

LiF:MgCuNaSi Termoluminesans Dedektörün Farklı Enerjilerdeki Fotonlara Karşı Dedektör Cevap Fonksiyonunun Monte Carlo Yöntemiyle İncelenmesi

Bünyamin Aydın^{1,*}, Mehmet N. Kumru², Gültekin Yeğin³, M. Mustafa Aydın⁴

¹Bilim ve Sanat Merkezi, Uşak, 64400, Türkiye

²Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimleri Enstitüsü, 35100, İzmir, Türkiye

³Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 45140, Manisa, Türkiye

⁴İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, 34469, İstanbul, Türkiye

*yazışılan yazar e-posta: mmesssm@yahoo.com

Alınış: 05 Mayıs 2014, Kabul: 04 Eylül 2014

Özet: Birçok Termoluminesans (TL) dozimetreleri “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, Mg, Cu, Na ve Si ile katkılanmış TLD olarak kullanılan LiF malzemeleri modellenmiştir. 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: LiF, Monte Carlo, TL, foton

The Investigation of The Detector Response Function of The LiF:MgCuNaSi Thermoluminescence Detector Against The Photons In Different Energies By Using Monte Carlo Method

Abstract: Many of the Thermoluminescence (TL) dosimeters 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, LiF materials which are used as “TLD” doped with Mg, Cu, Na, and Si activators are modeled. 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: LiF, Monte Carlo, TL, photon

1. Giriş

Bu çalışmada dozimetre olarak kullanılan bazı Termoluminesans (TL) LiF malzemelerin dedektör cevap fonksiyonlarının enerji bağımlılığı, Monte-Carlo yöntemi ile incelenmiştir. Birçok TL malzeme, “personel doz eşdeğerini” ölçmek için kullanılmaktadır. 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. Bunun nedeni, bilgisayarda yapılan simülasyon sırasında dedektörün ideal bir dedektör olarak çalışmasıdır.

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. Radyoaktif atomların çekirdeği kararsız olduklarından radyoaktivite özelliği gösterirler. Bu durumda kararsız çekirdekler bozunmaya uğrarlar. Çekirdeklerin bozunması sonucunda yeni bir çekirdek ve parçalanma ürünleri meydana gelir. Atom çekirdeklerindeki bu değişiklikler sonucunda radyasyon yayınlanır.

1.2 Termolüminesans Dozimetreler (TLD)

Termolüminesans dozimetrelerin kullanım aşamaları gelişme evresindedir. LiF en fazla kullanılan malzemelerden biridir. miliröntgen mertebesinde 10^4 röntgene kadar radyasyon dozlarının ölçülmesinde elverişlidir. TL dozimetreleri ile doz ölçümleri için özel bir okuyucu cihaza ihtiyaç vardır. Bir TLD pratikte yüzlerce defa kullanılabilir. 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 [1].

Dozimetreler TL kartı ve koruyucu olmak üzere iki parçadan oluşur. Preslenmiş pellet şeklindeki TLD'ler şu isimleri alır: TLD-100H (% 7.5), TLD-600H (% 95.6) ve TLD-700H (% 0.07). Bazı LiF termolüminesans malzemelerin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [2].

Yapılan deneysel bir çalışmada X-ışını ve gama radyasyonu kullanılmıştır. LiF:Mg,Ti (TLD-100) ve LiF:Mg,Cu,P (TLD-100H) TL dozimetrelerin bazı özellikleri araştırılmıştır. Deneylerin ve değerlendirmelerin bir yıldan uzun sürdüğü belirtilerek, bu uzun zaman sürecinde okuma ölçümleme faktörlerinin çok fazla değerlendirilmesi gerektiği bildirilmiştir [3].

