

**BAZI TERMOLÜMİNESANS DOZİMETRİK BİLEŞİKLERİN  
VE AMİNOASİTLERİN 0,015-15 MeV ENERJİ ARALIĞINDA  
KÜTLE VE ENERJİ SOĞURMA KATSAYILARI, ETKİN  
ATOM NUMARALARI, ATOMİK VE ELEKTRONİK TESİR  
KESİTLERİ VE FOTON KUVVETLENDİRME  
FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ**

**Selim ADIGÜZEL**

**Yüksek Lisans Tezi  
Fizik Anabilim Dalı  
Doç. Dr. Demet DEMİR  
2013  
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BAZI TERMOLÜMİNESANS DOZİMETRİK BİLEŞİKLERİN VE  
AMİNOASİTLERİN 0,015-15 MeV ENERJİ ARALIĞINDA KÜTLE  
VE ENERJİ SOĞURMA KATSAYILARI, ETKİN ATOM  
NUMARALARI, ATOMİK VE ELEKTRONİK TESİR KESİTLERİ  
VE FOTON KUVVETLENDİRME FAKTÖRLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Selim ADIGÜZEL**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ERZURUM  
2013**

**Her Hakkı Saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

BAZI TERMOLÜMİNESANS DOZİMETRİK BİLEŞİKLERİN VE AMİNOASİTLERİN 0,015-15 MeV ENERJİ ARALIĞINDA KÜTLE VE ENERJİ SOĞURMA KATSAYILARI, ETKİN ATOM NUMARALARI, ATOMİK VE ELEKTRONİK TESİR KESİTLERİ VE FOTON KUVVETLENDİRME FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ

Doç.Dr. Demet DEMİR danışmanlığında, Selim ADIGÜZEL tarafından hazırlanan bu çalışma 20/02/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından FİZİK Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Demet DEMİR

İmza :

Üye : Prof. Dr. Elif BOYDAŞ

İmza :

Üye : Prof. Dr. Sabriye SEVEN

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU  
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5816 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BAZI TERMOLÜMINESANS DOZİMETRİK BİLEŞİKLERİN VE AMİNOASİTLERİN 0,015-15 MeV ENERJİ ARALIĞINDA KÜTLE VE ENERJİ SOĞURMA KATSAYILARI, ETKİN ATOM NUMARALARI, ATOMİK VE ELEKTRONİK TESİR KESİTLERİ VE FOTON KUVVETLENDİRME FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ

Selim ADIGÜZEL

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Demet DEMİR

Bu tez çalışmasında 0,015-15 MeV enerji aralığında  $MgSO_4$ ,  $CdSO_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mg_2SiO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaF_2$ ,  $NaSO_4$ ,  $Na_4P_2O_7$ ,  $Ca_5F(PO_4)_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$  ve  $BaSO_4$  termolüminesans dozimetrik bileşiklerin ve  $C_2H_5NO_2$  (glycine),  $C_3H_7NO_2$  (alanine),  $C_5H_9NO_2$  (proline) ve  $C_6H_{13}NO_2$  (lucine) aminoasitlerinin kütle soğurma katsayıları, kütle enerji soğurma katsayıları, etkin atom numaraları, atomik ve elektronik tesir kesitleri ve foton kuvvetlendirme faktörleri teorik olarak hesaplanmıştır. Bu fiziksel parametrelerin enerji ve kimyasal yapıya bağlılığı tartışılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada incelenen bileşik ve aminoasitlerin foton kuvvetlendirme faktörleri 40 ortalama serbest yol penetrasyon derinliğine kadar hesaplanmıştır. Bu parametrenin enerji, penetrasyon derinliği ve kimyasal yapıya bağımlılığı tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

**2013, 106 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Termolüminesans dozimetrik bileşik, aminoasit, kütle soğurma katsayısı, kütle enerji soğurma katsayısı, etkin atom numarası, atomik tesir kesiti, elektronik tesir kesiti, foton kuvvetlendirme faktörü.

## ABSTRACT

MS Thesis

**DETERMINATION of MASS and ENERGY ABSORPTION COEFFICIENTS,  
EFFECTIVE ATOMIC NUMBERS, ATOMIC and ELECTRONIC CROSS  
SECTIONS and PHOTON BUILDUP FACTORS of SOME  
THERMOLUMINESCENCE DOSIMETIC COMPOUNDS and AMINOACIDS  
AT 0,015 – 15 MEV ENERGY RANGE**

Selim ADIGÜZEL

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Demet DEMİR

The present study, mass attenuation coefficients, mass energy absorption coefficients, effective atomic numbers, atomic and electronic cross-sections and photon buildup factors were determined theoretically for some thermoluminescence dosimetric compounds such as  $MgSO_4$ ,  $CdSO_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mg_2SiO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaF_2$ ,  $NaSO_4$ ,  $Na_4P_2O_7$ ,  $Ca_5F(PO_4)_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$  and  $BaSO_4$  and aminoacids such as  $C_2H_5NO_2$  (glycine),  $C_3H_7NO_2$  (alanine),  $C_5H_9NO_2$  (proline) and  $C_6H_{13}NO_2$  (lucine) at 0,015- 15 MeV energy range. Also, the photon buildup factors for these materials have been calculated up to penetration depths of 40 mean free path. The obtained buildup factors have been investigated depending on photon energy, penetration depth and chemical composition. The results were presented in tables and graphics.

**2013, 106 Pages**

**Keywords:** Thermoluminescence dosimetric compound, aminoacid, mass attenuation coefficient, mass energy absorption coefficient, effective atomic number, atomic cross section, electronic cross section, photon buildup factor.

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının hazırlanmasında, bilgisi ve çalışma azmiyle bana ilham veren, desteği ve sabrıyla bana yol gösteren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Demet DEMİR'e en içten teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmam esnasında yardımlarını benden esirgemeyip destek olan arkadaşlarım Sayın Ömer Faruk AYDEMİR ve Sayın Dr. Ahmet TURŞUCU' ya teşekkür ederim.

Selim ADIGÜZEL

Őubat, 2013

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>3</b>
2.1. Gama Işınlarnının Madde ile etkileşmesi.....	3
2.2. Fotoelektrik Olay.....	5
2.2.1. Auger Olayı.....	7
2.3. Gama Radyasyonun Soğurulması ve Lambert-Beer Kanunu.....	7
2.4. Karışım Kuralı ve Bileşikler için Kütle Soğurma Katsayısı.....	8
2.5. Gama Işınlarnının Saçılması.....	9
2.5.1. Koherent saçılma.....	9
2.5.1.a. Rayleigh saçılması.....	10
2.5.1.b. Delbruck saçılması.....	10
2.5.1.c. Thomson saçılması.....	10
2.5.1.d. Nükleer rezonans saçılma.....	11
2.5.2. İnkohherent saçılma.....	11
2.5.2.a. Compton saçılması.....	11
2.5.2.b. Nükleer saçılma.....	13
2.5.2.c. Raman saçılması.....	13
2.6. Tesir Kesiti.....	13
2.7. Etkin Atom Numarası ve Önemi.....	16
2.7.1. Direkt yöntem.....	17
2.7.2. İnterpolasyon yöntemi.....	18
2.8. Foton Buildup Faktörü.....	18
2.9. Veri Tabanları ve Bilgisayar Programları.....	20

2.9.1. XCOM ve WinXCom.....	20
2.9.2. ANSI/ANS 6.4.3.....	21
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>22</b>
3.1. Kullanılan Numuneler .....	22
3.2. Etkin Atom Numarasının Kütle Soğurma Katsayılarının Kullanılması ile Belirlenmesi .....	22
3.3. Kütle Enerji Soğurma Katsayısının Belirlenmesi .....	23
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>26</b>
4.1. Foton Etkileşme Parametrelerinin Belirlenmesi.....	26
<b>5. SONUÇ ve TARTIŞMA.....</b>	<b>101</b>
KAYNAKLAR .....	104
ÖZGEÇMİŞ .....	107



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$\sigma$	Tesir kesiti
$K_e$	Elektronun kazandığı kinetik enerji
$h\nu$	Gelen fotonun enerjisi
$E_b$	Elektronun bağlanma enerjisi
$\mu/\rho$	Toplam azaltma (soğurma) katsayısı
$\tau/\rho$	Fotoelektrik azaltma (soğurma) katsayısı
$\sigma/\rho$	Saçılma azaltma katsayısı
$m_0c^2$	Elektronun durgun kütle enerjisi
$\kappa/\rho$	Elektron-pozitron çift oluşum azaltma katsayısı
$B(E,x)$	Foton absorpsiyon buildup faktörü
$t$	Numune kalınlığı (gr/cm <sup>2</sup> )
$K(E,x)$	Nüfus derinliğine bağlı foton maruz kalma (exposure) faktörü
$Z_{\text{etkin}}$	Etkin atom numarası
$\sigma_e$	Toplam elektron tesir kesiti
$\sigma_t$	Toplam atomik tesir kesiti
$W$	Materyal içindeki elementin ağırlık kesri
$(\mu/\rho)_i$	Materyal içindeki i. elementin kütle soğurma katsayısı
$\mu_{\text{en}}/\rho$	Kütle enerji soğurma katsayısı
$\Delta\lambda$	Compton kayması
$F$	Etkin alan kesri
$x$	Ortalama serbest yol
$a, b, c, d, X_k$	G-P fit parametreleri
$f_i$	i. elementin kısmi bolluğu
$g$	İkincil yüklü parçacıkların kinetik enerji ortalaması
$Z_{\text{eq}}$	İnterpolasyon yöntemi ile (tahmini) etkin atom numarası

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi sonucunda meydana gelebilecek farklı tipteki olaylar.....	4
Şekil 2.2. Gama ışınının madde ile etkileşimi ve enerji bölgeleri. ....	5
Şekil 2.3 Fotoelektrik olayı ve Auger olayı. ....	6
Şekil 2.4. Compton saçılması .....	12
Şekil 2.5. Tesir kesiti ile gelen demetin şiddeti arasındaki ilişki ve tesir kesitinin geometrik yorumu. ....	14
Şekil 4.1. $C_2H_5NO_2$ için kütle soğurma katsayısının enerjiyle değişimi. ....	92
Şekil 4.2. $Mg_2SiO_4$ için kütle soğurma katsayısının enerjiyle değişimi .....	92
Şekil 4.3. $C_2H_5NO_2$ için kütle enerji soğurma katsayısının enerjiyle değişimi. ....	93
Şekil 4.4. $Mg_2SiO_4$ için kütle enerji soğurma katsayısının enerjiyle değişimi.....	93
Şekil 4.5. $C_2H_5NO_2$ için atomik tesir kesitinin enerjiyle değişimi. ....	94
Şekil 4.6. $Mg_2SiO_4$ için atomik tesir kesitinin enerjiyle değişimi .....	94
Şekil 4.7. $C_2H_5NO_2$ için elektronik tesir kesitinin enerjiyle değişimi. ....	95
Şekil 4.8. $Mg_2SiO_4$ için elektronik tesir kesitinin enerjiyle değişimi. ....	95
Şekil 4.9. $C_2H_5NO_2$ için etkin atom numarasının enerjiyle değişimi. ....	96
Şekil 4.10. $Mg_2SiO_4$ için etkin atom numarasının enerjiyle değişimi. ....	96
Şekil 4.11.a. $C_2H_5NO_2$ için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=1-5$ ).....	97
Şekil 4.11.b. $C_2H_5NO_2$ için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=6-10$ ). ....	97
Şekil 4.11.c. $C_2H_5NO_2$ için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=15-40$ ). ....	98
Şekil 4.12.a. $Mg_2SiO_4$ için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=1-4$ ).....	98
Şekil 4.12.b. $Mg_2SiO_4$ için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=5-8$ ). ....	99
Şekil 4.12.c. $Mg_2SiO_4$ için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=9-20$ ).....	99
Şekil 4.12.d. $Mg_2SiO_4$ için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=25-40$ ). ..	100

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 3.1.</b> Bazı termolüminesans dozimetrik bileşiklerin ve aminoasitlerin kimyasal formülleri, ortalama atom ve kütle numaraları. ....	22
<b>Çizelge 4.1.a.</b> Bazı aminoasitler için kütle soğurma katsayıları.....	26
<b>Çizelge 4.1.b.</b> Bazı termolüminesans dozimetrik bileşikler için kütle soğurma katsayıları. ....	27
<b>Çizelge 4.2.a.</b> Bazı aminoasitler için kütle enerji soğurma katsayıları.....	29
<b>Çizelge 4.2.b.</b> Bazı termolüminesans dozimetrik bileşikler için kütle enerji soğurma katsayıları. ....	30
<b>Çizelge 4.3.a.</b> Bazı aminoasitler için toplam atomik tesir kesitleri. ....	32
<b>Çizelge 4.3.b.</b> Bazı termolüminesans dozimetrik bileşiklerin atomik tesir kesiti. ....	33
<b>Çizelge 4.4.a.</b> Bazı aminoasitler için toplam elektronik tesir kesitleri. ....	35
<b>Çizelge 4.4.b.</b> Bazı termolüminesans dozimetrik bileşikler için elektronik tesir kesiti. ....	36
<b>Çizelge 4.5.a.</b> Bazı aminoasitler için etkin atom numaraları. ....	38
<b>Çizelge 4.5.b.</b> Bazı termolüminesans dozimetrik bileşikler için etkin atom numarası... ..	39
<b>Çizelge 4.6.a.</b> Bazı aminoasitler için foton buildup faktörleri.....	41
<b>Çizelge 4.6.b.</b> Bazı termolüminesans dozimetrik bileşikler için kuvvetlendirme faktörleri .....	53

## 1. GİRİŞ

Bazı maddeler radyasyona maruz bırakıldığında enerjinin soğurulması sonucunda yapılarında kararsızlık meydana gelir. Bu maddelerde soğurulan enerji ısıtma yoluyla ışık formunda serbest bırakılır. Bu olaya termolüminesans denir. Bu yayımlanan ışığın miktarının ölçülmesi termolüminesans dozimetrelerin temelini oluşturur. Çünkü ışık miktarı dozimetrenin maruz kaldığı radyasyon dozu ile orantılıdır. Termolüminesans olayı, katılardaki kusur yapıların incelenmesinde, arkeoloji, jeoloji, sağlık fiziği, tıbbi bilimler ve radyasyon dozimetrisi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Yarıiletkenler, yalıtkanlar, camlar, seramikler, mineraller, kayalar, inorganik ile organik bileşikler ve biyolojik maddeler termolüminesans yayınlama gösterirler ve dozimetre uygulamalarında sıklıkla kullanılırlar (Aksözen *et al.* 2012; Marchal *et al.* 1992).

Bir radyasyon kaynağından yayımlanan elektromanyetik dalgalar, madde atomlarıyla çeşitli etkileşimler sonucunda enerjisinin ya tamamını ya da bir kısmını kaybeder. Kullanılan numune ister saf ister bileşik olsun, etkileşime giren radyasyon tipi ve enerjisi için kütle soğurma katsayısı ( $\mu/\rho$ ), kütle enerji soğurma katsayısı ( $\mu_{en}/\rho$ ), etkin atom numarası ( $Z_{etkin}$ ) ve foton buildup (kuvvetlendirme) faktörleri bir karakteristik özellik anlamı taşımaktadır. Elementler ve bileşikler için ayırt edici özellik olan bu fiziksel parametreler, temel fizikte, ziraat, endüstri, eczacılık, radyasyon dozimetrisi ve biyoloji alanlarında kullanılmaktadır.

Sidhu *et al.* (2012); dozimetrik öneme sahip anilin ( $C_6H_5NH_2$ ), siklohegzan ( $C_6H_{12}$ ), gliserin ( $C_3H_5(OH)_3$ ), bütül alkol ( $N-(C_4H_9OH)$ ), dimetil sülfoksil ( $C_2H_6OS$ ), metil-etil-keton ( $C_4H_8O$ ), ksilen ( $C_8H_{10}$ ), asetofenon ( $C_8H_8O$ ) ve trietil amin ( $C_6H_{15}N$ ) bileşiklerinin kütle soğurma katsayılarını 100 mCi'lik  $Am^{241}$  radyoaktif kaynağından yayımlanan 59,54 keV enerjili gama ışınlarını kullanarak hesapladılar. Angelone *et al.* (2001); sağlık fiziği alanında yaptığı çalışmada organik bileşiklerden olan Triafol BN ( $C_3H_4O_2$ )<sub>n</sub>, Triafol TN ( $C_{12}H_{18}O_7$ )<sub>n</sub>, Kapton ( $C_{44}H_{20}O_{10}$ )<sub>n</sub> ve Melinex ( $C_{10}H_8N_4O_4$ )<sub>n</sub> 'in 13-40 keV enerji aralığında kütle soğurma katsayılarını hesapladılar. Kerur *et al.* (2009); monosakkarit ve disakkaritlerin kütle soğurma katsayılarını farklı kaynak

enerjilerinde (8,136; 13,596; 17,781; 22,581 ve 32,890 keV) hesapladılar. Sharanabasappa *et al.* (2010); Mg, Ni, Cu, Mo ve Ta ile biyolojik içerikli numuneler için farklı enerjilerde kütle soğurma katsayılarını hesapladılar. Önder ve arkadaşları (2012) bazı termolüminesans dozimetrik bileşiklerin kütle soğurma katsayıları, etkin atom numaraları ve elektron yoğunluklarını gama ışınlarının soğurulması metodunu kullanarak incelediler. Demir ve Turşucu (2012) bazı vitaminlerin kütle soğurma katsayıları, kütle enerji soğurma katsayıları ve kerma değerlerini 356.61, 661.66, 1250 ve 1408.01 keV foton enerjilerini kullanarak hesapladılar. Gowda *et al.* (2005); bazı aminoasitler (glisine, alanine, serine, valine, threonine, leucine, isoleucine, aspartic asit, lysine, glutamic asit, histidine, phenylalanine, arginine, tyrosine, tryptophane) ve şekerler (arabinose, ribose, glucose, galactose, mannose, fructose, rhamnose, maltose, melibiose, melezitose ve raffinose) için 30,8; 35,0; 81,0; 145; 276,4; 302,9; 356; 383,9; 661,6; 1173 ve 1332,5 keV enerjilerinde etkin atom numarası ve elektron yoğunluklarını belirlediler. Mukaide *et al.* (2011); düşük atom numaralı elementler içeren biyolojik numunelerde etkin atom numarasını tarama tipli X-ışını görüntüleme sistemi kullanılarak 1-10 keV enerji aralığında belirlediler.

