Prokic V., Kitis G., 2001. Dosimetric characteristics of tissue equivalent thermoluminescent solid TL detectors based on lithium borate, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 546: 411-417.

M. Mustafa Aydın e-posta: : mma-95@hotmail.com