Tablo 1. Bazı LiF termolüminesans malzemelerin temel karakteristikleri

MALZEME	RADYASYON TİPİ	ARALIK (Enerji)
LiF (TLD 100) [Doğal lityum; %92,6 ^7Li , %7,4 ^6Li]	γ , n (termal)	$1.0\mu\text{R} - 10^4\text{R}$
LiF (TLD 600)	γ , n (termal)	$1.0\mu\text{R} - 10^5\text{R}$
LiF (TLD 700)	γ	$1.0\mu\text{R} - 10^5\text{R}$

Tüm TLD malzemeleri içinde LiF en yaygın olarak kullanılanıdır. Çünkü oda sıcaklığında geçiciliği çok azdır. LiF içinde depo edilen enerji geniş bir gama enerji uzaklığı boyunca gama ışını dozu veya doz eşdeğeri ile yakından ilişkilidir. Yüksek

atom numaralı TLD malzemeleri için fotoelektrik etkileşim olasılığı arttırılırsa, düşük enerjili X veya gama ışınlarının cevabını arttırır [1].

1.3 Simülasyon Yöntemi

Simülasyon modelleri yardımıyla karmaşık problemlerin modellenmesi ve bu problemlerin çözümü oldukça başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Çünkü değişkenler arasındaki etkileşimi simülasyon modellerinde gözlemlemek kolaylık sağlamaktadır [4].

1.4 Monte Carlo Tekniği

Monte Carlo tekniği Los Alamos laboratuvarlarında nükleer silah geliştirilmesi projesinde çalışan bilim adamları tarafından ilk kez ortaya atılmış, 1930'lerden sonra hızla gelişmeye başlamıştır. Yöntem olasılık teorisine dayanır. Yöntemin bir probleme uygulanması, rastgele sayıları kullanılarak simüle edildikten sonra, hesap edilmek istenen parametrenin bu simülasyonlarının sonuçlarına bakılarak yaklaşık hesaplanması fikrine dayanır. Analitik yollarla çözülemeyen problemleri basitleştirerek, Monte Carlo metotları ile çözmek daha doğru olmaktadır. 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. [5].

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. Çözülmesi istenen bir problemin var olan geometrik özelliklerinin, malzemeyi açıklayan bilgilerin, kaynağın özelliklerinin ve MCNP'den istenilen sonuçların türü ile ilgili bilgilerin bir veri giriş dosyası yardımıyla MCNP programına tanıtılması lazımdır. Bu giriş dosyası hücre kartı, yüzey kartı ve veri kartı olmak üzere üç temel bölümden meydana gelir. Temelde kod iki ana kısımdan oluşur: MCNP paketi ile birlikte dağıtım yapılan standart kaynak kod ve kullanıcı tarafından yazılan kullanıcı kodudur. Kaynak kod radyasyon–madde etkileşimlerinin fiziksel kurallarını içermektedir [5].

1.6 Tally (Ambar-Veri Çetelesi)

Ambar olarak adlandırabileceğimiz ve sonuçların toplandığı 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. Hesaplanması istenilen nicelikler, MCNP'de kullanılan veri çeteleleri Tablo 2'dedir. Bu çalışmada bu veri çetelelerinden F1 ve F6 kullanılmıştır [5].

Tablo 2. 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 ²
F4	Hücre üzerinden ortalama akı	Parçacık/cm ²
F5a	Nokta veya halka dedektörün parçacık akısı	Parçacık/cm ²
F6	Her bir hücrede biriken enerji (doz)	MeV/g
F8	Dedektörde üretilen pulsların enerji dağılımı	

1.7 Yapılan Çalışmalar

Horowitz termoluminesans 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 [6].

Boyutları 3,0x3,0x0,9 mm³ ve 1,0x1,0x1,0 mm³ olan LiF TL dozimetreler ile yapılan çalışmada, Monte Carlo yöntemiyle foton enerjisi ve dedektör geometrisinin bir fonksiyonu olarak mutlak dedektör cevabı (α_x) deneysel ve simülasyon ile bulunmuştur. Çalışmada 19.0, 29.1 ve 50.8keV enerjili fotonların dedektör cevabı, yaklaşık olarak 1×10^6 foton nesli simüle edilerek bulunmuştur. Deneysel sonuçlar ile simülasyon sonuçlarının uyumlu olduğu belirlenmiştir [7].