Bu tez çalışmasında 0,015-15 MeV enerji aralığında  $MgSO_4$ ,  $CdSO_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mg_2SiO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaF_2$ ,  $NaSO_4$ ,  $Na_4P_2O_7$ ,  $Ca_5F(PO_4)_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$  ve  $BaSO_4$  termolüminesans dozimetrik bileşiklerin ve  $C_2H_5NO_2$  (glycine),  $C_3H_7NO_2$  (alanine),  $C_5H_9NO_2$  (proline) ve  $C_6H_{13}NO_2$  (lucine) aminoasitlerinin kütle soğurma katsayıları, kütle enerji soğurma katsayıları, etkin atom numaraları, atomik ve elektronik tesir kesitleri ve foton kuvvetlendirme faktörleri teorik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Gama Işınlarnının Madde ile etkileşmesi

Gama ışınlarının madde ile etkileşmeleri, etkileşme alanına göre

- Atomun elektronu ile etkileşme
- Çekirdek ile etkileşme
- Çekirdek ve elektron etrafındaki elektrik alan ile etkileşme
- Çekirdek çevresindeki mezon alanı ile etkileşme

olarak gruplandırılabilir (Kurudirek 2011).

Bir nükleer bozunmada yayımlanan ve bir MeV'in kesrinden birkaç MeV'e kadar bir aralıkta enerjiye sahip olan gama ışınlarının madde ile etkileşmesi sonucunda enerji kaybettikleri üç temel olay şunlardır:

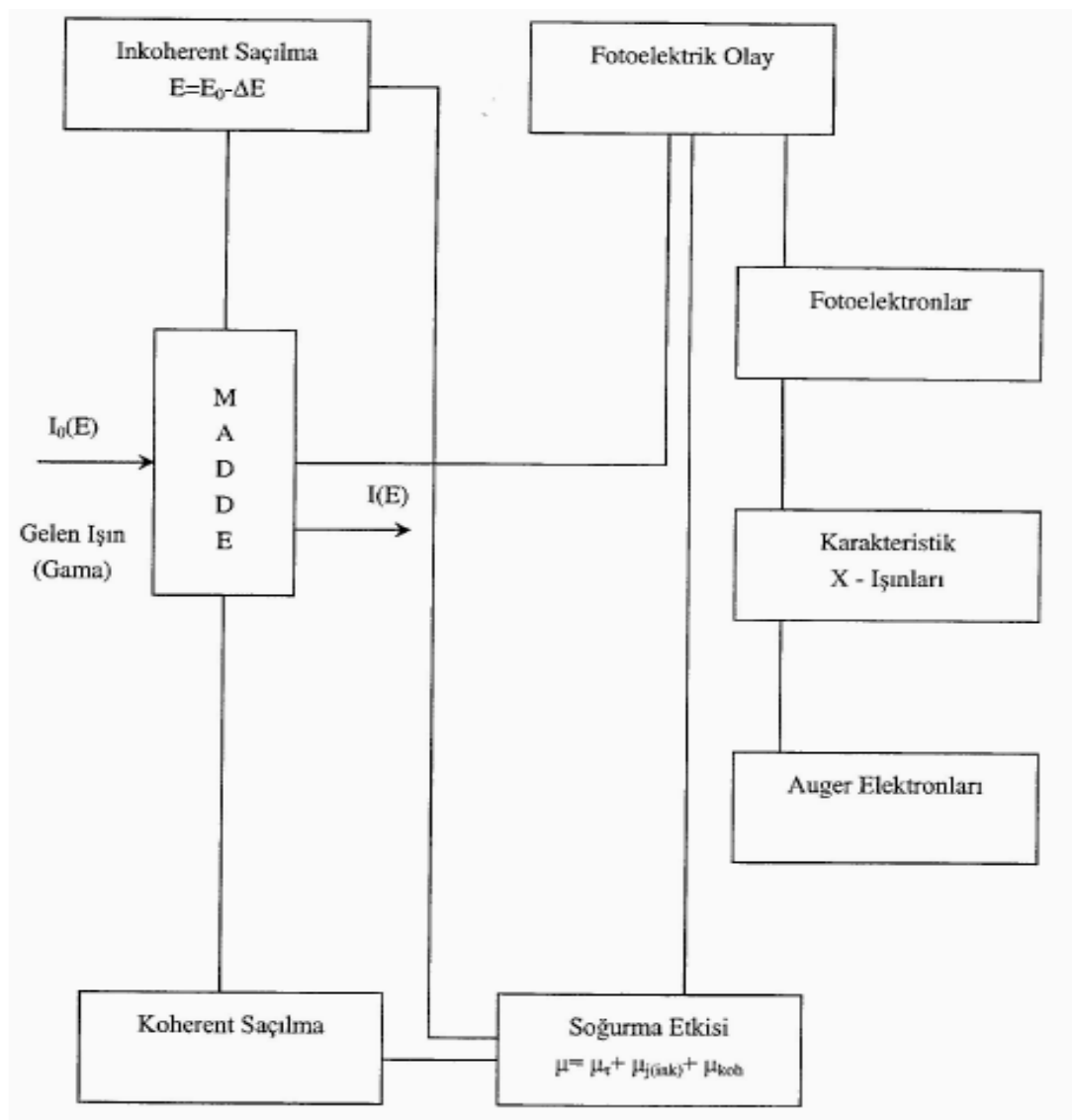
- fotoelektrik olay ( $0,01 \text{ MeV} < E < 0,5 \text{ MeV}$ )
- saçılma ( $0,1 \text{ MeV} < E < 10 \text{ MeV}$ )
- çift oluşumu ( $> 1,02 \text{ MeV}$ )'dur.

Bu üç olay da birbirinden bağımsızdır (Davission and Evans 1952). Bu olaylar sonucunda elektronlar madde içerisinde yolları boyunca yavaşlayıncaya kadar elektron-iyon veya elektron-hole çiftleri meydana getirirler. Her üç durumda, gelen fotonun şiddetinde azalmaya neden olduklarından, bu olayların tesir kesitlerinin toplam azaltma katsayısı, her bir olayın kütle azaltma katsayılarının toplamı olarak

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\kappa}{\rho} \quad (2.1)$$

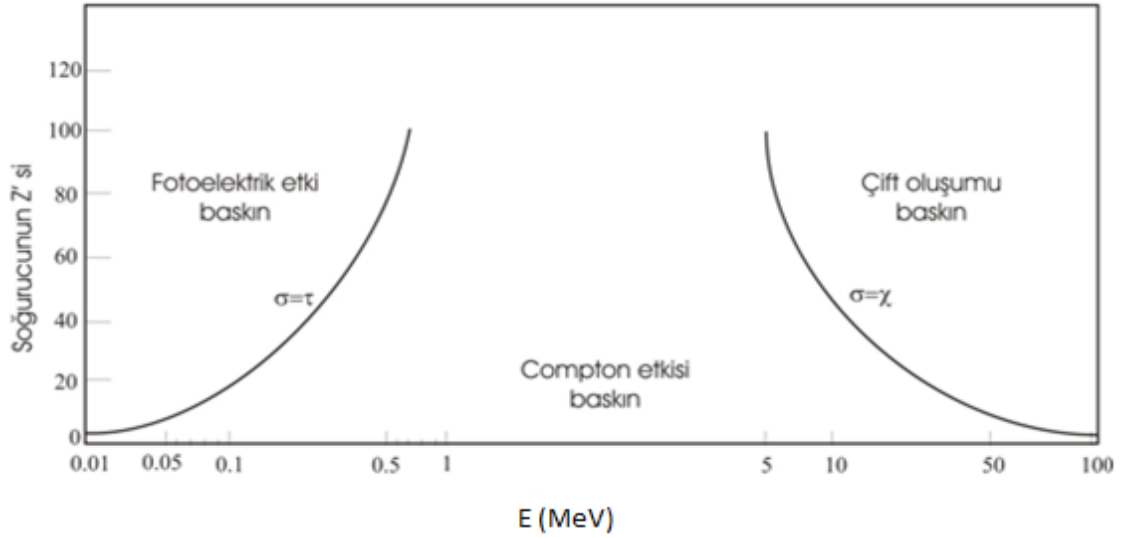
şeklinde ifade edilir. Burada  $\mu/\rho$  toplam azaltma katsayısı,  $\tau/\rho$  fotoelektrik azaltma katsayısı,  $\sigma/\rho$  saçılma azaltma katsayısı,  $\kappa/\rho$  elektron-pozitron çifti oluşumu azaltma katsayısıdır (Bertin 1975).

Şekil 2.1'de gama ışınlarının madde ile etkileşmesi sonucunda meydana gelebilecek olaylar gösterilmiştir (Dözen 2006).



**Şekil 2.1.** Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi sonucunda meydana gelebilecek farklı tipteki olaylar.

Gama ışınının madde ile etkileşmesi sonucunda Şekil 2.2’de gösterilen olaylar belirtilen enerji aralığında meydana gelir. Fotoelektrik olay 0,001 MeV ile 0,5 MeV arasında etkin iken, saçılma olayı 0,1 MeV ve 10 MeV arasında daha etkindir. Çift oluşumu olayı ise 1,02 MeV’den başlar ve artan foton enerjisi ile artar.

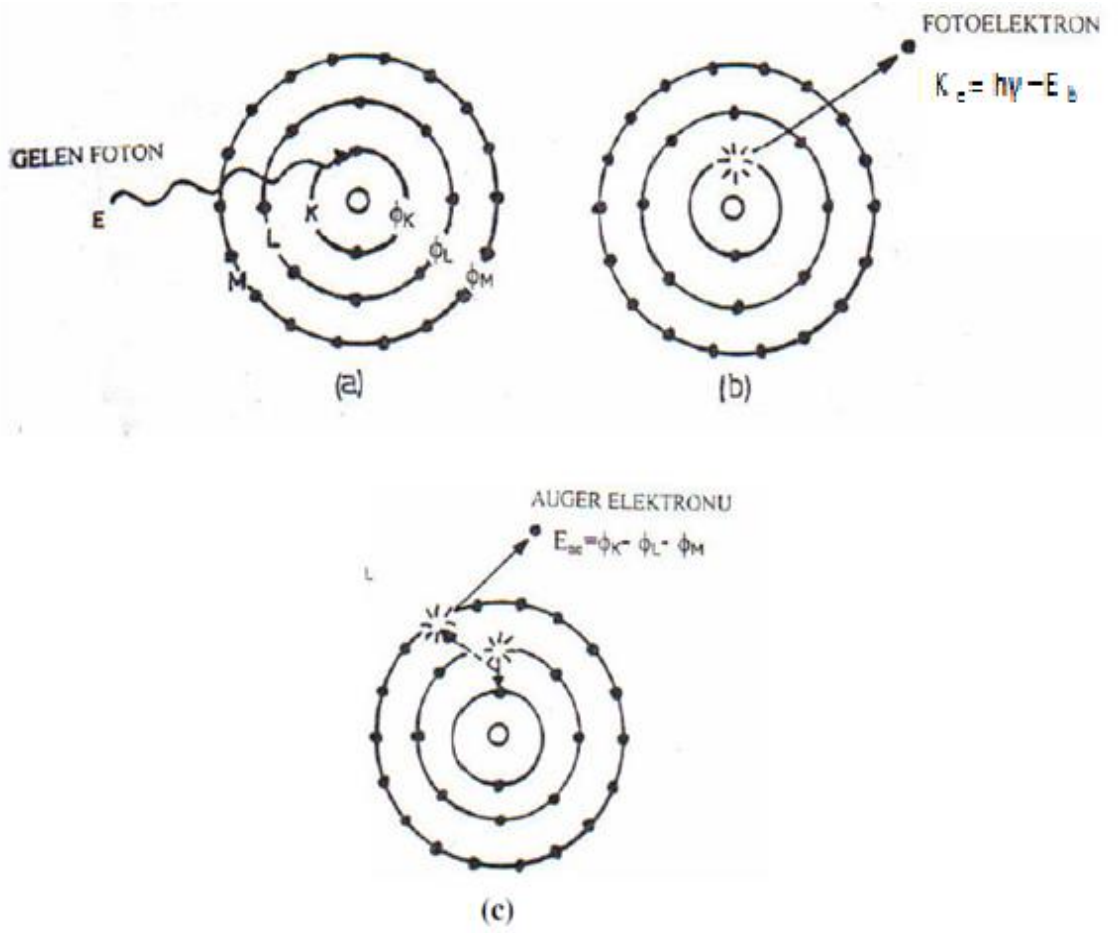


Şekil 2.2. Gama ışınının madde ile etkileşimi ve enerji bölgeleri.

## 2.2. Fotoelektrik Olay

$h\nu$  enerjili bir fotonun, atomun bağlı elektronlarından biri tarafından soğurularak elektronun serbest hale geçmesi olayına fotoelektrik olayı, serbest hale geçen elektrona da fotoelektron denir (Şekil 2.3 (a) ve (b)).





Şekil 2.3 Fotoelektrik olayı ve Auger olayı.

Bu olay sırasında fotonun enerjisini tamamen soğuran elektronun kazandığı kinetik enerji,

$$K_e = h\nu - E_b \quad (2.2)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada  $K_e$  elektronun kazandığı kinetik enerji,  $h\nu$  gelen fotonun enerjisi ve  $E_b$  ise elektronun bağlanma enerjisidir. Serbest haldeki bir elektronda enerji ve momentumun ikisi birden korunumlu olmayacağından, böyle bir elektronun foton soğurması mümkün değildir. Fakat bağlı elektronlarda durum böyle değildir. Atom geri tepir ve böylece momentumun korunması sağlanır. Atomun kütlesi çok büyük olduğundan geri tepme enerjisi çok küçüktür ve bu yüzden de kinetik enerji ifadesi ihmal edilmiştir (Şahin 1999).

Fotoelektrik olayı atomun çevresinde tüm yörüngelerde meydana gelebilir. Foton enerjisinin yüksek olduğu durumlarda bu olayın iç yörüngelerde meydana gelme olasılığı artmaktadır. Buna göre fotoelektrik olayı, düşük enerjilerde dış, yüksek enerjilerde ise iç yörüngelerde meydana gelmektedir. Foton enerjisi herhangi bir yörüngenin bağlanma enerjisine eşit olduğu durumda etkileşme o yörüngede yoğunluk kazanmaktadır (Özden 1977).

### 2.2.1. Auger Olayı

İç yörüngelerden uyarılan bir atomda meydana gelen bir boşluk üst tabakalardan elektron geçişi ile doldurulur ve atom daha düşük enerji seviyesine geçer. Bu sırada ortaya çıkan enerji, bir dış yörüngedeki elektronu sökmek için kullanılırsa, ışımasız bir geçiş yapar ve fazla enerjisini dışarı atar (Şekil 2.3 (c)). Bu olaya Auger olayı, sökülen elektrona da Auger elektronu denilir (Dyson 1988).

Auger olayı, elektronların daha gevşek bağlı ve karakteristik fotonların daha kolay soğurulduğu atom numarası düşük olan elementlerde daha yaygın görülür. Bu nedenden dolayı bu olay  $L$  serisi için  $K$  serisinden,  $M$  serisi için de  $L$  serisinden daha baskındır (Dözen 2006).

### 2.3. Gama Radyasyonun Soğurulması ve Lambert-Beer Kanunu

Gama radyasyonun soğurulmasının temel özelliği, radyasyonun belli bir kalınlıktaki maddeden geçerken şiddetinde görülen azalmadır. Radyasyonun şiddetinde meydana gelen azalma *Lambert-Beer* yasasına göre soğurucu malzemenin  $t$  kalınlığı ile orantılıdır. Başlangıçtaki şiddeti  $I_0$  olan elektromanyetik radyasyonun bir soğurucu tabakasından geçtikten sonraki  $I$  şiddeti

$$dI = -\mu I dt \Rightarrow I = I_0 e^{-\mu t} \quad (2.3)$$

ile verilir. Lineer soğurma katsayısı olan  $\mu$  ( $\text{cm}^{-1}$ ); birim yüzeyde, birim kalınlık başına düşen enerji soğurma kesri olarak tarif edilir ve gelen fotonun enerjisine bağlıdır. (2.3) ifadesinden  $\mu$  için

$$\mu = \frac{\ln(I/I_0)}{t} \quad (2.4)$$

yazılabilir. Lineer soğurma katsayısı  $\mu$  'nün soğurucu maddenin yoğunluğuna oranı birim zamanda birim kütle başına soğurulma olarak tanımlanır. Kütle soğurma katsayısı ( $\mu_m = \mu / \rho$ )

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\ln(I/I_0)}{t\rho} \quad (2.5)$$

ifadesi ile verilir. Kütle soğurma katsayısının değeri soğurucu materyalin fiziksel özelliğine bağlı olmadığından dolayı lineer soğurma katsayısı  $\mu$ 'den çok daha önemlidir. Kütle soğurma katsayısı direkt olarak soğurucu materyalin tabiatını yansıtır. Bu nedenle lineer soğurma katsayısından kütle soğurma katsayısını ölçmek çok daha uygundur.

Bir tabakada fotoelektrik olay meydana getirebilen minimum foton enerjisine o elementin o tabakasına ait soğurma kıyısı denir.

#### **2.4. Karışım Kuralı ve Bileşikler için Kütle Soğurma Katsayısı**

Karışım kuralında; herhangi bir bileşik, karışım ya da elemental kesri bilinmeyen materyallere ait toplam kütle soğurma katsayıları hesaplanıyorken, materyal içerisinde ağırlık kesri bilinen elementlerin kütle soğurma katsayıları dikkate alınarak hesaplama yapılır. Bu hesaplamada her bir elementin kütle soğurma katsayısı bileşik içerisindeki ağırlık kesrince toplama eklenir. Bu kuralda materyal içindeki elementler tek tek ele

alınır ve birbirinden bağımsız kabul edilir. Yani karışım kuralı, atomun moleküler, kimyasal ya da kristal çevresindeki değişimlerden ortaya çıkan atomik dalga fonksiyonundaki değişimleri ihmal eder (Morabad and Kerur *et al.* 2010). Bu durumda toplam soğurma katsayısı,

$$\frac{\mu}{\rho} = \sum_i W_i (\mu/\rho)_i \quad (2.6)$$

ile verilir. Burada  $W_i$ , materyal içindeki elementin ağırlık kesridir.  $(\mu/\rho)_i$ , materyal içindeki  $i$ . elementin kütle soğurma katsayısıdır.

## 2.5. Gama Işınlarnının Saçılması

Gama ışınının madde ile etkileşmesi olaylarından biri olan saçılma, saçılan ışının enerjisine göre elastik ve elastik olmayan saçılma olarak iki grupta incelenebilir. Faz ilişkileri dikkate alındığında bu saçılma olayları koherent ve inkoherent saçılma olarak da isimlendirilebilir.

### 2.5.1. Koherent saçılma

Koherent saçılma genellikle elastik veya Rayleigh saçılmasıyla eşdeğer anlamda kullanılır. Düşük foton enerjilerinde ve yüksek atom numaralı elementlerde daha çok görülür. Koherent saçılma (bağlı elektrondan rezonans saçılma), fotonun atoma sıkı bağlı elektronlar tarafından saçılmasıdır. Bu olay, gelen bir foton bağlı bir elektron üzerine düştüğünde, elektronun atomdan sökülecek kadar enerji alamadığı hallerde meydana gelir. Bu yüzden düşük foton enerjilerinde ve büyük  $Z$  'li ağır elementlerde daha çok meydana gelmektedir. Koherent saçılmada gelen fotonların enerji ve fazlarında saçılmadan sonra herhangi bir değişiklik meydana gelmez. Gelen fotonla saçılan fotonun dalgaboyları aynıdır. Bu saçılma olayında gelen ve saçılan radyasyonun toplam şiddeti, her bir elektron tarafından saçılan radyasyonun genliklerinin toplamı ile

bulunur ve bu toplam kareseldir. Koherent saçılmanın en çok görülen şekli olan Rayleigh saçılmanın tesir kesiti  $Z^2$  ile orantılıdır. Fotonlar atomik elektronlardan Rayleigh saçılmaya uğradıktan sonra hedef atom değişime uğramadan kalır (Turşucu 2012).

### **2.5.1.a. Rayleigh saçılması**

Bu olay gelen bir foton bağlı bir elektron üzerine düştüğünde, elektronun atomdan sökülecek kadar enerji alamadığı hallerde meydana gelir. Bu yüzden düşük foton enerjilerinde ve yüksek atom numaralı ağır elementlerde daha çok meydana gelmektedir (Dözen 2006). Bu saçılmada gelen fotonun enerjisinin 0,1-0,5 MeV arasında olması gereklidir (Grieken and Markowicz 1992). Büyük enerjili fotonların hafif elementlerden saçılmasında Rayleigh saçılması, Compton saçılması yanında ihmal edilebilir. Rayleigh saçılması, elektronun etkileşmeden sonra orijinal pozisyonuna döndüğü saçılma olarak da tanımlanabilir.

### **2.5.1.b. Delbruck saçılması**

Bu saçılmaya elastik nükleer potansiyel saçılma da denilmektedir. Delbruck saçılması fotonun, çekirdeğin oluşturduğu Coulomb alanından saçılmasıdır. Bu olayda çekirdek çevresindeki durgun Coulomb alanında bir elektron–pozitron çifti oluşur. Atomun tamamen geri tepmesiyle bu çiftin yok olması enerji ve faz bakımından, gelen fotonun aynısı olan yeni bir foton meydana getirir. Bu olayın etkisi oldukça küçük olduğundan deney sonuçlarında çok net olarak gözlenememektedir.

### **2.5.1.c. Thomson saçılması**

Klasik olarak bir tek yük sistemi gibi düşünülen çekirdek, gelen dalga tarafından salındırılır. Çekirdeğin kütlesi çok büyük olduğundan bu etki çok küçüktür. Gelen fotonun dalgaboyunun nükleer yarıçaptan çok büyük olması durumunda maksimum etki gözlenir.

### **2.5.1.d. Nükleer rezonans saçılma**

Bu saçılma olayı, fotonun atom çekirdeği ile etkileşmesi sonucu meydana gelir. Bu olayda çekirdek iki nükleer enerji seviyesi arasındaki farka eşit enerjiye sahip olan bir fotonun soğurulması ile uyarılır. Daha sonra bunu çekirdeğin uyarılmış durumdan kurtulması (deeksitasyonu) takip eder.

### **2.5.2. İnkohherent saçılma**

Saçılma olayında gelen foton ile saçılan fotonun enerjileri arasında bir fark meydana geliyorsa bu tür saçılmaya inkohherent saçılma denir. Gelen ile saçılan fotonların dalgaboyları birbirinden farklıdır. Bu sebeple de saçılan dalgalar arasında bir girişim gözlenmez. Bu durumda atom tarafından saçılan ışının toplam şiddeti, atomun her bir elektronu tarafından saçılma şiddetleri toplanarak elde edilir. İnkohherent saçılma; Compton saçılması, nükleer saçılma ve Raman saçılması olmak üzere üç çeşittir.

#### **2.5.2.a. Compton saçılması**

Compton saçılması ışığın tanecikli yapıda olduğunu gösteren olaylardan biridir. Bu olay gama fotonunun atomun dış yörüngesindeki serbest veya zayıf bağlı bir elektrona çarparak enerjisinin bir kısmını o elektrona vermesi ve geliş doğrultusu ile  $\psi$  açısı yaparak saçılması ile oluşur (Dözen 2006).

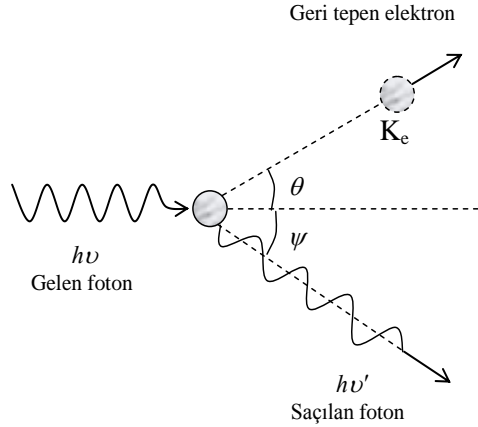
En çok gözlemlenen inkohherent saçılma şekli Compton saçılmasıdır. Compton saçılması, yüksek enerjili bir fotonun genellikle durgun ve serbest kabul edilen bir elektrondan veya bağlanma enerjisi gelen foton enerjisine kıyasla küçük olan bağlı bir elektrondan enerji kaybı ile saçılması olarak bilinir. Compton saçılması özellikle valans elektronlarına hassastır. Bu sebepten dolayı Compton saçılması fiziksel ve kimyasal sistemler hakkında faydalı bilgiler elde etmek için kullanılmaktadır. Gama ışınları bir hedeften Compton saçıldığında, saçılmış ışınım hedef elektronlarının hareketliliğinden dolayı Doppler genişlemesine uğrar. Genişlemiş çizgi şeklinin analizi olan "Compton

Profile" metodu saçıcı elektronlarının momentum dağılımları hakkında bilgi sağlamaktadır (Turşucu 2012).

Şekil 2.4'de görüldüğü gibi  $h\nu$  enerjili bir foton durgun kütlesi  $m_0$  olan bir serbest elektron ile çarpıştığı zaman etkileşme, fotonun  $h\nu'$  ( $h\nu' < h\nu$ ) enerjisi ve ilk doğrultusu ile  $\psi$  açısı yapacak şekilde saçılması, elektronun ise  $K_e$  kinetik enerjisi ve  $\theta$  açısı ile saçılması şeklinde olur. Bir elektrondan fotonun Compton saçılmasında dalgaboyundaki değişim

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\psi) \quad (2.7)$$

ifadesiyle verilir. Burada  $\Delta\lambda$  Compton kayması olarak bilinir. (2.7) ifadesinde  $h/m_0c$  terimi, değeri  $\lambda_C = 0,02426 \text{ \AA}$  olan Compton dalgaboyudur.



**Şekil 2.4.** Compton saçılması

Saçılan foton enerjisi ( $E_1$ ); gelen foton enerjisi ( $E_0$ ) ve saçılma açısı ( $\psi$ ) cinsinden

$$E_1 = \frac{E_0}{\left[ 1 + \frac{E_0}{m_0c^2} (1 - \cos\psi) \right]} \quad (2.8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $m_0c^2 = 0,511$  MeV olan elektronun durgun kütle enerjisidir.

### 2.5.2.b. Nükleer saçılma

Bu saçılma inkohherent saçılma olarak da adlandırılabilir. Fotonun atomun çekirdeği ile etkileşmesi sonucu meydana gelmektedir. Bu saçılmanın toplam inkohherent saçılmadaki hissesi oldukça azdır (Şahin 1999).

### 2.5.2.c. Raman saçılması

Fotonun moleküller tarafından soğrulması olayıdır. Bu saçılmada, fotonu soğuran molekül, soğurmadan önce uyarılmış bir durumda değilse, gelen fotondan daha az enerjiye sahip bir foton yayımlar. Fakat molekül uyarılmış titreşim veya dönme enerji seviyesinde ise o zaman daha fazla enerjiye sahip bir foton yayımlar (Dözen 2006).

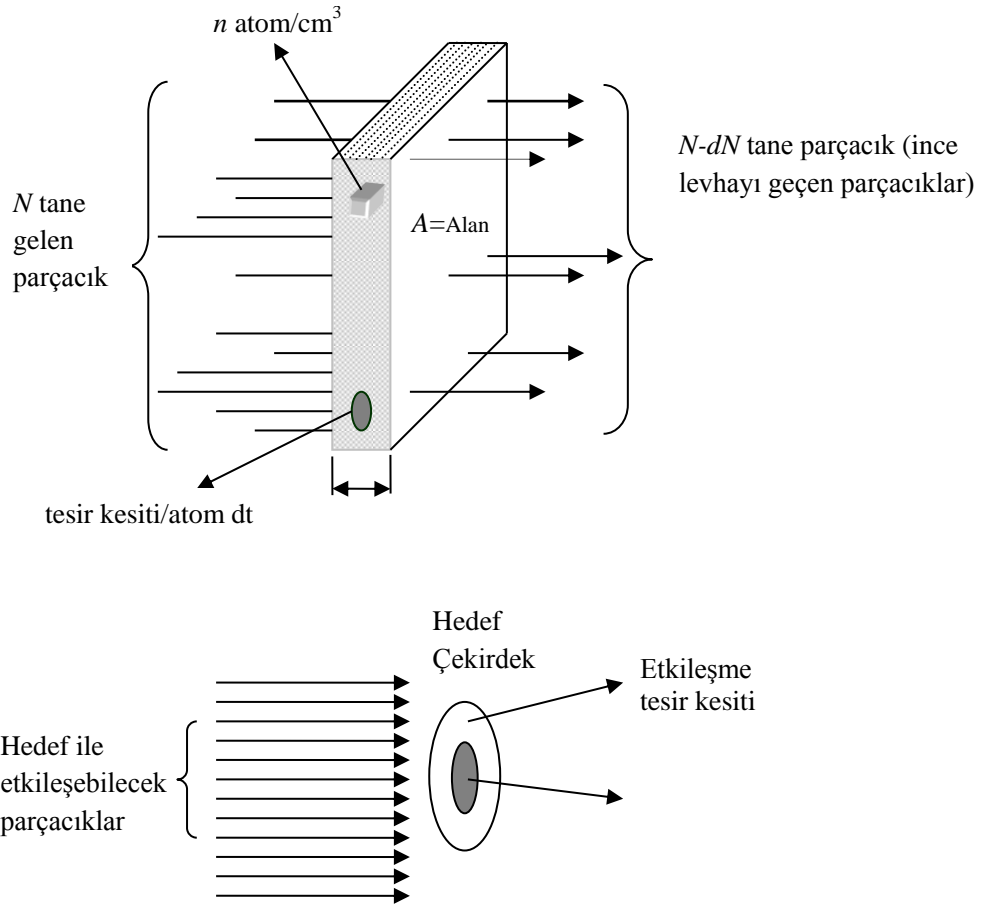
## 2.6. Tesir Kesiti

Bir işlemin gerçekleşme ihtimalini tanımlayan tesir kesiti kavramı, bir olay için deneysel olarak ölçülebilen değerler ile onun teorik olarak hesaplanabilen değerlerin karşılaştırılabilmesine imkân tanınması nedeniyle, atomik olayların ayrıntılı olarak incelenmesine imkan sağlar. Tesir kesiti, foton ile madde arasındaki etkileşmenin türüne göre isimlendirilir. Örneğin foton madde tarafından soğuruluyorsa soğurma tesir kesiti, madde tarafından saçılmaya uğratılıyorsa saçılma tesir kesiti ifadeleri kullanılır.

A yüzeyine ve  $dt$  kalınlığına sahip ince bir levha üzerine  $I$  şiddetiyle gelmekte olan bir foton demeti ince levhadan geçerken atomlardan birine çok yaklaşmışsa, bu atom tarafından fotonun yutulma ya da saçılma ihtimali vardır.  $\sigma$  'nın bir atomu kuşatan etkin alan olduğu düşünülüğünde, gelen fotonun bu alana düşmesi durumunda fotonun bu alanla etkileşme yapması mümkün olacaktır. Levhanın birim hacmi başına  $n$  tane hedef atomu olsun (Şekil 2.5). Levha o kadar ince olsun ki, hiçbir atom öteki atom üzerine



binmesin ve böylece her atomun gelen fotonla aynı ölçüde etkileşme ihtimali olsun. Eğer maddenin birim hacminde  $n$  tane atom varsa  $Adt$  hacminde  $nAdt$  tane atom bulunur. Birim yüzeye düşen atom sayısı ise  $ndt$  olur. Bir atomun işlem gördüğü etkin alan  $\sigma$  ise  $ndt$  sayıda atomun işlem gördüğü etkin alan  $n\sigma dt$  olur. Buna göre toplam etkin alan  $nA\sigma dt$ 'dir.



**Şekil 2.5.** Tesir kesiti ile gelen demetin şiddeti arasındaki ilişki ve tesir kesitinin geometrik yorumu.

Toplam etkin alan, madde üzerine gelen fotonun maddeyle etkileşmesi sonucu herhangi bir olayın meydana geldiği alandır. Toplam etkin alanın toplam yüzey alanına oranına etkin alan kesri denir. Etkin alan kesri  $F$  ile gösterilirse;

$$F = \frac{\text{Toplam etkin alan}}{\text{Toplam yüzey alanı}} = \frac{nA\sigma dt}{A} \quad (2.9)$$

$$F = n\sigma dt \quad (2.10)$$

olur. Bu nicelik  $I$  şiddetindeki şuanın ince levhadan geçerken şiddetinde meydana gelen değişiklik kesrini temsil eder. Buna göre şiddetteki  $dI$  değişimi;

$$dI = -(n\sigma dt)I \quad (2.11)$$

ifadesi ile verilir. İfadedeki (-) işareti  $t$  kalınlığı arttıkça  $I$  şiddetinin azalacağını gösterir. Bu ifadeden hareketle

$$I = I_0 e^{-n\sigma t} \quad (2.12)$$

elde edilir. Gelen şuanın başlangıçtaki şiddeti  $I_0$  ve şuanın  $t$  kalınlığındaki malzemeyi geçtikten sonraki şiddeti ise  $I$  'dır. Şuadaki parçacık sayısı şuanın şiddeti ile orantılı olduğundan (2.12) ifadesi parçacıkların sayısı cinsinden

$$N = N_0 e^{-n\sigma t} \quad (2.13)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $N_0$  ince levhaya gelen parçacıkların sayısını ve  $N$  ise  $t$  kalınlığındaki levhayı geçen parçacıkların sayısını göstermektedir. Eğer  $n\sigma t \ll 1$  ise bu durum hem levhanın geometrik olarak çok ince olmasını hem de  $\sigma$  'nın çok küçük olmasını ifade eder. Buna göre;  $e^{-n\sigma t} \approx 1$  ise  $e^{-n\sigma t} \approx 1 - n\sigma t$  yazılabilir ve (2.13) ifadesi;

$$N = N_0(1 - n\sigma t) \quad (2.14)$$

şeklini alır. Böylece  $t$  kalınlığını geçerken herhangi bir işleme uğrayan (ilgilenilen etkileşmeye giren) parçacıkların sayısı  $N_s$  için

$$N_s = N_0 - N = N_0 - N_0(1 - n\sigma t) \quad (2.15)$$

$$N_s = N_0 n\sigma t \quad (2.16)$$

yazılabilir. Buradan  $\sigma$  için,

$$\sigma = \frac{N_s}{N_0 n t} \quad (2.17)$$

ifadesi elde edilir. Tesir kesiti diye adlandırılan ve ilgilenilen olayın meydana gelme ihtimaliyetinin bir ölçüsü olan  $\sigma$  'nın birimi barn'dır ( $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ ).  $\sigma$  alan boyutundadır ve ilgilenilen olayın tabiatına göre hedefin birim yüzey alanından küçük veya büyük olabilir.

## 2.7. Etkin Atom Numarası ve Önemi

Şayet numune bir karışım, bileşik ya da alaşım formunda ise etkin atom numarası ( $Z_{\text{etkin}}$ ) olarak bilinen bir parametrenin tayin edilmesi gereklidir. Etkin atom numaraları üzerine güvenilir veriler, radyasyon biyolojisinde, medikal fizik, radyografi ve radyasyon dozimetri gibi hesaplamalarda ve diğer pek çok alanda gereklidir. Etkin atom numarası materyallerin x- ya da  $\gamma$ -ışını soğurma kesirlerinin anlamını ortaya çıkarmak için ölçülmesi gereken önemli bir parametredir (Murty *et al.* 2000). Bu parametre, son yıllarda teknik ve mühendislik uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Polimerler ve alaşımların bilim, teknoloji, nükleer endüstri ve endüstrinin diğer alanlarında ve uzay araştırma programları gibi pek çok alanda büyük oranda kullanımından dolayı, polimer ve alaşımlara eşdeğer ve onları temsil eden etkin atom numarasının tayini daha da önem kazanmaktadır (Nayak *et al.* 2001). Bu parametre ölçülürken numune ile etkileşen gama

ışınlarının etkileşme türü de önemlidir. Fotoelektrik, Compton ve koherent saçılma ve çift oluşum gibi her bir işlem türü için kısmi etkin atom numarası parametresi tanımlanır. Kullanılan enerji ve numune durumuna göre, bu etkileşme türlerinin toplam etkin atom numarası parametresindeki katkıları da değişim gösterebilir.

### 2.7.1. Direkt yöntem

Molekül başına düşen tesir kesiti, atom başına düşen etkin (ortalama) tesir kesiti  $\sigma_a$  ve elektron başına düşen etkin (ortalama) tesir kesiti  $\sigma_e$  cinsinden

$$\sigma_m = n \sigma_a = n Z_{\text{etkin}} \sigma_e \quad (2.18)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $Z_{\text{etkin}}$  ve  $n = \sum_i n_i$  ise molekülde var olan toplam atom sayısıdır. Eşitlik (2.18), etkin atom numarasının tanımı olarak kabul edilebilir. Aslında, molekülün gerçek atomlarının, her biri  $Z_{\text{etkin}}$  kadar elektron içeren aynı sayıda özdeş atomlarla yer değiştirilebilir olduğu farz edilmektedir. Dolayısıyla, etkin atom numarasını şu şekilde ifade etmek mümkündür:

$$Z_{\text{etkin}} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e} \quad (2.19)$$

Ayrıca, etkin atom numarası daha pratik olarak aşağıdaki formül yardımı ile de bulunabilir (Manohara *et al.* 2008):

$$Z_{\text{PI etkin}} = \frac{\sum_i f_i A_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i}{\sum_j f_j \frac{A_j}{Z_j} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_j} \quad (2.20)$$

Burada  $f_i$  ve  $f_j$ ;  $f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n = 1$  olacak şekilde  $i$ . ve  $j$ . elementin kısmi bolluğudur.  $A_i$  ve  $A_j$  ise  $i$ . ve  $j$ . elementlerin kütle numaralarıdır. Ayrıca  $Z_i$  ve  $Z_j$   $i$ . ve  $j$ .

elementlerin atom numaraları ve  $(\mu/\rho)_i$  ile  $(\mu/\rho)_j$  ise  $i$ . ve  $j$ . elementler için kütle soğurma katsayılarıdır.