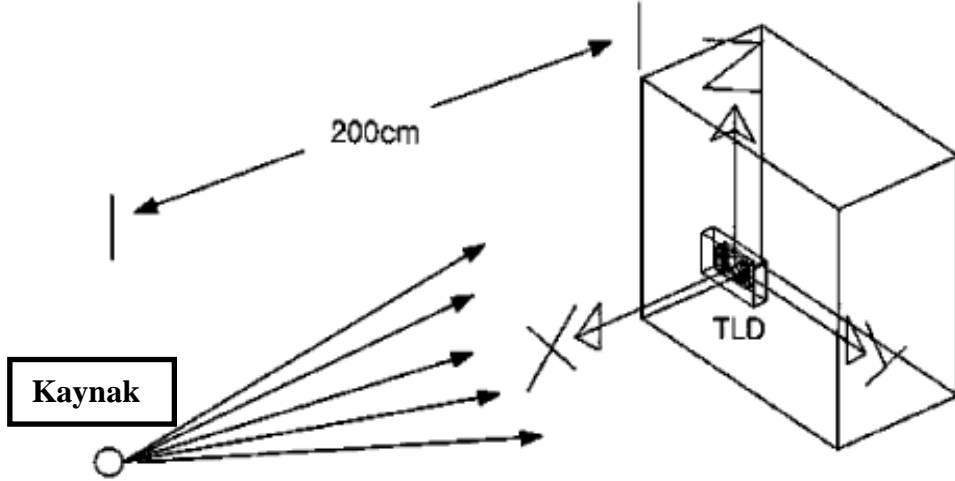
Jung et al. yapmış olduğu deneysel çalışmada, tasarlanan ve katılaştırılmış tablet biçiminde hazırlanan LiF:Mg,Cu,Na,Si dozimetresi kullanılmıştır. Denemelerde kaynak ve TL dedektör arasındaki mesafe 200.0 cm alınmış ve ışınlama normal hava şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ortalama foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak, enerji cevabı 662.0 keV foton enerjisine normalize edilerek, 19.4, 35.2, 51.2, 73.0 ve 118.3 keV enerjili fotonların Bağıl TLD Cevabı bulunmuştur [8].

2. Materyal ve Metot

TLD’ler ile yapılan deneysel çalışmalarda yeterli veri üretilmemesi nedeni ile bu çalışmada simülasyon ile Monte Carlo hesaplama yöntemi kullanılarak dozimetri için kullanılan bazı LiF TL malzemelerin fotonlar için enerjiye bağlı dedektör cevapları incelenmiştir.

2.1 Simülasyon İçin Kaynak-Dozimetre Geometrisi

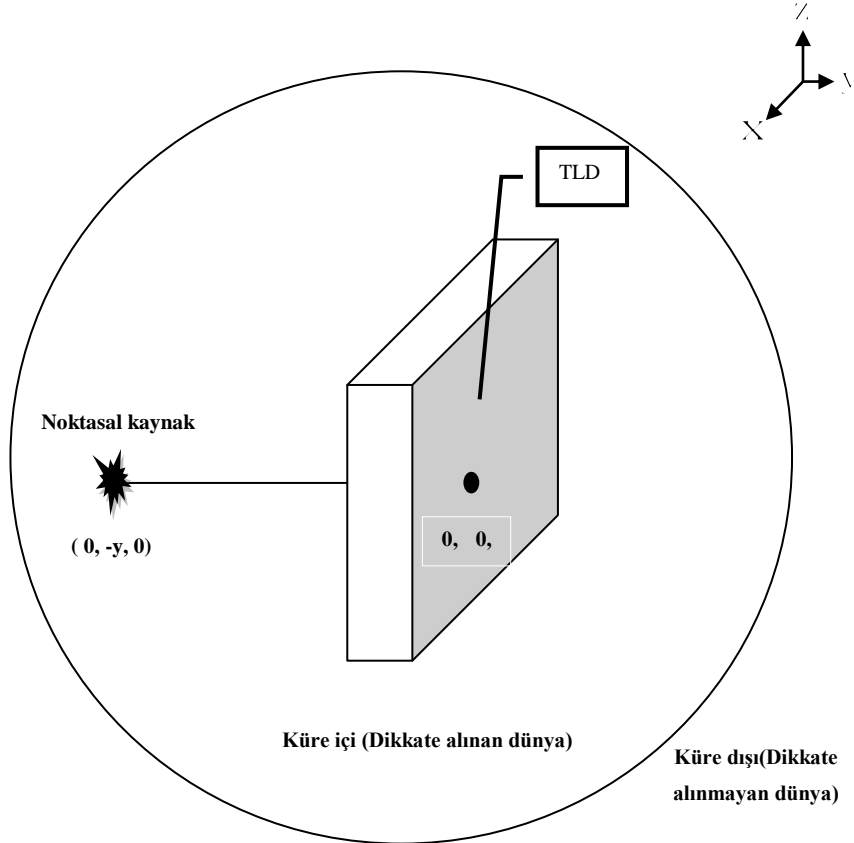
Bu çalışmada simülasyon için, radyasyon kaynağı ve dozimetrenin bulunduğu ortam hazırlanırken daha önce yapılmış olan çalışmalar da dikkate alınmıştır. Yapılmış olan çalışmalardan Jung et al. yapmış olduğu deneysel çalışmanın şematik geometrik yapılandırılmasında kaynak-dozimetre arası uzaklık 2.0 m alınmıştır. Şekil 1’de gösterilen geometrik yapılandırma bu çalışmanın temelini oluşturmuştur [8].