### 2.7.2. İnterpolasyon yöntemi

Yukarıda kullanılan yöntem yardımıyla etkin atom numarası bulunabileceği gibi logaritmik interpolasyon yöntemi ile de etkin atom numarası bulunabilir. Etkin atom numarası malzemenin toplam atomik tesir kesiti değeri WinXCom (Gerward *et al.* 2001) veritabanı yardımıyla elde edilen azaltma tesir kesiti değerlerinde belli enerjilerde interpolate edilerek aşağıdaki logaritmik interpolasyon formülü ile elde edilebilir (Singh *et al.* 2007):

$$Z_e = \frac{Z_1(\log \sigma_2 - \log \sigma) + Z_2(\log \sigma - \log \sigma_1)}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} \quad (2.21)$$

Burada  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  malzemenin atomik tesir kesitinin ( $\sigma$ ) arasında yer aldığı elementsel tesir kesiti değerleri ve  $Z_1$  ve  $Z_2$  ise  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  tesir kesitlerine karşılık gelen elementlerin sahip olduğu atom numaralarıdır.

### 2.8. Foton Buildup Faktörü

Foton buildup (kuvvetlendirme) faktörü üç aşamalı bir yöntemle aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

- a) Etkin atom numarasının hesaplanması ( $Z_{\text{etkin}}$ )
- b) Geometrik dizi (G-P) fit parametrelerinin hesaplanması
- c) Maruz kalma (exposure) veya enerji absorpsiyon kuvvetlendirme (buildup) faktörünün hesaplanması

Etkin atom numarası elementlerin atom numaralarına benzer bir parametredir. Buildup faktörü çoklu saçılmanın doğrudan bir sonucu olduğu için, bu parametrenin hesaplanmasında büyük ölçüde Compton saçılmasının katkısından elde edilen etkin atom numarası kullanılmaktadır. Verilen çoklu yapıdaki bir madde için, etkin atom numarası, maddenin etkileşim katsayılarının oranının ( $\sigma_{\text{comp}} / \sigma_{\text{tot}}$ ) aynı enerjide bu orana karşılık gelen etkileşim katsayıları oranına sahip elementin belirlenmesiyle bulunur. Bu oranın, ard arda gelen iki elementin arasında olduğu durumlarda,  $Z_{\text{eq}}$  aşağıdaki interpolasyon formülü yardımıyla bulunabilir (Harima 1983; Maron 1987):

$$Z_{\text{eq}} = \frac{Z_1(\log R_2 - \log R) + Z_2(\log R - \log R_1)}{\log R_2 - \log R_1} \quad (2.22)$$

Burada  $Z_1$  ve  $Z_2$  sırasıyla  $R_1$  ve  $R_2$  ( $\sigma_{\text{comp}} / \sigma_{\text{total}}$ ) oranına karşılık gelen elementlerin atom numaralarıdır.  $R$  ( $\sigma_{\text{comp}} / \sigma_{\text{total}}$ ) ise verilen madde için aynı enerjideki oranı temsil etmekle birlikte  $R_1$  ve  $R_2$  arasında değerler almaktadır ( $R_1 < R < R_2$ ).

Hem maruz kalma hem de enerji soğurma buildup faktörü için geometrik dizi (G-P) fit parametreleri benzer bir interpolasyon yöntemi kullanarak hesaplanabilir. Elementler için G-P fit parametreleri ANSI/ANS-6.4.3 (ANSI/ANS 1991) standart referans veri tabanından alınmıştır. Bu veri tabanında 23 element için (Be, B, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Ar, K, Ca, Fe, Cu, Mo, Sn, La, Gd, W, Pb ve U) G-P fit parametreleri mevcuttur. Kullanılan numuneler için G-P fit buildup faktörü katsayıları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır:

$$C = \frac{C_1(\log Z_2 - \log Z_{\text{eq}}) + C_2(\log Z_{\text{eq}} - \log Z_1)}{\log Z_2 - \log Z_1} \quad (2.23)$$

Burada  $C_1$  ve  $C_2$ , sırasıyla  $Z_1$  ve  $Z_2$  atom numaralarına karşılık gelen katsayı değerleri ve  $Z_{\text{eq}}$  ise verilen numunenin interpolate etkin atom numarasıdır. Bu parametreler verilen maddelerde maruz kalma ve enerji soğurma buildup faktörlerinin hesaplanmasında aşağıdaki formüller ile birlikte kullanılır (Harima *et al.* 1986).

$$B(E,x) = 1 + \frac{b-1}{K-1} (K^x - 1) \quad K \neq 1 \text{ için} \quad (2.24)$$

$$B(E,x) = 1 + (b-1)x \quad K=1 \text{ için} \quad (2.25)$$

Burada,

$$K(E,x) = cx^a + d \frac{\tanh\left(\frac{x}{X_k} - 2\right) - \tanh(-2)}{1 - \tanh(-2)} \quad x \leq 40 \text{ mfp için} \quad (2.26)$$

ifadesi kullanılır. Bu ifadede E foton enerjisi, x birimi ortalama serbest yol (mfp) olmak üzere nüfuz derinliği; a, b, c, d ve  $X_k$  ise G-P fit parametreleridir. b parametresinin değeri 1 mfp'deki buildup faktörünün değerine karşılık gelmektedir. Ortalama serbest yol, fotonun iki etkileşim arasında almış olduğu yoldur. K parametresinin nüfuz derinliği ile değişimi foton doz çarpımı ve spektrumun şeklindeki değişimi temsil etmektedir (Kurudirek ve Özdemir 2011).

## 2.9. Veri Tabanları ve Bilgisayar Programları

### 2.9.1. XCOM ve WinXCom

Berger and Hubbell (1987/99), 1 keV-100 GeV enerji aralığında herhangi bir element, bileşik yada karışım için foton etkileşim tesir kesitlerini veya kütle azaltma katsayılarını hesaplamak üzere XCOM adlı bir program geliştirmişlerdir. Son yıllarda, 1 keV'den 20 MeV'e kadar değişen foton enerjilerinde birçok sayıda element için kütle azaltma katsayıları ve kütle enerji soğurma katsayıları tablo edilmiştir (Hubbell and Seltzer 1995). Daha sonraki yıllarda, bu çok iyi bilinen ve sıklıkla kullanılan XCOM programı olarak Gerward *et al.* (2004) tarafından Windows platformuna taşınmıştır. Programın WinXCom adı verilen bu Windows sürümü, Windows işletim sistemi ile çalışmakta ve materyalleri bir malzeme olarak tanımlamak ve kaydetmek üzere tasarlanan ara yüzü sayesinde kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Bu program sayesinde herhangi bir

element, bileşik ya da karışımın kütle azaltma katsayıları, atomik fotoelektrik olay, inkoherent ve koherent saçılma ve çift oluşumu gibi kısmi foton etkileşimleri için bulunabileceği gibi, toplam foton etkileşimi için de hesaplanabilir. WinXCom kaydedilen verileri bir Microsoft Excel şablonuna aktarabilmektedir. Dolayısıyla daha sonra yapılacak olan nümerik ve grafik işlemlerinde kolaylık sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında verilen numuneler için kütle azaltma katsayıları teorik olarak WinXCom programı kullanılarak elde edilmiştir.

### **2.9.2. ANSI/ANS 6.4.3**

Amerikan Ulusal Standartları ANSI/ANS 6.4.3, 23 element (Be, B, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Ar, K, Ca, Fe, Cu, Mo, Sn, La, Gd, W, Pb ve U), bir bileşik (su) ve iki karışım (hava ve beton) için buildup faktörü verisi sağlamaktadır. Bu veriler 0,015-15 MeV foton enerjisi aralığında 40 mfp (ortalama serbest yol) değerine kadar geometrik progresyon fit yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Kullanılan Numuneler

Bu tez çalışmasında kullanılan bazı termolüminesans dozimetrik bileşiklerin ve aminoasitlerin kimyasal formülleri, ortalama atom ve kütle numaraları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Bazı termolüminesans dozimetrik bileşiklerin ve aminoasitlerin kimyasal formülleri, ortalama atom ve kütle numaraları.

Kimyasal formül	Ortalama atom numarası ( $\bar{Z}$ )	Ortalama kütle numarası ( $\bar{A}$ )
MgSO <sub>4</sub>	10,00	20,06
Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	10,00	20,10
SiO <sub>2</sub>	10,00	20,03
CdSO <sub>4</sub>	16,00	34,75
ZnSO <sub>4</sub>	13,00	26,91
CaSO <sub>4</sub>	11,33	22,69
CaF <sub>2</sub>	12,67	26,03
Ca <sub>5</sub> F(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	11,91	24,02
CaCO <sub>3</sub>	10,00	20,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,00	20,39
NaSO <sub>4</sub>	9,833	19,84
Na <sub>2</sub> P <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	10,62	21,68
BaSO <sub>4</sub>	17,33	38,89
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub> (Glycine)	4,000	7,507
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub> (Alanine)	3,692	6,853
C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub> (Proline)	3,647	6,773
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub> (Lucine)	3,273	5,963

#### 3.2. Etkin Atom Numarasının Kütle Soğurma Katsayılarının Kullanılması ile Belirlenmesi

Kimyasal bir materyal için toplam atomik tesir kesiti ( $\sigma_t$ ) kütle soğurma katsayısı bulunarak belirlenebilir.  $\sigma_t$  ve  $\mu_m$  arasında

$$\sigma_t = \frac{\mu_m N}{N_A} \quad (3.1)$$

ifadesi yazılabilir (Turşucu, 2012). Burada  $N$  atomik kütle ve  $N_A$  Avogadro sayısını göstermektedir. İlgilenilen element için toplam elektronik tesir kesiti ( $\sigma_e$ )

$$\sigma_e = \frac{1}{N_A} \sum \frac{f_i N_i}{Z_i} (\mu_m)_i = \frac{\sigma_t}{Z_e} \quad (3.2)$$

ifadesinden hesaplanabilir Burada  $f_i$ ,  $f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n = 1$  olacak şekilde  $i$ . elementin kısmi bolluğudur.  $Z_i$  ise  $i$ . elementin atom numarasıdır. (3.1) ve (3.2) ifadelerinden görüldüğü üzere  $\sigma_t$  ve  $\sigma_e$  ile etkin atom numarası ( $Z_e$ ) arasında;

$$Z_e = \frac{\sigma_t}{\sigma_e} \quad (3.3)$$

ilişkisi mevcuttur.

Bu tez çalışmasında incelenen numuneler için kütle ve enerji soğurma katsayıları, toplam atomik ve elektronik tesir kesitleri ( $\sigma_t$  ve  $\sigma_e$ ) WinXCom programından, etkin atom numaraları (3.3) denkleminde ve buildup faktörleri (2.22-2.26) denklemlerinden faydalanarak belirlenmiştir.

### 3.3. Kütle Enerji Soğurma Katsayısının Belirlenmesi

Termoluminesans ve fotoluminesans materyallerin birçok türü ticari olarak elde edilebilir ve iyonlaştırıcı radyasyonların kullanıldığı biyolojik ve endüstriyel dozimetrelerde dedektör olarak kullanılabilir. Verilen bir doz ölçümünde en uygun dedektörü seçmek için çeşitli materyallerin dozimetrik karakterlerinin, özelliklerinin ve enerjiye bağlılıklarının iyi bilinmesi gerekir.

Teorik olarak enerjiye bağıllık, istenilen enerjide dozimetrik materyalin kütle enerji soğurma katsayısının havanın kütle enerji soğurma katsayısına oranı olarak tanımlanır. Kütle soğurma katsayısı ( $\mu / \rho$ ) gelen foton ile madde arasındaki ortalama etkileşim sayısının bir ölçüsüdür. Kütle enerji soğurma katsayısı ( $\mu_{en}/\rho$ ) ise, bu etkileşimlerin bir sonucu olarak gelen foton enerjisinin yüklü parçacıkların kinetik enerjisine aktarılan (transfer edilen) ortalama kesrinin bir ölçüsüdür. Kütle enerji soğurma katsayısı medikal ve sağlık fiziğinde soğurulan dozu tespit etmede kullanılan temel bir parametredir (Shivaramu and Ramprasath 2000).

Kütle enerji soğurma katsayısı, kütle enerji transfer katsayısı  $\mu_{tr}/\rho$  ile ifade edilir. Kütle enerji transfer katsayısı

$$\frac{\mu_{tr}}{\rho} = f\left(\frac{\mu}{\rho}\right) \quad (3.4)$$

ifadesi ile verilir. Burada  $f$  herhangi bir etkileşim türünde (fotoelektrik olay, Compton saçılması, çift oluşumu gibi) gelen foton enerjisinin yüklü parçacığın kinetik enerjisine aktarılan (transfer edilen) kesridir.  $\mu_{en}/\rho$  ise

$$\frac{\mu_{en}}{\rho} = \frac{\mu_{tr}}{\rho} (1-g) \quad (3.5)$$

olarak verilir. Burada  $g$  faktörü ikincil yüklü parçacıkların (tüm etkileşim türlerinde üretilen) kinetik enerjilerinin ortalama kesrini ifade eder (Manjunahatguru and Umesh 2009). Hubbell and Seltzer (1995), 1 keV- 20 MeV enerji aralığında tüm elementler ve 48 dozimetrik materyal için  $\mu_{en}/\rho$  değerini tablo halinde hazırlamışlardır. Karışım kuralı dikkate alınarak teorik olarak  $\mu_{en}/\rho$

$$\frac{\mu_{en}}{\rho} = \sum_i W_i \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_i \quad (3.6)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada  $(\mu_{\text{en}}/\rho)_i$  bileşikteki  $i$ .elementin kütle enerji soğurma katsayısını ve  $W_i$  ise  $i$ . elementin ağırlık kesrini göstermektedir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Foton Etkileşme Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada kullanılan numuneler için ilgili enerji aralığında (0,015 MeV-15 MeV) kütle ve enerji soğurma katsayıları Çizelge 4.1 ve 4.2’de, toplam atomik ve elektronik tesir kesitleri Çizelge 4.3 ve 4.4’de, etkin atom numaraları Çizelge 4.5’de ve buildup faktörleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

**Çizelge 4.1.a.** Bazı aminoasitler için kütle soğurma katsayıları.

Enerji (MeV)	Kütle soğurma katsayısı (cm <sup>2</sup> /gr)			
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>
0,015	1,300	1,210	1,110	1,060
0,02	0,650	0,616	0,575	0,557
0,03	0,324	0,316	0,304	0,301
0,04	0,243	0,240	0,235	0,236
0,05	0,210	0,210	0,207	0,209
0,06	0,193	0,194	0,192	0,195
0,08	0,174	0,176	0,175	0,178
0,1	0,163	0,164	0,164	0,167
0,15	0,144	0,146	0,145	0,148
0,2	0,131	0,133	0,133	0,135
0,3	0,114	0,115	0,115	0,117
0,4	0,102	0,103	0,103	0,105
0,5	0,093	0,094	0,094	0,096
0,6	0,086	0,087	0,087	0,088
0,8	0,075	0,076	0,076	0,078
1	0,068	0,069	0,069	0,070
1,5	0,055	0,056	0,056	0,057
2	0,047	0,048	0,048	0,049
3	0,038	0,038	0,038	0,039
4	0,033	0,033	0,033	0,033
5	0,029	0,029	0,029	0,030
6	0,027	0,027	0,027	0,027
8	0,023	0,023	0,023	0,024
10	0,021	0,021	0,021	0,021
15	0,018	0,018	0,018	0,018

**Çizelge 4.1.b.** Bazı termoluminesans dozimetrik bileşikler için kütle soğurma katsayıları.

Enerji (MeV)	Kütle soğurma katsayısı (cm <sup>2</sup> /gr)						
	MgSO <sub>4</sub>	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CdSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaF <sub>2</sub>
0,015	6,390	5,090	5,810	25,500	36,700	13,300	16,500
0,02	2,810	2,240	2,550	11,700	16,700	5,830	7,260
0,03	0,952	0,780	0,873	20,700	5,460	1,880	2,310
0,04	0,499	0,426	0,465	9,820	2,480	0,893	1,080
0,05	0,336	0,298	0,319	5,430	1,370	0,538	0,631
0,06	0,261	0,240	0,251	3,340	0,869	0,379	0,431
0,08	0,198	0,188	0,194	1,570	0,457	0,247	0,267
0,1	0,170	0,165	0,168	0,900	0,303	0,196	0,205
0,15	0,141	0,139	0,140	0,367	0,179	0,149	0,149
0,2	0,126	0,125	0,125	0,222	0,140	0,129	0,128
0,3	0,107	0,107	0,108	0,134	0,110	0,109	0,107
0,4	0,096	0,095	0,095	0,105	0,095	0,096	0,094
0,5	0,087	0,087	0,087	0,090	0,086	0,087	0,085
0,6	0,081	0,080	0,080	0,080	0,079	0,081	0,079
0,8	0,071	0,070	0,070	0,068	0,069	0,071	0,069
1	0,064	0,063	0,063	0,060	0,062	0,063	0,062
1,5	0,052	0,051	0,051	0,049	0,050	0,051	0,050
2	0,045	0,044	0,044	0,042	0,043	0,044	0,043
3	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036
4	0,032	0,031	0,031	0,033	0,032	0,032	0,031
5	0,029	0,028	0,028	0,032	0,030	0,029	0,029
6	0,027	0,026	0,026	0,031	0,028	0,027	0,027
8	0,024	0,023	0,024	0,031	0,027	0,025	0,025
10	0,023	0,022	0,022	0,031	0,026	0,024	0,024
15	0,021	0,020	0,020	0,032	0,025	0,023	0,023

Çizelge 4.1.b. (devam)

Enerji (MeV)	Kütle soğurma katsayısı (cm <sup>2</sup> /gr)					
	Ca <sub>5</sub> F(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaSO <sub>4</sub>	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	BaSO <sub>4</sub>
0,015	14,900	12,900	5,070	6,070	5,280	40,000
0,02	6,550	5,700	2,230	2,670	2,320	18,400
0,03	2,090	1,850	0,775	0,911	0,804	6,220
0,04	0,986	0,882	0,423	0,482	0,435	14,700
0,05	0,585	0,533	0,295	0,326	0,301	8,250
0,06	0,406	0,376	0,237	0,255	0,240	5,120
0,08	0,258	0,246	0,186	0,195	0,187	2,410
0,1	0,201	0,196	0,163	0,168	0,164	1,360
0,15	0,150	0,148	0,137	0,139	0,137	0,519
0,2	0,129	0,129	0,123	0,125	0,123	0,290
0,3	0,108	0,109	0,106	0,107	0,105	0,156
0,4	0,096	0,096	0,094	0,095	0,093	0,114
0,5	0,087	0,087	0,085	0,086	0,085	0,094
0,6	0,080	0,081	0,079	0,080	0,079	0,082
0,8	0,070	0,071	0,069	0,070	0,069	0,068
1	0,063	0,063	0,062	0,063	0,062	0,060
1,5	0,051	0,051	0,050	0,051	0,050	0,048
2	0,044	0,044	0,043	0,044	0,043	0,042
3	0,033	0,036	0,035	0,036	0,035	0,036
4	0,032	0,032	0,031	0,031	0,031	0,034
5	0,029	0,029	0,028	0,028	0,028	0,033
6	0,027	0,027	0,026	0,026	0,026	0,032
8	0,025	0,025	0,023	0,023	0,023	0,032
10	0,024	0,023	0,022	0,022	0,022	0,033
15	0,023	0,022	0,020	0,020	0,020	0,035

**Çizelge 4.2.a.** Bazı aminoasitler için kütle enerji soğurma katsayıları.

Enerji (MeV)	Kütle enerji soğurma katsayısı ( $\mu_{en}/\rho$ )			
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>
0,015	1,020	0,936	0,936	0,777
0,02	0,408	0,374	0,374	0,310
0,03	0,307	0,348	0,348	0,417
0,04	0,150	0,172	0,172	0,209
0,05	0,034	0,032	0,032	0,029
0,06	0,027	0,026	0,026	0,024
0,08	0,023	0,023	0,023	0,023
0,1	0,023	0,023	0,023	0,023
0,15	0,026	0,026	0,026	0,026
0,2	0,028	0,028	0,028	0,029
0,3	0,030	0,031	0,031	0,031
0,4	0,031	0,031	0,031	0,032
0,5	0,031	0,032	0,032	0,032
0,6	0,031	0,031	0,031	0,032
0,8	0,030	0,031	0,031	0,031
1	0,029	0,030	0,030	0,030
1,5	0,027	0,027	0,027	0,027
2	0,025	0,025	0,025	0,025
3	0,021	0,022	0,022	0,022
4	0,019	0,020	0,020	0,020
5	0,018	0,018	0,018	0,018
6	0,017	0,017	0,017	0,017
8	0,015	0,015	0,015	0,015
10	0,014	0,014	0,014	0,014
15	0,013	0,013	0,013	0,013



**Çizelge 4.2.b.** Bazı termolüminesans dozimetrik bileşikler için kütle enerji soğurma katsayıları.

Enerji (MeV)	Kütle enerji soğurma katsayısı ( $\mu_{en}/\rho$ )						
	MgSO <sub>4</sub>	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CdSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaF <sub>2</sub>
0,015	5,952	4,704	5,400	24,05	28,25	12,46	15,46
0,02	2,480	1,935	2,234	10,73	13,58	5,350	6,690
0,03	0,712	0,547	0,636	8,926	4,55	1,586	2,000
0,04	0,295	0,227	0,263	5,428	2,029	0,664	0,839
0,05	0,153	0,118	0,137	3,368	1,072	0,340	0,429
0,06	0,093	0,073	0,084	2,201	0,635	0,199	0,251
0,08	0,049	0,041	0,045	1,078	0,280	0,092	0,113
0,1	0,035	0,031	0,033	0,607	0,154	0,057	0,067
0,15	0,028	0,027	0,027	0,215	0,062	0,034	0,036
0,2	0,028	0,027	0,027	0,110	0,041	0,030	0,031
0,3	0,029	0,028	0,029	0,054	0,032	0,029	0,029
0,4	0,029	0,029	0,029	0,039	0,030	0,029	0,029
0,5	0,029	0,029	0,029	0,034	0,029	0,029	0,029
0,6	0,029	0,029	0,029	0,031	0,029	0,029	0,028
0,8	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028
1	0,027	0,027	0,027	0,026	0,027	0,027	0,027
1,5	0,025	0,025	0,025	0,023	0,024	0,025	0,024
2	0,023	0,023	0,023	0,022	0,022	0,023	0,022
3	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,021	0,020
4	0,019	0,019	0,019	0,020	0,019	0,019	0,019
5	0,018	0,018	0,018	0,020	0,019	0,018	0,018
6	0,017	0,017	0,017	0,020	0,018	0,018	0,018
8	0,016	0,016	0,016	0,021	0,018	0,017	0,017
10	0,016	0,015	0,016	0,021	0,018	0,017	0,017
15	0,015	0,015	0,015	0,022	0,018	0,017	0,017

Çizelge 4.2.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Kütle enerji soğurma katsayısı ( $\mu_{en}/\rho$ )					
	Ca <sub>5</sub> F(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaSO <sub>4</sub>	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	BaSO <sub>4</sub>
0,015	13,98	12,04	4,689	5,641	4,889	37,59
0,02	6,026	5,208	1,928	2,351	2,019	17,09
0,03	1,793	1,629	0,546	0,675	0,574	5,518
0,04	0,751	0,692	0,226	0,280	0,238	5,325
0,05	0,384	0,337	0,118	0,146	0,124	3,908
0,06	0,225	0,198	0,073	0,089	0,076	2,780
0,08	0,103	0,092	0,040	0,047	0,042	1,492
0,1	0,062	0,057	0,031	0,034	0,031	0,879
0,15	0,035	0,034	0,026	0,027	0,026	0,324
0,2	0,031	0,030	0,027	0,027	0,027	0,163
0,3	0,029	0,029	0,028	0,028	0,028	0,072
0,4	0,029	0,030	0,029	0,029	0,029	0,048
0,5	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,038
0,6	0,029	0,029	0,029	0,029	0,028	0,034
0,8	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,029
1	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
1,5	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,023
2	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,021
3	0,020	0,021	0,020	0,020	0,020	0,020
4	0,019	0,019	0,018	0,019	0,018	0,020
5	0,018	0,018	0,017	0,018	0,017	0,020
6	0,018	0,017	0,017	0,017	0,017	0,021
8	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,021
10	0,017	0,016	0,015	0,015	0,015	0,022
15	0,017	0,016	0,015	0,015	0,015	0,024

**Çizelge 4.3.a.** Bazı aminoasitler için toplam atomik tesir kesitleri.

Enerji (MeV)	Atomik tesir kesiti			
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>
0,015	16,21	13,78	12,49	10,50
0,02	8,105	7,012	6,468	5,516
0,03	4,040	3,597	3,420	2,981
0,04	3,030	2,732	2,643	2,337
0,05	2,618	2,390	2,328	2,070
0,06	2,406	2,208	2,160	1,931
0,08	2,169	2,003	1,968	1,763
0,1	2,032	1,867	1,845	1,654
0,15	1,795	1,662	1,631	1,465
0,2	1,633	1,514	1,496	1,337
0,3	1,421	1,309	1,293	1,158
0,4	1,271	1,172	1,158	1,040
0,5	1,159	1,070	1,056	0,948
0,6	1,072	0,989	0,977	0,876
0,8	0,941	0,868	0,858	0,770
1	0,846	0,781	0,771	0,692
1,5	0,688	0,635	0,627	0,563
2	0,591	0,545	0,538	0,483
3	0,475	0,437	0,432	0,387
4	0,406	0,374	0,369	0,330
5	0,361	0,332	0,328	0,293
6	0,330	0,304	0,299	0,267
8	0,289	0,265	0,261	0,232
10	0,263	0,241	0,237	0,211
15	0,229	0,209	0,204	0,181

**Çizelge 4.3.b.** Bazı termolüminesans dozimetrik bileşiklerin atomik tesir kesiti.

Enerji (MeV)	Atomik tesir kesiti						
	MgSO <sub>4</sub>	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CdSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaF <sub>2</sub>
0,015	212,9	169,9	193,3	1471	1640	501,3	713,3
0,02	93,64	74,79	84,84	675,3	746,5	219,7	313,8
0,03	31,73	26,04	29,04	1194	244,1	70,86	99,86
0,04	16,63	14,22	15,47	566,8	110,8	33,66	46,69
0,05	11,20	9,949	10,61	313,4	61,24	20,28	27,27
0,06	8,698	8,013	8,351	192,8	38,84	14,29	18,63
0,08	6,598	6,277	6,454	90,62	20,43	9,310	11,54
0,1	5,665	5,509	5,589	51,95	13,54	7,387	8,862
0,15	4,699	4,641	4,657	21,18	8,001	5,616	6,441
0,2	4,199	4,174	4,158	12,81	6,257	4,862	5,533
0,3	3,566	3,572	3,593	7,734	4,916	4,108	4,625
0,4	3,193	3,188	3,190	6,060	4,277	3,637	4,081
0,5	2,909	2,904	2,907	5,206	3,857	3,309	3,704
0,6	2,686	2,684	2,684	4,657	3,540	3,053	3,419
0,8	2,356	2,357	2,355	3,959	3,088	2,676	2,991
1	2,119	2,117	2,119	3,509	2,771	2,404	2,689
1,5	1,726	1,726	1,723	2,833	2,252	1,956	2,187
2	1,486	1,485	1,487	2,476	1,957	1,692	1,893
3	1,209	1,208	1,207	2,118	1,627	1,387	1,560
4	1,053	1,051	1,054	1,950	1,448	1,217	1,374
5	0,956	0,951	0,954	1,864	1,345	1,111	1,262
6	0,886	0,881	0,885	1,818	1,278	1,044	1,188
8	0,803	0,798	0,801	1,789	1,206	0,961	1,102
10	0,756	0,747	0,751	1,800	1,175	0,915	1,059
15	0,699	0,691	0,695	1,875	1,157	0,870	1,020

Çizelge 4.3.b.(devamı)

Enerji (MeV)	Atomik tesir kesiti					
	Ca <sub>5</sub> F(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaSO <sub>4</sub>	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	BaSO <sub>4</sub>
0,015	594,4	428,9	171,7	200,1	190,2	2584
0,02	261,3	189,5	75,54	88,00	83,56	1188
0,03	83,37	61,52	26,25	30,02	28,96	401,9
0,04	39,33	29,33	14,33	15,89	15,67	949,8
0,05	23,33	17,72	9,992	10,75	10,84	533,1
0,06	16,19	12,50	8,028	8,404	8,644	330,8
0,08	10,29	8,179	6,300	6,427	6,735	155,7
0,1	8,018	6,517	5,521	5,537	5,906	87,87
0,15	5,983	4,921	4,640	4,581	4,934	33,53
0,2	5,145	4,289	4,166	4,120	4,430	18,74
0,3	4,308	3,624	3,590	3,526	3,781	10,08
0,4	3,829	3,208	3,187	3,137	3,382	7,366
0,5	3,478	2,919	2,906	2,857	3,083	6,099
0,6	3,211	2,693	2,686	2,640	2,845	5,343
0,8	2,812	2,360	2,357	2,317	2,499	4,452
1	2,525	2,121	2,117	2,083	2,243	3,902
1,5	2,058	1,725	1,724	1,697	1,829	3,127
2	1,779	1,489	1,487	1,463	1,574	2,739
3	1,340	1,220	1,209	1,189	1,282	2,371
4	1,288	1,067	1,050	1,035	1,116	2,209
5	1,176	0,974	0,951	0,936	1,008	2,132
6	1,109	0,911	0,884	0,870	0,936	2,100
8	1,021	0,831	0,799	0,787	0,846	2,100
10	0,977	0,788	0,748	0,738	0,796	2,138
15	0,933	0,744	0,691	0,682	0,734	2,274

**Çizelge 4.4.a.** Bazı aminoasitler için toplam elektronik tesir kesitleri.

Enerji (MeV)	Elektronik tesir kesiti			
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>
0,015	1,496	1,333	1,254	1,111
0,02	0,832	0,765	0,733	0,674
0,03	0,495	0,475	0,466	0,449
0,04	0,407	0,398	0,395	0,387
0,05	0,369	0,364	0,362	0,358
0,06	0,347	0,344	0,343	0,341
0,08	0,320	0,319	0,318	0,317
0,1	0,301	0,300	0,300	0,299
0,15	0,269	0,268	0,268	0,268
0,2	0,245	0,245	0,245	0,245
0,3	0,213	0,213	0,213	0,213
0,4	0,190	0,190	0,190	0,190
0,5	0,174	0,174	0,174	0,174
0,6	0,161	0,161	0,161	0,161
0,8	0,141	0,141	0,141	0,141
1	0,127	0,127	0,127	0,127
1,5	0,103	0,103	0,103	0,103
2	0,088	0,088	0,088	0,088
3	0,070	0,070	0,070	0,070
4	0,060	0,059	0,059	0,059
5	0,052	0,052	0,053	0,052
6	0,047	0,047	0,047	0,047
8	0,041	0,040	0,040	0,040
10	0,036	0,036	0,036	0,035
15	0,030	0,030	0,030	0,029

**Çizelge 4.4.b.** Bazı termolüminesans dozimetrik bileşikler için elektronik tesir kesiti.

Enerji (MeV)	Elektronik tesir kesiti						
	MgSO <sub>4</sub>	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CdSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaF <sub>2</sub>
0,015	9,777	8,735	9,340	23,95	37,13	17,58	23,41
0,02	4,326	3,863	4,135	10,88	16,91	7,769	10,34
0,03	1,522	1,382	1,466	15,88	5,604	2,571	3,357
0,04	0,839	0,779	0,814	7,622	2,629	1,286	1,620
0,05	0,590	0,559	0,576	4,296	1,529	0,820	0,992
0,06	0,476	0,459	0,469	2,724	1,029	0,609	0,709
0,08	0,376	0,368	0,373	1,383	0,614	0,432	0,475
0,1	0,331	0,327	0,329	0,867	0,454	0,360	0,382
0,15	0,278	0,277	0,278	0,450	0,316	0,287	0,294
0,2	0,250	0,250	0,250	0,327	0,267	0,254	0,258
0,3	0,214	0,214	0,214	0,240	0,220	0,216	0,218
0,4	0,191	0,191	0,191	0,204	0,194	0,192	0,193
0,5	0,174	0,174	0,174	0,181	0,176	0,175	0,175
0,6	0,161	0,161	0,161	0,166	0,162	0,161	0,162
0,8	0,141	0,141	0,141	0,144	0,142	0,142	0,142
1	0,127	0,127	0,127	0,129	0,127	0,127	0,127
1,5	0,103	0,103	0,103	0,104	0,104	0,103	0,104
2	0,089	0,089	0,089	0,090	0,089	0,089	0,089
3	0,072	0,072	0,072	0,074	0,073	0,073	0,073
4	0,063	0,063	0,063	0,066	0,064	0,063	0,064
5	0,056	0,056	0,056	0,061	0,058	0,057	0,058
6	0,052	0,052	0,052	0,057	0,055	0,053	0,054
8	0,047	0,047	0,047	0,053	0,050	0,048	0,050
10	0,044	0,044	0,044	0,051	0,048	0,046	0,047
15	0,040	0,040	0,040	0,049	0,045	0,042	0,045

Çizelge 4.4.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Elektronik tesir kesiti					
	Ca <sub>5</sub> F(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaSO <sub>4</sub>	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	BaSO <sub>4</sub>
0,015	20,23	14,47	8,816	9,264	8,936	33,58
0,02	8,930	6,465	3,893	4,112	3,955	15,41
0,03	2,925	2,191	1,391	1,459	1,410	5,255
0,04	1,436	1,127	0,782	0,813	0,791	10,73
0,05	0,897	0,739	0,561	0,576	0,565	6,119
0,06	0,654	0,563	0,460	0,469	0,462	3,868
0,08	0,451	0,412	0,369	0,373	0,370	1,929
0,1	0,370	0,349	0,327	0,329	0,328	1,173
0,15	0,290	0,284	0,277	0,278	0,278	0,551
0,2	0,256	0,253	0,250	0,250	0,250	0,374
0,3	0,216	0,216	0,214	0,214	0,214	0,256
0,4	0,192	0,192	0,191	0,191	0,191	0,211
0,5	0,175	0,175	0,174	0,174	0,174	0,186
0,6	0,162	0,161	0,161	0,161	0,161	0,169
0,8	0,142	0,142	0,141	0,141	0,141	0,145
1	0,127	0,127	0,127	0,127	0,127	0,129
1,5	0,104	0,103	0,103	0,103	0,103	0,105
2	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,091
3	0,073	0,072	0,072	0,072	0,072	0,075
4	0,064	0,063	0,063	0,063	0,063	0,067
5	0,058	0,056	0,056	0,056	0,056	0,062
6	0,054	0,052	0,052	0,052	0,052	0,058
8	0,049	0,047	0,047	0,047	0,047	0,054
10	0,046	0,044	0,044	0,044	0,044	0,053
15	0,043	0,040	0,040	0,040	0,040	0,051



**Çizelge 4.5.a.** Bazı aminoasitler için etkin atom numaraları.

Enerji (MeV)	Etkin atom numarası			
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>
0,015	10,83	10,33	9,953	9,442
0,02	9,735	9,158	8,820	8,178
0,03	8,161	7,564	7,334	6,639
0,04	7,443	6,851	6,693	6,031
0,05	7,096	6,554	6,418	5,766
0,06	6,932	6,409	6,290	5,664
0,08	6,776	6,280	6,181	5,554
0,1	6,747	6,211	6,144	5,520
0,15	6,674	6,183	6,069	5,458
0,2	6,642	6,160	6,088	5,443
0,3	6,661	6,136	6,063	5,433
0,4	6,662	6,143	6,071	5,450
0,5	6,647	6,134	6,055	5,439
0,6	6,647	6,133	6,060	5,434
0,8	6,656	6,143	6,070	5,450
1	6,658	6,141	6,069	5,445
1,5	6,633	6,121	6,049	5,430
2	6,662	6,149	6,077	5,453
3	6,720	6,192	6,121	5,496
4	6,771	6,254	6,163	5,542
5	6,835	6,308	6,237	5,592
6	6,914	6,393	6,298	5,664
8	7,061	6,527	6,430	5,791
10	7,183	6,661	6,561	5,910
15	7,486	6,951	6,811	6,159