Şekil 1. Jung et al. yapmış olduğu deneysel çalışmanın şematik geometrik yapılandırılması [8]

Bu çalışmanın temel öğelerinden dozimetrelerin geometrik şekli düzgün dikdörtgenler prizması modellenmiştir. Das et al. yapmış oldukları bir çalışmada dikdörtgenler prizması şeklinde LiF TLD'ler kullanılmıştır [7].

Bu çalışmada gerçekleştirilen simülasyon işlemlerinde, modellenen geometrik biçimli dikdörtgenler prizması TLD'ler Şekil 2'de, gösterilmiştir. Radyasyon kaynağı ise noktasaldır.



Şekil 2. Dikdörtgenler prizması biçiminde TLD ve noktasal kaynağın gösterimi

2.2 Monte Carlo Hesaplamalarında Kullanılan Malzemeler ve Yoğunlukları

Bu çalışmada simülasyonu yapılan çeşitli TLD malzemelerin ve ortam malzemesi havanın kompozisyonu, yoğunluk ve atom numaraları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Monte Carlo hesaplamalarında kullanılan malzemeler, element bileşimleri ve yoğunlukları

Malzeme	Element	Element Bileşimi (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
Hava	C	0.0124	1.205x10 ⁻³
	N	75.5267	
	O	23.1781	
	Ar	1.2827	
LiF	Li	26.7585	2.635
	F	73.2414	

2.3 Dedektör Cevabı

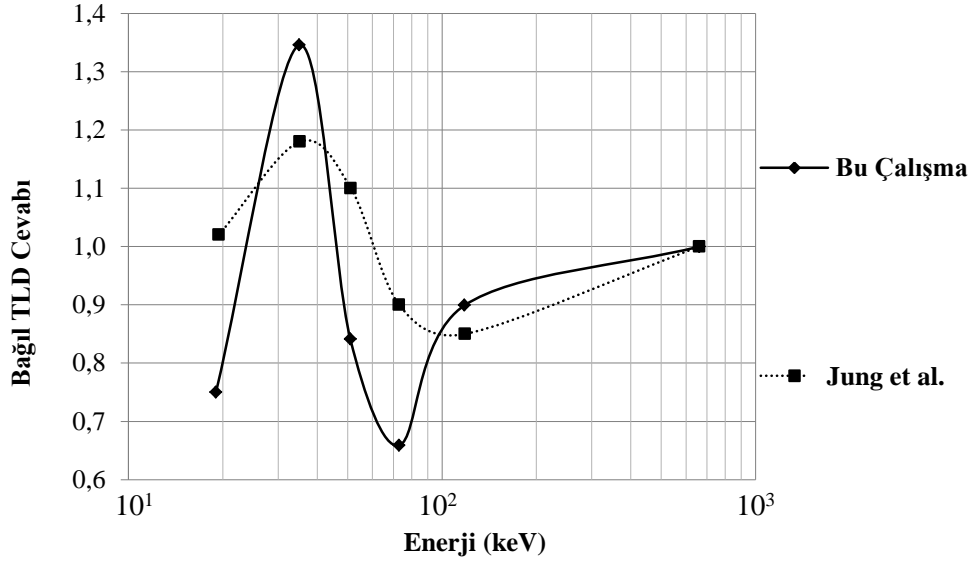
Analizlerin amacı, bazı dedektör türlerinin tüm yüzey üzerinden integre edilen parçacık akımını, bir yüzey üzerinden ortalama akıyı, hücre üzerinden ortalama akıyı, her bir hücrede biriken enerjinin cevaplarını tahmin etmektir. Bu yüzden alan bilgisi dedektör cevaplarına dönüştürülebilmelidir.