**Çizelge 4.5.b.** Bazı termolüminesans dozimetrik bileşikler için etkin atom numarası.

Enerji (MeV)	Etkin atom numarası						
	MgSO <sub>4</sub>	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CdSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	CaF <sub>2</sub>
0,015	21,78	19,45	20,69	61,46	44,18	28,51	30,47
0,02	21,65	19,35	20,51	62,02	44,15	28,28	30,35
0,03	20,83	18,83	19,80	75,21	43,55	27,56	29,75
0,04	19,80	18,25	19,00	74,35	42,16	26,17	28,81
0,05	18,96	17,79	18,39	72,94	40,04	24,73	27,49
0,06	18,25	17,46	17,79	70,77	37,74	23,43	26,25
0,08	17,53	17,02	17,29	65,48	33,26	21,51	24,28
0,1	17,11	16,81	16,95	59,88	29,79	20,52	23,15
0,15	16,86	16,73	16,74	47,07	25,26	19,53	21,87
0,2	16,75	16,68	16,57	39,13	23,39	19,08	21,43
0,3	16,59	16,65	16,72	32,18	22,30	18,98	21,18
0,4	16,633	16,62	16,63	29,707	21,99	18,88	21,15
0,5	16,631	16,61	16,62	28,63	21,86	18,88	21,11
0,6	16,618	16,61	16,61	28,04	21,77	18,86	21,09
0,8	16,602	16,61	16,60	27,44	21,68	18,84	21,05
1	16,626	16,60	16,63	27,21	21,69	18,85	21,06
1,5	16,622	16,62	16,59	27,05	21,65	18,82	21,03
2	16,615	16,61	16,63	27,31	21,78	18,89	21,10
3	16,667	16,65	16,63	28,30	22,11	18,99	21,27
4	16,718	16,69	16,74	29,46	22,44	19,12	21,36
5	16,806	16,73	16,77	30,54	22,84	19,23	21,54
6	16,842	16,74	16,80	31,63	23,22	19,44	21,67
8	16,959	16,84	16,94	33,45	23,90	19,72	21,99
10	17,070	16,88	16,96	34,94	24,46	19,91	22,21
15	17,205	16,99	17,10	37,56	25,45	20,32	22,67

Çizelge 4.5.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Etkin atom numarası					
	Ca <sub>5</sub> F(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaSO <sub>4</sub>	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	BaSO <sub>4</sub>
0,015	29,38	29,64	19,48	21,59	21,28	76,96
0,02	29,25	29,32	19,39	21,40	21,12	77,14
0,03	28,50	28,07	18,86	20,57	20,53	76,48
0,04	27,38	26,01	18,31	19,53	19,79	88,53
0,05	26,00	23,97	17,80	18,62	19,16	87,11
0,06	24,74	22,21	17,45	17,92	18,68	85,53
0,08	22,79	19,82	17,06	17,22	18,18	80,73
0,1	21,67	18,65	16,88	16,80	17,97	74,89
0,15	20,61	17,32	16,70	16,45	17,75	60,77
0,2	20,08	16,93	16,66	16,44	17,69	50,06
0,3	19,86	16,77	16,72	16,40	17,60	39,33
0,4	19,87	16,69	16,61	16,35	17,62	34,78
0,5	19,83	16,67	16,61	16,34	17,63	32,75
0,6	19,83	16,65	16,62	16,34	17,60	31,61
0,8	19,79	16,63	16,62	16,33	17,61	30,54
1	19,79	16,64	16,60	16,34	17,60	30,04
1,5	19,79	16,61	16,60	16,35	17,61	29,70
2	19,85	16,66	16,64	16,37	17,60	30,05
3	18,30	16,80	16,66	16,40	17,65	31,42
4	20,14	16,93	16,66	16,45	17,72	32,96
5	20,23	17,12	16,72	16,48	17,72	34,40
6	20,46	17,31	16,78	16,57	17,78	35,85
8	20,69	17,57	16,87	16,70	17,87	38,33
10	20,92	17,78	16,88	16,74	17,96	40,33
15	21,34	18,33	17,01	16,89	18,08	43,88

**Çizelge 4.6.a.** Bazı aminoasitler için foton buildup faktörleri.

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)					
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>					
	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,250	1,387	1,481	1,554	1,613	1,664
0,02	1,585	1,962	2,253	2,494	2,705	2,894
0,03	2,823	4,471	6,042	7,573	9,086	10,595
0,04	4,095	8,018	12,66	18,02	24,08	30,84
0,05	4,964	11,09	19,42	30,15	43,51	59,70
0,06	5,191	12,64	23,85	39,55	60,52	87,57
0,08	4,902	12,71	25,51	44,80	72,27	109,7
0,1	4,612	11,88	23,92	42,28	68,73	105,3
0,15	3,463	8,887	18,52	34,09	57,71	91,91
0,2	3,159	7,645	15,24	27,02	44,22	68,24
0,4	2,578	5,537	10,15	16,79	25,88	37,80
0,5	2,452	4,839	8,215	12,69	18,39	25,40
0,6	2,370	4,460	7,253	10,79	15,09	20,19
0,8	2,351	3,869	5,530	7,326	9,254	11,31
1	2,103	3,587	5,400	7,524	9,948	12,66
1,5	1,940	3,092	4,406	5,863	7,449	9,150
2	1,836	2,792	3,836	4,952	6,132	7,367
3	1,710	2,453	3,218	4,002	4,801	5,614
4	1,625	2,246	2,865	3,482	4,098	4,713
5	1,564	2,103	2,626	3,139	3,644	4,143
6	1,511	1,986	2,440	2,881	3,314	3,739
8	1,430	1,816	2,180	2,529	2,866	3,197
10	1,372	1,703	2,011	2,303	2,585	2,859
15	1,278	1,519	1,740	1,950	2,150	2,344

Çizelge 4.6.a. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,709	1,750	1,789	1,825	1,986
0,02	3,069	3,234	3,391	3,543	4,259
0,03	12,11	13,65	15,21	16,80	25,36
0,04	38,30	46,49	55,38	64,99	124,0
0,05	78,93	101,4	127,2	156,5	360,7
0,06	121,5	163,1	212,9	271,9	725,6
0,08	159,1	222,3	301,4	398,3	1217
0,1	154,1	217,6	298,1	398,2	1283
0,15	139,5	203,8	288,1	396,2	1432
0,2	100,6	142,9	196,9	264,1	857,3
0,4	52,96	71,74	94,45	121,4	326,2
0,5	33,83	43,74	55,19	68,22	157,0
0,6	26,11	32,85	40,41	48,78	102,1
0,8	13,50	15,81	18,25	20,82	35,47
1	15,64	18,88	22,36	26,06	47,38
1,5	10,95	12,85	14,83	16,88	27,95
2	8,651	9,978	11,34	12,74	20,09
3	6,439	7,274	8,119	8,971	13,33
4	5,327	5,941	6,555	7,169	10,24
5	4,638	5,129	5,618	6,106	8,535
6	4,161	4,579	4,996	5,413	7,503
8	3,522	3,844	4,163	4,481	6,062
10	3,127	3,390	3,651	3,910	5,196
15	2,534	2,721	2,906	3,090	4,010

Çizelge 4.6.a. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	2,120	2,223	2,297	2,359	2,429
0,02	4,925	5,513	5,995	6,411	6,865
0,03	35,13	45,93	57,22	68,78	81,46
0,04	202,9	306,7	442,7	612,4	805,8
0,05	678,2	1160	1896	2942	4207
0,06	1519	2865	5164	8757	13334
0,08	2817	5770	11185	20034	31394
0,1	3093	6476	12739	23552	39111
0,15	3709	8064	16120	30120	50646
0,2	2033	4103	7664	13386	21030
0,4	654,9	1125	1805	2809	4181
0,5	283,9	452,7	683,3	1003	1411
0,6	172,9	263,8	382,1	525,8	670,7
0,8	52,81	71,90	91,23	109,3	125,4
1	72,46	101,7	136,2	174,7	211,0
1,5	40,00	53,20	68,01	83,94	99,05
2	27,87	36,16	45,08	54,35	63,19
3	17,82	22,42	27,13	31,85	36,48
4	13,31	16,38	19,44	22,52	25,63
5	10,97	13,38	15,75	18,08	20,47
6	9,603	11,64	13,57	15,46	17,47
8	7,617	9,094	10,53	12,07	13,86
10	6,476	7,716	8,878	10,00	11,20
15	4,936	5,834	6,645	7,363	8,070

Çizelge 4.6.a. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)					
	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,281	1,437	1,546	1,630	1,699	1,759
0,02	1,650	2,088	2,435	2,728	2,986	3,221
0,03	3,033	4,982	6,914	8,854	10,82	12,82
0,04	4,336	8,840	14,42	21,11	28,91	37,89
0,05	5,147	11,92	21,54	34,40	50,93	71,59
0,06	5,230	12,91	24,68	41,42	64,10	93,74
0,08	4,900	12,73	25,63	45,12	72,95	111,1
0,1	4,497	11,78	24,22	43,63	72,22	112,5
0,15	3,846	9,358	18,23	31,41	49,99	75,17
0,2	3,341	7,807	14,88	25,22	39,56	58,68
0,4	2,578	5,537	10,15	16,79	25,87	37,80
0,5	2,452	4,839	8,218	12,70	18,40	25,43
0,6	2,401	4,549	7,437	11,11	15,62	21,00
0,8	2,358	3,862	5,488	7,232	9,091	11,06
1	2,087	3,576	5,413	7,583	10,07	12,86
1,5	1,940	3,092	4,406	5,863	7,449	9,150
2	1,844	2,804	3,849	4,967	6,148	7,386
3	1,714	2,458	3,224	4,008	4,806	5,618
4	1,625	2,246	2,865	3,483	4,099	4,715
5	1,563	2,103	2,629	3,144	3,651	4,151
6	1,513	1,988	2,442	2,883	3,315	3,740
8	1,430	1,817	2,182	2,532	2,871	3,202
10	1,376	1,709	2,018	2,311	2,593	2,866
15	1,282	1,526	1,750	1,962	2,164	2,359

Çizelge 4.6.a. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)		C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>		
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,812	1,861	1,907	1,950	2,142
0,02	3,441	3,648	3,848	4,041	4,963
0,03	14,87	16,97	19,14	21,37	33,77
0,04	48,07	59,49	72,17	86,16	176,8
0,05	96,78	126,9	162,5	203,7	509,0
0,06	131,4	178,0	234,7	302,3	837,4
0,08	161,3	225,9	306,9	406,3	1253
0,1	167,5	240,0	333,6	451,6	1541
0,15	108,2	150,4	203,2	267,8	817,3
0,2	83,34	114,3	152,4	198,3	568,4
0,4	52,96	71,73	94,45	121,4	326,2
0,5	33,88	43,82	55,30	68,36	157,5
0,6	27,30	34,52	42,68	51,79	111,0
0,8	13,15	15,34	17,64	20,05	33,68
1	15,95	19,30	22,91	26,75	48,82
1,5	10,95	12,85	14,83	16,88	27,95
2	8,674	10,00	11,38	12,79	20,27
3	6,442	7,275	8,118	8,969	13,32
4	5,329	5,943	6,556	7,169	10,23
5	4,645	5,136	5,622	6,106	8,495
6	4,161	4,579	4,996	5,412	7,501
8	3,528	3,850	4,168	4,486	6,058
10	3,134	3,397	3,656	3,914	5,187
15	2,549	2,736	2,921	3,104	4,013



Çizelge 4.6.a. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) $C_3H_7NO_2$				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	2,304	2,429	2,519	2,594	2,681
0,02	5,842	6,648	7,337	7,940	8,581
0,03	48,47	65,37	83,99	104,4	128,4
0,04	307,2	491,8	752,4	1100	1517
0,05	1021	1850	3196	5234	7854
0,06	1807	3491	6434	11164	17401
0,08	2918	6006	11691	21050	33199
0,1	3880	8401	16989	32237	54906
0,15	1885	3789	7141	12634	20143
0,2	1239	2375	4284	7198	10776
0,4	654,9	1125	1805	2809	4181
0,5	284,9	454,5	685,9	1007	14193
0,6	191,8	296,1	431,9	601,9	786,1
0,8	49,58	66,85	83,98	99,52	112,9
1	74,66	104,9	141,3	182,4	221,2
1,5	40,00	53,20	68,00	83,93	99,04
2	28,25	36,73	45,79	55,27	64,58
3	17,78	22,35	26,99	31,68	36,31
4	13,29	16,35	19,41	22,49	25,59
5	10,86	13,20	15,51	17,80	20,11
6	9,596	11,62	13,54	15,44	17,50
8	7,601	9,072	10,50	12,03	13,79
10	6,449	7,667	8,803	9,900	11,06
15	4,924	5,805	6,605	7,309	7,985

Çizelge 4.6.a. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)					
	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,314	1,490	1,616	1,712	1,793	1,862
0,02	1,720	2,228	2,640	2,995	3,312	3,603
0,03	3,233	5,489	7,799	10,18	12,64	15,18
0,04	4,557	9,623	16,14	24,18	33,83	45,16
0,05	5,306	12,66	23,48	38,35	57,97	83,02
0,06	5,293	13,36	26,07	44,58	70,22	104,4
0,08	4,884	12,92	26,52	47,56	78,27	121,2
0,1	4,497	11,78	24,21	43,62	72,22	112,5
0,15	3,456	8,877	18,51	34,11	57,81	92,14
0,2	3,341	7,807	14,88	25,22	39,57	58,68
0,4	2,578	5,537	10,15	16,79	25,88	37,80
0,5	2,420	4,839	8,357	13,13	19,35	27,16
0,6	2,371	4,462	7,257	10,79	15,09	20,20
0,8	2,358	3,862	5,488	7,232	9,091	11,06
1	2,102	3,587	5,400	7,525	9,949	12,66
1,5	1,940	3,092	4,407	5,865	7,451	9,153
2	1,837	2,793	3,836	4,952	6,132	7,368
3	1,714	2,458	3,224	4,008	4,806	5,618
4	1,621	2,244	2,867	3,489	4,109	4,727
5	1,564	2,103	2,627	3,140	3,645	4,144
6	1,519	1,995	2,450	2,890	3,320	3,744
8	1,430	1,818	2,184	2,535	2,875	3,206
10	1,378	1,712	2,022	2,316	2,598	2,872
15	1,285	1,531	1,757	1,970	2,173	2,369

Çizelge 4.6.a. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,926	1,983	2,037	2,088	2,318
0,02	3,877	4,132	4,389	4,634	5,813
0,03	17,83	20,57	23,43	26,40	43,21
0,04	58,27	73,23	90,11	108,9	235,5
0,05	114,2	152,2	197,8	251,6	666,1
0,06	148,6	204,3	273,1	356,5	1045
0,08	178,9	254,7	351,3	472,0	1553
0,1	167,4	240,0	333,6	451,6	1541
0,15	139,9	204,6	289,4	398,2	1443
0,2	83,34	114,3	152,4	198,3	568,4
0,4	52,96	71,74	94,45	121,4	326,2
0,5	36,71	48,14	61,55	77,03	186,5
0,6	26,13	32,88	40,45	48,83	102,2
0,8	13,15	15,34	17,64	20,05	33,68
1	15,64	18,88	22,36	26,07	47,39
1,5	10,96	12,86	14,83	16,88	27,95
2	8,652	9,979	11,34	12,74	20,09
3	6,442	7,275	8,118	8,969	13,32
4	5,343	5,956	6,567	7,175	10,19
5	4,639	5,130	5,619	6,106	8,530
6	4,163	4,579	4,993	5,407	7,483
8	3,532	3,854	4,173	4,489	6,055
10	3,138	3,401	3,660	3,916	5,181
15	2,560	2,747	2,931	3,113	4,015

Çizelge 4.6.a. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	2,512	2,664	2,773	2,865	2,972
0,02	6,961	8,048	9,014	9,877	10,77
0,03	63,62	87,69	115,3	147,2	185,3
0,04	425,5	705,2	1117	1689	2386
0,05	1396	2622	4683	7920	12226
0,06	2356	4711	8951	16026	25804
0,08	3797	8085	16186	30192	49829
0,1	3880	8401	16989	32237	54906
0,15	3739	8134	16263	30388	51099
0,2	1239	2375	4284	7198	10776
0,4	654,9	1125	1805	2809	4181
0,5	347,7	559,7	839,1	1230	1789
0,6	173,2	264,4	382,9	527,1	672,5
0,8	49,58	66,85	83,98	99,52	112,9
1	72,48	101,7	136,3	174,8	211,1
1,5	39,99	53,18	67,98	83,91	99,00
2	27,88	36,18	45,10	54,38	63,24
3	17,78	22,35	26,99	31,68	36,32
4	13,24	16,36	19,49	22,55	25,51
5	10,95	13,36	15,72	18,05	20,42
6	9,543	11,51	13,39	15,37	17,62
8	7,589	9,055	10,48	12,00	13,74
10	6,431	7,634	8,755	9,833	10,98
15	4,914	5,783	6,573	7,268	7,923

Çizelge 4.6.a. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,341	1,536	1,675	1,783	1,874	1,953
0,02	1,773	2,336	2,801	3,206	3,571	3,910
0,03	3,403	5,933	8,592	11,38	14,31	17,37
0,04	4,751	10,33	17,73	27,08	38,51	52,17
0,05	5,388	13,06	24,52	40,50	61,84	89,37
0,06	5,340	13,70	27,13	47,01	74,98	112,8
0,08	4,881	12,96	26,68	48,01	79,27	123,1
0,1	4,485	11,78	24,24	43,76	72,58	113,3
0,15	3,438	8,848	18,51	34,20	58,11	92,83
0,2	3,152	7,638	15,25	27,07	44,37	68,56
0,4	2,578	5,537	10,15	16,79	25,88	37,80
0,5	2,451	4,839	8,222	12,71	18,43	25,49
0,6	2,402	4,551	7,441	11,12	15,63	21,02
0,8	2,370	3,849	5,423	7,088	8,840	10,68
1	2,087	3,576	5,413	7,583	10,07	12,86
1,5	1,940	3,092	4,406	5,864	7,450	9,151
2	1,845	2,805	3,850	4,967	6,149	7,387
3	1,714	2,459	3,225	4,009	4,808	5,619
4	1,620	2,244	2,868	3,491	4,113	4,731
5	1,561	2,103	2,632	3,150	3,658	4,159
6	1,528	2,008	2,462	2,901	3,328	3,747
8	1,430	1,820	2,187	2,540	2,881	3,213
10	1,383	1,719	2,031	2,326	2,608	2,881
15	1,287	1,536	1,764	1,979	2,182	2,379

Çizelge 4.6.a. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) $C_6H_{13}NO_2$				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	2,024	2,090	2,151	2,210	2,474
0,02	4,229	4,534	4,829	5,117	6,510
0,03	20,59	23,96	27,48	31,16	52,21
0,04	68,19	86,69	107,8	131,5	294,3
0,05	123,9	166,6	217,9	278,9	757,9
0,06	162,3	225,5	304,3	400,9	1221
0,08	182,4	260,2	359,9	484,9	1614
0,1	168,8	242,4	337,4	457,4	1570
0,15	141,3	206,9	293,3	404,2	1473
0,2	101,2	143,9	198,4	266,4	868,1
0,4	52,96	71,73	94,45	121,4	326,1
0,5	33,97	43,95	55,49	68,63	158,3
0,6	27,32	34,55	42,73	51,85	111,2
0,8	12,60	14,62	16,71	18,89	31,01
1	15,95	19,30	22,91	26,76	48,82
1,5	10,96	12,85	14,83	16,88	27,95
2	8,676	10,01	11,38	12,79	20,27
3	6,442	7,276	8,118	8,969	13,32
4	5,347	5,961	6,571	7,179	10,20
5	4,654	5,142	5,625	6,103	8,441
6	4,162	4,573	4,983	5,391	7,416
8	3,540	3,862	4,180	4,495	6,049
10	3,147	3,408	3,665	3,919	5,170
15	2,570	2,757	2,941	3,123	4,017