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 [9].

3. Bulgular

Bulunan veri değerleri, yapılmış olan diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. LiF:Mg,Cu,Na,Si dozimetre için 19.4, 35.2, 51.2, 73.0, 118.3 ve 662.0 keV enerjili fotonların Bağlı TLD Cevabını Jung et al. yapmış olduğu çalışmanın sonucu ile karşılaştırmak amacı ile dozimetrenin boyutları 0,4x0,4x0,1 cm³ alınmıştır [8].

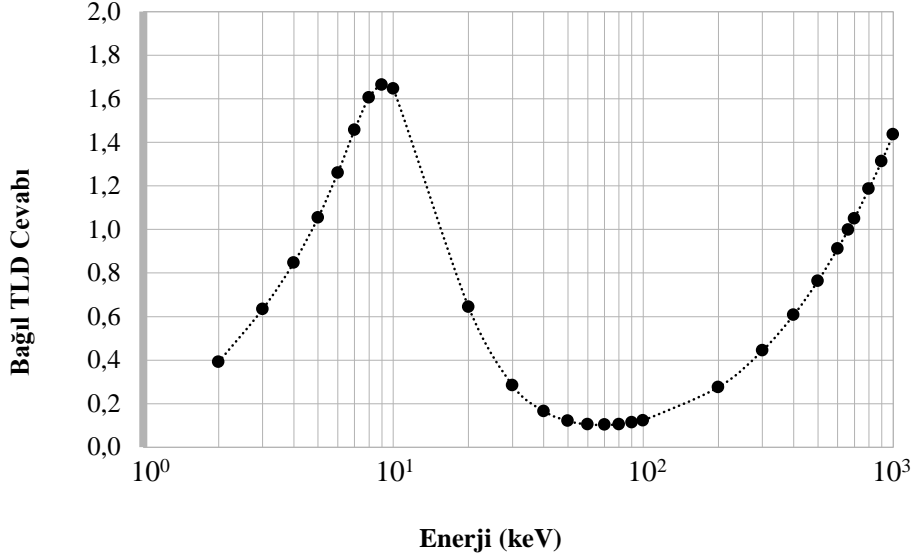
Kaynağın dozimetreye uzaklığı 1.0 cm’dir. Simülasyonun sonucu Şekil 3’de gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, fotonların 19.4, 51.2 ve 73.0 keV enerjilerdeki Bağlı TLD Cevabı Jung et al. yapmış olduğu çalışmada bulunan değerlerden düşük; 35.2 ve 118.3 keV enerjilerde ise yüksek çıkmıştır. Genel anlamda grafiğin şeklinde bir uyum söz konusu olmakla birlikte sayısal değerlerin farklılık göstermesi, deneysel çalışma ve simülasyon yönteminden kaynaklanmış olabilir.



Şekil 3. Jung et al. LiF:Mg,Cu,Na,Si TL dozimetresi için belirledikleri, fotonların Bağlı TLD Cevabı ile, bu çalışmada elde edilen sonucun karşılaştırılması [8]

Bu çalışmada LiF dozimetre için 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 ve 1000.0 keV enerjili fotonların Bağlı TLD Cevabı simülasyonla bulunmuş ve sonucu Şekil 3’de gösterilmiştir. TLD boyutları $1,0 \times 1,0 \times 0,1 \text{ cm}^3$ alınmıştır. Kaynağın dozimetreye uzaklığı 10.0 cm’dir. Dedektör malzemeleri ve oranları şöyledir: % 26.76 Li ve % 73.24 F.