Çizelge 4.6.a. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) $C_6H_{13}NO_2$				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	2,699	2,876	3,005	3,113	3,240
0,02	7,881	9,203	10,41	11,49	12,61
0,03	78,04	109,0	145,5	188,5	240,0
0,04	543,1	915,7	1476	2266	3228
0,05	1617	3079	5570	9532	14861
0,06	2832	5785	11191	20414	33523
0,08	3980	8524	17145	32165	53490
0,1	3968	8619	17474	33234	56731
0,15	3829	8339	16677	31161	52402
0,2	2063	4169	7790	13612	21403
0,4	654,9	1125	1805	2809	4181
0,5	286,8	457,6	690,5	1014	1432
0,6	192,2	296,8	433,1	603,6	788,6
0,8	44,82	59,44	73,46	85,57	95,39
1	74,66	104,9	141,3	182,4	221,2
1,5	40,00	53,19	68,00	83,92	99,03
2	28,28	36,77	45,84	55,33	64,66
3	17,78	22,34	26,98	31,66	36,29
4	13,28	16,45	19,61	22,63	25,51
5	10,71	12,95	15,16	17,36	19,57
6	9,356	11,18	13,09	15,28	17,89
8	7,566	9,022	10,45	11,95	13,64
10	6,398	7,574	8,664	9,710	10,82

**Çizelge 4.6.b.** Bazı termoluminesans dozimetrik bileşikler için kuvvetlendirme faktörleri

Nüfuz derinliği (mfp)						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,049	1,071	1,086	1,096	1,105	1,112
0,02	1,115	1,170	1,204	1,230	1,250	1,268
0,03	1,381	1,583	1,722	1,829	1,919	1,997
0,04	1,813	2,358	2,786	3,146	3,462	3,748
0,05	2,474	3,600	4,575	5,461	6,294	7,093
0,06	3,101	5,040	6,920	8,780	10,65	12,53
0,08	4,127	7,801	11,95	16,55	21,62	27,14
0,1	4,481	9,193	15,05	22,08	30,32	39,81
0,15	4,030	8,927	15,80	24,90	36,48	50,77
0,2	3,640	7,792	13,52	21,00	30,43	41,99
0,3	3,063	6,275	10,67	16,37	23,51	32,19
0,4	2,717	5,411	9,107	13,89	19,87	27,13
0,5	2,535	4,863	7,970	11,90	16,71	22,43
0,6	2,412	4,454	7,092	10,34	14,23	18,76
0,8	2,226	3,920	6,034	8,563	11,50	14,86
1	2,111	3,574	5,336	7,384	9,706	12,29
1,5	1,939	3,070	4,351	5,766	7,302	8,948
2	1,847	2,800	3,832	4,929	6,084	7,290
3	1,748	2,500	3,261	4,032	4,813	5,606
4	1,620	2,229	2,837	3,446	4,058	4,676
5	1,539	2,060	2,571	3,078	3,583	4,087
6	1,480	1,933	2,374	2,808	3,237	3,666
8	1,390	1,750	2,096	2,433	2,767	3,099
10	1,332	1,633	1,919	2,197	2,469	2,740
15	1,221	1,429	1,629	1,826	2,020	2,213



Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) $Al_2O_3$				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,118	1,123	1,129	1,133	1,153
0,02	1,283	1,297	1,310	1,323	1,377
0,03	2,067	2,133	2,195	2,255	2,529
0,04	4,013	4,264	4,504	4,736	5,832
0,05	7,874	8,646	9,416	10,19	14,21
0,06	14,45	16,42	18,44	20,51	32,01
0,08	33,12	39,56	46,48	53,88	98,40
0,1	50,61	62,75	76,27	91,23	188,8
0,15	68,04	88,48	112,3	139,7	335,8
0,2	55,87	72,23	91,25	113,1	268,9
0,3	42,56	54,71	68,73	84,72	196,5
0,4	35,74	45,78	57,30	70,35	159,3
0,5	29,09	36,73	45,36	54,97	117,7
0,6	23,96	29,83	36,36	43,57	89,27
0,8	18,61	22,76	27,29	32,20	61,74
1	15,13	18,22	21,53	25,07	45,56
1,5	10,69	12,54	14,46	16,46	27,38
2	8,541	9,833	11,16	12,52	19,68
3	6,411	7,229	8,061	8,907	13,37
4	5,300	5,931	6,570	7,216	10,56
5	4,592	5,099	5,608	6,121	8,746
6	4,094	4,524	4,957	5,394	7,644
8	3,430	3,763	4,099	4,438	6,193
10	3,010	3,280	3,553	3,828	5,262
15	2,407	2,601	2,796	2,994	4,016

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) $Al_2O_3$				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,166	1,174	1,181	1,190	1,202
0,02	1,421	1,453	1,472	1,487	1,506
0,03	2,768	2,956	3,090	3,200	3,332
0,04	6,869	7,816	8,611	9,266	9,903
0,05	18,53	22,83	26,68	30,26	34,46
0,06	45,46	60,32	75,82	92,46	112,5
0,08	156,5	230,0	320,1	425,9	545,8
0,1	330,2	529,1	802,6	1150	1545
0,15	650,9	1142	1902	2965	4188
0,2	518,2	899,6	1471	2255	3158
0,3	368,3	617,9	974,9	1450	1991
0,4	290,4	474,6	730,7	1059	1411
0,5	204,5	319,5	470,9	656,3	846,4
0,6	150,3	228,0	326,5	444,4	566,8
0,8	98,49	142,5	195,5	256,8	319,3
1	69,90	98,00	130,7	167,3	204,0
1,5	39,48	52,76	67,44	83,16	98,39
2	27,29	35,29	43,77	52,59	61,26
3	18,26	23,67	29,65	36,29	43,69
4	14,01	17,41	20,74	24,23	28,08
5	11,45	14,17	16,91	19,78	22,93
6	10,00	12,37	14,58	16,56	18,39
8	8,019	9,822	11,60	13,55	15,87
10	6,772	8,269	9,682	11,11	12,77
15	5,099	6,207	7,284	8,327	9,414

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
SiO <sub>2</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,043	1,073	1,076	1,085	1,093	1,099
0,02	1,101	1,173	1,180	1,203	1,221	1,236
0,03	1,334	1,597	1,625	1,715	1,789	1,854
0,04	1,723	2,482	2,540	2,833	3,087	3,315
0,05	2,340	4,004	4,117	4,838	5,505	6,138
0,06	2,947	6,143	6,255	7,808	9,341	10,87
0,08	3,912	10,66	10,61	14,36	18,39	22,71
0,1	4,408	14,81	14,38	20,87	28,40	37,00
0,15	4,015	17,12	16,01	25,41	37,44	52,41
0,2	3,657	14,01	13,28	20,44	29,36	40,19
0,3	3,063	11,28	10,67	16,37	23,51	32,21
0,4	2,732	9,575	9,069	13,77	19,62	26,69
0,5	2,551	8,274	7,891	11,70	16,33	21,81
0,6	2,497	7,115	6,896	9,725	12,96	16,60
0,8	2,226	6,260	6,034	8,564	11,51	14,86
1	2,114	5,482	5,326	7,358	9,660	12,22
1,5	1,941	4,436	4,355	5,769	7,304	8,949
2	1,848	3,875	3,834	4,930	6,083	7,287
3	1,758	3,268	3,274	4,041	4,816	5,602
4	1,614	2,822	2,829	3,439	4,052	4,672
5	1,540	2,561	2,571	3,077	3,581	4,085
6	1,480	2,361	2,373	2,807	3,237	3,665
8	1,391	2,083	2,097	2,435	2,768	3,100
10	1,330	1,903	1,916	2,194	2,467	2,737
15	1,223	1,621	1,629	1,824	2,017	2,210

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) SiO <sub>2</sub>				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,105	1,110	1,114	1,119	1,138
0,02	1,249	1,261	1,273	1,283	1,330
0,03	1,913	1,967	2,018	2,067	2,291
0,04	3,526	3,724	3,913	4,095	4,950
0,05	6,752	7,354	7,953	8,552	11,65
0,06	12,42	13,99	15,59	17,24	26,27
0,08	27,31	32,20	37,39	42,89	75,33
0,1	46,71	57,55	69,56	82,79	168,4
0,15	70,55	92,13	117,3	146,4	355,5
0,2	53,11	68,23	85,69	105,6	246,3
0,3	42,58	54,74	68,78	84,78	196,7
0,4	35,06	44,80	55,96	68,57	154,4
0,5	28,17	35,45	43,65	52,78	112,5
0,6	20,63	25,05	29,84	35,00	65,68
0,8	18,62	22,78	27,31	32,22	61,79
1	15,03	18,08	21,36	24,86	45,14
1,5	10,70	12,53	14,45	16,45	27,37
2	8,535	9,823	11,14	12,50	19,63
3	6,398	7,206	8,028	8,863	13,27
4	5,298	5,930	6,571	7,219	10,58
5	4,590	5,097	5,607	6,121	8,756
6	4,094	4,524	4,957	5,393	7,646
8	3,432	3,765	4,100	4,439	6,191
10	3,008	3,279	3,553	3,829	5,269
15	2,403	2,597	2,793	2,991	4,029

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) SiO <sub>2</sub>				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,150	1,158	1,162	1,168	1,177
0,02	1,367	1,393	1,410	1,423	1,439
0,03	2,482	2,629	2,731	2,817	2,922
0,04	5,747	6,452	7,021	7,484	7,950
0,05	14,92	18,11	21,00	23,90	27,62
0,06	36,65	47,78	59,07	71,42	87,26
0,08	116,4	166,1	224,2	291,7	370,9
0,1	291,2	462,2	693,1	983,2	1313
0,15	692,2	1218	2037	3190	4516
0,2	468,1	802,3	1294	1956	2714
0,3	368,7	618,6	976,3	1452	1994
0,4	280,8	456,9	699,2	1009	1346
0,5	195,7	305,9	450,2	627,7	815,2
0,6	103,3	147,1	197,1	251,2	303,7
0,8	98,56	142,6	195,6	257,1	319,5
1	69,25	96,94	128,9	164,8	201,2
1,5	39,47	52,73	67,42	83,19	98,59
2	27,18	35,11	43,50	52,23	60,81
3	18,15	23,58	29,68	36,55	44,34
4	14,09	17,61	21,08	24,61	28,38
5	11,48	14,21	16,95	19,82	22,99
6	10,00	12,37	14,59	16,57	18,41
8	8,014	9,813	11,59	13,52	15,84
10	6,791	8,305	9,740	11,18	12,85
15	5,146	6,295	7,413	8,498	9,647

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,049	1,072	1,087	1,097	1,106	1,113
0,02	1,116	1,171	1,206	1,232	1,253	1,270
0,03	1,387	1,593	1,735	1,845	1,936	2,016
0,04	1,820	2,370	2,804	3,169	3,489	3,780
0,05	2,480	3,614	4,597	5,491	6,332	7,140
0,06	3,103	5,044	6,927	8,791	10,66	12,55
0,08	4,148	7,868	12,08	16,78	21,95	27,59
0,1	4,495	9,251	15,18	22,32	30,69	40,37
0,15	4,020	8,958	15,94	25,24	37,13	51,87
0,2	3,657	7,740	13,28	20,44	29,36	40,19
0,3	3,055	6,280	10,72	16,49	23,74	32,59
0,4	2,715	5,411	9,112	13,91	19,91	27,19
0,5	2,534	4,863	7,976	11,92	16,74	22,48
0,6	2,497	4,483	6,898	9,730	12,97	16,62
0,8	2,226	3,920	6,034	8,564	11,51	14,86
1	2,111	3,574	5,336	7,384	9,707	12,29
1,5	1,940	3,073	4,354	5,769	7,304	8,949
2	1,848	2,802	3,833	4,930	6,083	7,287
3	1,756	2,512	3,272	4,039	4,816	5,602
4	1,617	2,226	2,833	3,443	4,056	4,674
5	1,538	2,059	2,572	3,080	3,586	4,091
6	1,480	1,934	2,376	2,810	3,240	3,668
8	1,392	1,753	2,099	2,438	2,771	3,103
10	1,332	1,633	1,919	2,196	2,469	2,739
15	1,222	1,429	1,629	1,824	2,018	2,210

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) $Mg_2SiO_4$				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,119	1,125	1,130	1,135	1,155
0,02	1,286	1,300	1,313	1,326	1,381
0,03	2,089	2,156	2,220	2,281	2,562
0,04	4,049	4,304	4,548	4,783	5,898
0,05	7,929	8,709	9,487	10,27	14,34
0,06	14,47	16,44	18,46	20,55	32,08
0,08	33,72	40,33	47,43	55,02	100,8
0,1	51,39	63,79	77,62	92,91	192,8
0,15	69,72	90,93	115,7	144,2	349,1
0,2	53,11	68,23	85,69	105,6	246,3
0,3	43,18	55,62	70,01	86,43	201,7
0,4	35,84	45,92	57,49	70,59	159,9
0,5	29,17	36,84	45,49	55,15	118,1
0,6	20,66	25,09	29,89	35,07	65,86
0,8	18,62	22,77	27,31	32,22	61,78
1	15,13	18,22	21,54	25,07	45,57
1,5	10,69	12,53	14,46	16,46	27,37
2	8,536	9,825	11,15	12,51	19,64
3	6,400	7,210	8,034	8,871	13,29
4	5,299	5,931	6,571	7,218	10,57
5	4,596	5,102	5,610	6,121	8,720
6	4,096	4,526	4,959	5,394	7,639
8	3,434	3,767	4,102	4,440	6,188
10	3,009	3,280	3,553	3,829	5,263
15	2,403	2,598	2,794	2,992	4,028

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,168	1,176	1,182	1,192	1,204
0,02	1,426	1,458	1,478	1,493	1,512
0,03	2,807	3,001	3,140	3,254	3,390
0,04	6,953	7,918	8,730	9,400	10,05
0,05	18,71	23,05	26,94	30,55	34,76
0,06	45,56	60,46	76,00	92,68	112,8
0,08	160,8	236,9	330,4	440,1	563,3
0,1	337,8	542,0	823,4	1182	1589
0,15	678,7	1193	1994	3118	4412
0,2	468,2	802,4	1294	1956	2714
0,3	379,5	639,2	1012	1511	2077
0,4	291,8	477,1	735,2	1066	1420
0,5	205,1	320,4	472,5	658,4	848,4
0,6	103,7	147,7	198,1	252,7	305,6
0,8	98,55	142,6	195,6	256,9	319,4
1	69,91	98,01	130,7	167,4	204,1
1,5	39,48	52,74	67,43	83,18	98,57
2	27,21	35,16	43,57	52,32	60,93
3	18,17	23,60	29,68	36,52	44,24
4	14,05	17,51	20,90	24,39	28,21
5	11,39	14,09	16,82	19,69	22,79
6	9,986	12,34	14,55	16,52	18,34
8	8,004	9,795	11,56	13,47	15,76
10	6,775	8,273	9,689	11,12	12,78
15	5,140	6,284	7,398	8,478	9,619



Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)					
	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,047	1,069	1,082	1,092	1,100	1,107
0,02	1,110	1,162	1,196	1,220	1,240	1,257
0,03	1,364	1,555	1,686	1,786	1,870	1,943
0,04	1,775	2,284	2,680	3,011	3,299	3,560
0,05	2,413	3,465	4,363	5,172	5,927	6,649
0,06	3,049	4,908	6,693	8,448	10,19	11,96
0,08	4,035	7,507	11,36	15,59	20,20	25,18
0,1	4,433	8,999	14,61	21,28	29,04	37,95
0,15	4,030	8,927	15,80	24,90	36,47	50,77
0,2	3,640	7,792	13,52	21,00	30,43	41,99
0,3	3,056	6,280	10,71	16,49	23,73	32,59
0,4	2,735	5,417	9,060	13,74	19,56	26,59
0,5	2,553	4,853	7,881	11,67	16,27	21,72
0,6	2,493	4,482	6,907	9,756	13,02	16,71
0,8	2,226	3,920	6,034	8,562	11,50	14,85
1	2,111	3,574	5,336	7,384	9,706	12,29
1,5	1,938	3,070	4,351	5,766	7,302	8,948
2	1,862	2,822	3,851	4,939	6,076	7,258
3	1,746	2,498	3,259	4,030	4,813	5,607
4	1,616	2,224	2,831	3,441	4,054	4,673
5	1,536	2,058	2,572	3,081	3,588	4,093
6	1,479	1,933	2,373	2,807	3,237	3,665
8	1,392	1,753	2,099	2,438	2,771	3,103
10	1,332	1,633	1,919	2,197	2,469	2,740
15	1,223	1,430	1,629	1,824	2,016	2,209

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,113	1,119	1,123	1,128	1,148
0,02	1,271	1,285	1,297	1,309	1,360
0,03	2,009	2,070	2,128	2,184	2,438
0,04	3,801	4,029	4,246	4,456	5,447
0,05	7,351	8,043	8,732	9,424	13,01
0,06	13,75	15,58	17,46	19,39	30,05
0,08	30,55	36,31	42,46	49,02	88,15
0,1	48,01	59,29	71,82	85,62	175,3
0,15	68,04	88,48	112,3	139,7	335,8
0,2	55,87	72,23	91,25	113,1	268,9
0,3	43,17	55,61	69,98	86,39	201,5
0,4	34,91	44,58	55,66	68,18	153,3
0,5	28,04	35,27	43,42	52,49	111,8
0,6	20,79	25,28	30,15	35,41	66,76
0,8	18,61	22,76	27,29	32,20	61,73
1	15,13	18,22	21,53	25,07	45,55
1,5	10,69	12,54	14,46	16,46	27,38
2	8,477	9,731	11,01	12,32	19,14
3	6,413	7,233	8,066	8,913	13,38
4	5,298	5,931	6,571	7,219	10,57
5	4,598	5,104	5,611	6,120	8,701
6	4,093	4,524	4,957	5,393	7,646
8	3,434	3,767	4,102	4,440	6,188
10	3,010	3,280	3,553	3,828	5,262
15	2,401	2,596	2,792	2,990	4,034