Grafikte görüldüğü üzere 2.0 keV foton enerjisinde Bağlı TLD Cevabı 0.39 değerindedir. Bu noktadan itibaren 9.0 keV enerjiye kadar eğilim çizgisi yükselmektedir. 9.0 keV enerjide Bağlı TLD Cevabı en yüksek değer olan 1.66 değerine ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra Bağlı TLD Cevabı düşmeye başlayarak düşüş eğilimi 50.0 keV enerjiye kadar devam etmektedir. 70.0 keV enerjisinde Bağlı TLD Cevabı en düşük olarak 0.10 değerini almaktadır. 50.0-100.0 keV aralığında yatay seyreden eğilim çizgisi, tekrar 100.0 keV’den sonra yükselişe geçmektedir. Bu yükselme durumu simülasyonun en son enerji değeri olan 1000.0 keV’e kadar devam etmektedir. Bu noktada Bağlı TLD Cevabı 1.43 değerine ulaşmıştır. 2.0 – 9.0 keV enerjilerindeki fotonlar için dozimetrenin tesir kesitinin büyük değerler aldığı görülmektedir. Yani daha çok fotoelektrik etki baskın durumdadır. Buna karşın 50.0 – 100.0 keV enerjilerinde tesir kesiti düşmektedir. 100.0 – 1000.0 keV foton enerjilerinde ise Compton etkisi baskın duruma geçmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. LiF TL dozimetresi için bu çalışmada bulunan, fotonların Bağıl TLD cevabı

4. Sonuç ve Yorum

Monte Carlo yöntemiyle yapılan hesaplamalarda dikkate alınan fiziki etkileşmeler, simülasyon işlemiyle elde edilen neticelerin doğruluğu bakımından önem arz etmektedir. Günümüzde fizik uygulamalarında, doz hesaplama ile ilgili çalışmalarda, görüntüleme işlemlerinde, zırhlama 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. 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. Bu ise simülasyon çalışmalarında çalışma zamanını etkileyen bir faktörlerden biridir.

Deneysel çalışmalarda karşılaşılan zorluklardan biri istenilen enerjilerde foton kaynaklarının bulunamamasıdır. Bundan dolayı LiF TL dozimetreleri için 100 keV enerjiler altında daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir..

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] Moscovitch M., St. John T.J., Cassata J.R., Blake P.K., Rotunda J.E., Ramlo M., Velbeck K.J., Luo Z., 2006. The application of LiF:Mg,Cu,P to large scale personnel dosimetry: Current status and future directions, *Radiation Protection Dosimetry*, 119(1-4):248-254.

- [3] Freire L., Calado A., Cardoso J.V., Santos L.M., Alves J.G., 2008. Comparison of LiF (TLD-100 and TLD-100H) detectors for extremity monitoring, *Radiation Measurements*, 43: 646–650.
- [4] Şarer B., Hançerlioğulları A., Übeyli M., 2003. Nükleer Hesaplamalarda Monte Carlo Yönteminin Kullanımı, 8. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojiler Kongresi, Ekim 2003, Kayseri.
- [5] Briesmeister, J.F., Editor, 2000. MCNP- A General Monte Carlo N-Particle Transport Code System. LA-12625-M, Version C
- [6] Horowitz Y.S., 1981. Theoretical and microdosimetric basis of thermoluminescence and applications to dosimetry, *Physical Medical Biology*, 26, 4, 765-824.
- [7] Das R.K., Li Z., Perera H., Williamson J.F., 1996. Accuracy of Monte Carlo photon transport simulation in characterizing brachytherapy dosimeter energy-response artefacts, *Physical Medical Biology*, 41: 995-1006.
- [8] Jung, H., Lee, K.J., and Kim, J.L., 2003. A personal thermoluminescence dosimeter using LiF:Mg,Cu,Na,Si detectors for photon fields, *Applied Radiation and Isotopes*, 59: 87–93.
- [10] Hranitzky C., Stadtmann H., Olko P., 2006. Determination of LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P TL efficiency for x-rays and their application to Monte Carlo simulations of dosimeter response, *Radiation Protection Dosimetry*, 119(1–4): 483–486.

Mehmet N. Kumru e-posta: mehmet.nurullah.kumru@ege.edu.tr

Gültekin Yeğin e-posta: gultekin.yegin@bayar.edu.tr

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