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)		Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,161	1,168	1,174	1,182	1,193
0,02	1,402	1,432	1,450	1,464	1,482
0,03	2,659	2,831	2,952	3,053	3,174
0,04	6,378	7,218	7,913	8,482	9,043
0,05	16,85	20,65	24,08	27,38	31,43
0,06	42,48	56,14	70,27	85,57	104,4
0,08	138,6	201,2	276,6	365,6	468,9
0,1	304,4	485,1	730,6	1040	1393
0,15	650,9	1142	1902	2965	4188
0,2	518,2	899,5	1471	2255	3158
0,3	379,2	638,8	1012	1510	2075
0,4	278,7	452,9	692,2	998,4	1331
0,5	194,5	303,9	447,2	623,4	810,2
0,6	105,4	150,7	202,7	259,4	314,6
0,8	98,48	142,5	195,5	256,8	319,2
1	69,90	97,99	130,6	167,3	203,9
1,5	39,48	52,75	67,45	83,15	98,37
2	26,26	33,61	41,29	49,21	57,03
3	18,28	23,68	29,64	36,24	43,57
4	14,07	17,57	21,01	24,51	28,30
5	11,34	14,02	16,76	19,62	22,69
6	10,01	12,37	14,59	16,57	18,41
8	8,001	9,795	11,56	13,47	15,75
10	6,772	8,269	9,682	11,11	12,76
15	5,161	6,325	7,457	8,557	9,730

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
NaSO <sub>4</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,040	1,060	1,072	1,080	1,087	1,094
0,02	1,095	1,140	1,169	1,191	1,207	1,222
0,03	1,312	1,471	1,579	1,662	1,729	1,788
0,04	1,677	2,101	2,421	2,683	2,909	3,111
0,05	2,277	3,174	3,913	4,564	5,160	5,724
0,06	2,858	4,435	5,890	7,281	8,639	9,986
0,08	3,826	6,860	10,09	13,54	17,19	21,06
0,1	4,355	8,688	13,91	20,02	27,05	35,02
0,15	4,020	8,958	15,94	25,24	37,12	51,87
0,2	3,278	8,445	17,28	30,60	49,02	72,88
0,3	3,063	6,275	10,67	16,37	23,51	32,20
0,4	2,733	5,416	9,066	13,76	19,60	26,66
0,5	2,534	4,863	7,975	11,92	16,73	22,47
0,6	2,496	4,483	6,900	9,735	12,98	16,64
0,8	2,226	3,920	6,034	8,564	11,51	14,86
1	2,111	3,574	5,336	7,384	9,706	12,29
1,5	1,940	3,072	4,354	5,768	7,303	8,949
2	1,834	2,782	3,814	4,919	6,088	7,314
3	1,721	2,464	3,225	4,002	4,793	5,597
4	1,617	2,226	2,833	3,442	4,056	4,674
5	1,538	2,059	2,571	3,079	3,585	4,090
6	1,479	1,932	2,372	2,805	3,235	3,663
8	1,389	1,749	2,094	2,432	2,766	3,097
10	1,332	1,633	1,919	2,196	2,469	2,739
15	1,222	1,429	1,629	1,824	2,018	2,210

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) NaSO <sub>4</sub>				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,099	1,104	1,108	1,112	1,131
0,02	1,234	1,245	1,256	1,266	1,308
0,03	1,841	1,890	1,937	1,981	2,183
0,04	3,296	3,470	3,636	3,796	4,543
0,05	6,267	6,799	7,325	7,851	10,54
0,06	11,33	12,70	14,09	15,51	23,19
0,08	25,16	29,49	34,06	38,88	66,97
0,1	43,96	53,89	64,85	76,88	153,9
0,15	69,72	90,92	115,7	144,2	349,1
0,2	102,2	136,5	175,4	217,8	444,9
0,3	42,57	54,72	68,76	84,75	196,6
0,4	35,01	44,72	55,86	68,44	154,1
0,5	29,15	36,81	45,46	55,10	117,9
0,6	20,69	25,13	29,95	35,14	66,05
0,8	18,61	22,77	27,31	32,21	61,77
1	15,13	18,22	21,53	25,07	45,56
1,5	10,69	12,53	14,45	16,46	27,37
2	8,591	9,915	11,28	12,68	20,14
3	6,411	7,234	8,064	8,901	13,23
4	5,299	5,931	6,571	7,218	10,57
5	4,595	5,101	5,610	6,121	8,727
6	4,092	4,523	4,956	5,393	7,649
8	3,429	3,762	4,098	4,438	6,195
10	3,009	3,280	3,553	3,829	5,263
15	2,403	2,598	2,794	2,992	4,028

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)		NaSO <sub>4</sub>		
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,143	1,150	1,154	1,159	1,167
0,02	1,342	1,366	1,382	1,394	1,408
0,03	2,353	2,483	2,572	2,647	2,741
0,04	5,230	5,827	6,299	6,681	7,074
0,05	13,35	16,05	18,49	21,02	24,35
0,06	31,85	40,84	49,72	59,53	72,49
0,08	102,1	143,8	191,4	245,5	308,3
0,1	263,4	413,5	612,8	860,1	1141
0,15	678,7	1193	1994	3118	4412
0,2	631,9	785,6	962,2	1149	1227
0,3	368,5	618,3	975,6	1451	1993
0,4	280,1	455,5	696,8	1005	1341
0,5	204,9	320,2	472,1	657,9	847,9
0,6	104,1	148,3	199,0	254,1	307,4
0,8	98,53	142,5	195,6	256,9	319,4
1	69,91	98,01	130,7	167,4	204,0
1,5	39,47	52,74	67,43	83,18	98,53
2	28,17	36,75	45,94	55,56	64,97
3	17,82	22,65	27,70	32,95	38,39
4	14,06	17,52	20,92	24,42	28,23
5	11,41	14,11	16,85	19,71	22,83
6	10,02	12,39	14,62	16,60	18,45
8	8,024	9,831	11,62	13,57	15,91
10	6,775	8,273	9,689	11,12	12,77
15	5,140	6,284	7,398	8,478	9,619

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
MgSO <sub>4</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,040	1,058	1,069	1,078	1,084	1,090
0,02	1,096	1,138	1,164	1,183	1,198	1,211
0,03	1,311	1,469	1,575	1,656	1,722	1,780
0,04	1,671	2,085	2,397	2,652	2,872	3,069
0,05	2,215	3,070	3,775	4,396	4,965	5,501
0,06	2,804	4,325	5,726	7,065	8,372	9,670
0,08	3,789	6,780	9,978	13,39	17,03	20,89
0,1	4,253	8,334	13,17	18,75	25,12	32,29
0,15	4,066	8,790	15,22	23,52	33,88	46,49
0,2	3,677	7,704	13,09	19,98	28,48	38,75
0,3	3,086	6,291	10,64	16,25	23,23	31,71
0,4	2,751	5,429	9,046	13,68	19,41	26,32
0,5	2,557	4,877	7,945	11,80	16,49	22,05
0,6	2,397	4,446	7,121	10,44	14,44	19,13
0,8	2,226	3,921	6,037	8,570	11,51	14,87
1	2,118	3,574	5,317	7,333	9,612	12,14
1,5	1,935	3,065	4,347	5,763	7,300	8,950
2	1,847	2,802	3,834	4,931	6,085	7,290
3	1,711	2,450	3,212	3,994	4,794	5,610
4	1,616	2,224	2,832	3,442	4,057	4,676
5	1,541	2,060	2,569	3,073	3,575	4,078
6	1,478	1,930	2,370	2,802	3,232	3,660
8	1,388	1,747	2,092	2,429	2,763	3,094
10	1,325	1,624	1,909	2,187	2,461	2,733
15	1,224	1,431	1,630	1,824	2,016	2,208

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)		MgSO <sub>4</sub>		
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,095	1,099	1,104	1,108	1,125
0,02	1,223	1,234	1,244	1,253	1,296
0,03	1,832	1,880	1,926	1,970	2,169
0,04	3,251	3,422	3,586	3,744	4,493
0,05	6,017	6,521	7,020	7,517	10,06
0,06	10,97	12,29	13,64	15,02	22,59
0,08	25,01	29,38	34,03	38,96	68,18
0,1	40,29	49,16	58,92	69,60	138,1
0,15	61,53	79,15	99,53	122,8	287,6
0,2	50,92	65,12	81,47	100,1	230,7
0,3	41,79	53,59	67,18	82,66	190,8
0,4	34,48	43,96	54,81	67,07	150,6
0,5	28,53	35,94	44,31	53,64	114,8
0,6	24,54	30,66	37,52	45,10	93,52
0,8	18,63	22,79	27,34	32,26	61,86
1	14,92	17,93	21,16	24,61	44,58
1,5	10,70	12,54	14,47	16,47	27,41
2	8,539	9,827	11,15	12,50	19,61
3	6,443	7,290	8,151	9,025	13,57
4	5,302	5,935	6,576	7,225	10,59
5	4,583	5,091	5,603	6,120	8,788
6	4,089	4,520	4,955	5,393	7,658
8	3,426	3,760	4,097	4,437	6,199
10	3,005	3,279	3,554	3,832	5,283
15	2,400	2,594	2,790	2,989	4,039



Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) MgSO <sub>4</sub>				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,137	1,143	1,147	1,151	1,159
0,02	1,331	1,356	1,372	1,384	1,401
0,03	2,337	2,464	2,550	2,622	2,712
0,04	5,191	5,803	6,285	6,673	7,075
0,05	12,69	15,22	17,35	19,26	21,48
0,06	31,39	40,90	50,28	59,79	71,30
0,08	105,6	151,3	205,6	270,7	351,6
0,1	235,6	368,8	545,2	767,9	1033
0,15	549,9	952,3	1560	2402	3391
0,2	435,2	738,7	1179	1777	2482
0,3	357,1	598,2	940,8	1392	1906
0,4	273,8	445,0	679,1	978,8	1308
0,5	200,1	312,4	459,1	639,2	830,5
0,6	158,7	242,7	350,4	480,5	615,7
0,8	98,66	142,7	195,8	257,1	319,7
1	68,34	95,71	127,3	162,8	198,8
1,5	39,52	52,81	67,54	83,17	98,09
2	27,13	35,04	43,41	52,13	60,65
3	18,34	23,27	28,33	33,50	38,77
4	14,11	17,66	21,14	24,66	28,41
5	11,56	14,33	17,08	19,94	23,13
6	10,04	12,43	14,66	16,66	18,53
8	8,032	9,844	11,64	13,64	16,03
10	6,822	8,367	9,844	11,32	12,98
15	5,182	6,365	7,513	8,630	9,835

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
CaCO <sub>3</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,019	1,028	1,033	1,036	1,040	1,042
0,02	1,045	1,065	1,076	1,084	1,091	1,096
0,03	1,143	1,207	1,248	1,278	1,302	1,322
0,04	1,321	1,479	1,583	1,662	1,726	1,782
0,05	1,552	1,875	2,111	2,301	2,461	2,604
0,06	1,907	2,494	2,951	3,336	3,676	3,987
0,08	2,763	4,129	5,330	6,441	7,503	8,539
0,1	3,381	5,614	7,814	10,02	12,27	14,58
0,15	3,934	7,507	11,66	16,38	21,71	27,64
0,2	3,679	7,299	11,82	17,27	23,70	31,18
0,3	3,151	6,146	9,957	14,62	20,19	26,74
0,4	2,801	5,397	8,769	12,96	18,02	24,01
0,5	2,584	4,829	7,702	11,23	15,43	20,34
0,6	2,432	4,447	7,005	10,12	13,80	18,07
0,8	2,241	3,914	5,969	8,399	11,20	14,37
1	2,112	3,512	5,153	7,021	9,107	11,40
1,5	1,868	2,795	3,784	4,836	5,956	7,145
2	1,836	2,784	3,815	4,917	6,081	7,303
3	1,705	2,438	3,195	3,974	4,773	5,591
4	1,599	2,199	2,804	3,416	4,035	4,662
5	1,543	2,059	2,563	3,062	3,559	4,057
6	1,469	1,914	2,349	2,778	3,205	3,632
8	1,381	1,729	2,062	2,389	2,714	3,040
10	1,303	1,589	1,867	2,141	2,415	2,689
15	1,211	1,407	1,598	1,786	1,974	2,164

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)		CaCO <sub>3</sub>		
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,044	1,047	1,049	1,051	1,059
0,02	1,101	1,105	1,109	1,113	1,130
0,03	1,340	1,357	1,372	1,387	1,453
0,04	1,833	1,880	1,924	1,967	2,161
0,05	2,735	2,857	2,973	3,085	3,607
0,06	4,279	4,558	4,829	5,093	6,377
0,08	9,566	10,59	11,64	12,70	18,44
0,1	16,96	19,43	22,00	24,68	39,99
0,15	34,19	41,41	49,29	57,86	111,9
0,2	39,76	49,49	60,45	72,67	154,5
0,3	34,30	42,93	52,69	63,62	137,2
0,4	30,97	38,95	47,98	58,11	125,9
0,5	25,98	32,38	39,56	47,51	99,18
0,6	22,93	28,39	34,47	41,15	83,43
0,8	17,91	21,81	26,06	30,65	58,32
1	13,90	16,59	19,47	22,53	40,22
1,5	8,408	9,748	11,17	12,68	21,65
2	8,576	9,895	11,26	12,65	20,12
3	6,429	7,284	8,157	9,046	13,71
4	5,298	5,943	6,597	7,261	10,72
5	4,558	5,063	5,575	6,093	8,797
6	4,060	4,492	4,927	5,367	7,653
8	3,368	3,700	4,038	4,381	6,177
10	2,965	3,243	3,526	3,812	5,320
15	2,357	2,553	2,753	2,959	4,074

**Çizelge 4.6.b. (devamı)**

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)		CaCO <sub>3</sub>		
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,064	1,068	1,071	1,076	1,083
0,02	1,144	1,155	1,162	1,163	1,160
0,03	1,506	1,542	1,565	1,584	1,610
0,04	2,327	2,450	2,529	2,590	2,665
0,05	4,084	4,491	4,801	5,043	5,292
0,06	7,612	8,705	9,583	10,36	11,28
0,08	24,81	31,19	37,15	43,61	52,59
0,1	58,48	78,89	99,75	122,3	150,9
0,15	186,3	282,7	401,9	543,9	707,7
0,2	274,7	438,8	653,6	926,2	1257
0,3	245,5	393,2	587,4	834,1	1128
0,4	224,2	356,5	529,7	747,1	996,0
0,5	170,8	263,9	381,9	525,6	683,8
0,6	139,9	211,1	299,7	405,2	517,7
0,8	92,95	134,4	183,7	240,4	299,2
1	61,32	85,56	113,1	143,2	173,6
1,5	33,45	48,63	67,58	90,32	116,3
2	28,23	36,98	46,40	56,11	65,41
3	18,63	23,65	28,75	34,01	39,47
4	14,34	18,02	21,68	25,46	29,52
5	11,66	14,53	17,22	19,75	22,35
6	10,06	12,49	14,78	16,90	19,00
8	7,996	9,704	11,48	13,68	16,57
10	6,937	8,584	10,21	11,91	13,87
15	5,335	6,677	8,009	9,356	10,89

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
CaSO <sub>4</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,018	1,026	1,031	1,035	1,037	1,040
0,02	1,044	1,063	1,074	1,082	1,088	1,093
0,03	1,138	1,201	1,240	1,268	1,291	1,311
0,04	1,315	1,468	1,569	1,645	1,707	1,761
0,05	1,541	1,856	2,084	2,266	2,421	2,558
0,06	1,882	2,451	2,892	3,263	3,590	3,889
0,08	2,727	4,047	5,200	6,260	7,269	8,252
0,1	3,381	5,614	7,814	10,02	12,27	14,58
0,15	3,900	7,362	11,33	15,81	20,79	26,31
0,2	3,679	7,299	11,82	17,27	23,70	31,18
0,3	3,151	6,146	9,957	14,62	20,19	26,74
0,4	2,801	5,397	8,769	12,96	18,02	24,01
0,5	2,584	4,829	7,702	11,22	15,43	20,34
0,6	2,432	4,447	7,005	10,12	13,80	18,06
0,8	2,252	3,910	5,927	8,296	11,01	14,07
1	2,115	3,527	5,188	7,085	9,207	11,55
1,5	1,938	3,056	4,317	5,705	7,209	8,819
2	1,838	2,784	3,811	4,909	6,070	7,287
3	1,702	2,434	3,190	3,969	4,770	5,590
4	1,597	2,195	2,798	3,409	4,028	4,655
5	1,537	2,050	2,553	3,052	3,550	4,051
6	1,462	1,903	2,336	2,764	3,192	3,622
8	1,372	1,716	2,048	2,376	2,703	3,031
10	1,299	1,581	1,855	2,126	2,398	2,671
15	1,205	1,396	1,584	1,770	1,957	2,147

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) CaSO <sub>4</sub>				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,042	1,044	1,046	1,048	1,056
0,02	1,097	1,101	1,105	1,109	1,125
0,03	1,328	1,344	1,359	1,373	1,436
0,04	1,810	1,856	1,899	1,940	2,128
0,05	2,684	2,801	2,912	3,020	3,521
0,06	4,169	4,435	4,693	4,945	6,163
0,08	9,224	10,19	11,18	12,18	17,57
0,1	16,96	19,43	22,00	24,68	39,99
0,15	32,38	39,02	46,23	54,06	102,8
0,2	39,76	49,49	60,45	72,67	154,4
0,3	34,30	42,93	52,69	63,62	137,2
0,4	30,97	38,95	47,98	58,11	125,9
0,5	25,98	32,38	39,56	47,51	99,18
0,6	22,93	28,39	34,47	41,15	83,43
0,8	17,48	21,22	25,30	29,70	56,24
1	14,09	16,85	19,79	22,92	41,05
1,5	10,53	12,33	14,21	16,17	26,95
2	8,557	9,873	11,23	12,63	20,12
3	6,433	7,288	8,164	9,058	13,75
4	5,293	5,940	6,598	7,266	10,76
5	4,556	5,067	5,584	6,109	8,863
6	4,054	4,491	4,933	5,381	7,727
8	3,364	3,702	4,046	4,397	6,260
10	2,948	3,229	3,516	3,808	5,375
15	2,341	2,539	2,744	2,954	4,118

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) CaSO <sub>4</sub>				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,061	1,064	1,068	1,072	1,079
0,02	1,139	1,149	1,156	1,158	1,155
0,03	1,487	1,522	1,543	1,562	1,587
0,04	2,287	2,406	2,482	2,539	2,611
0,05	3,977	4,363	4,654	4,881	5,118
0,06	7,329	8,357	9,180	9,896	10,73
0,08	23,51	29,39	34,82	40,74	49,05
0,1	58,48	78,89	99,75	122,3	150,9
0,15	168,9	253,1	355,1	475,1	613,9
0,2	274,7	438,8	653,6	926,2	1257
0,3	245,5	393,2	587,4	834,1	1128
0,4	224,2	356,5	529,7	747,1	996,0
0,5	170,8	263,9	381,9	525,6	683,8
0,6	139,9	211,1	299,7	405,2	517,7
0,8	89,56	129,3	176,1	229,7	285,8
1	62,67	87,53	115,9	147,1	178,6
1,5	38,98	52,15	66,61	82,06	97,36
2	28,26	36,97	46,28	55,96	65,47
3	18,72	23,82	29,02	34,37	39,92
4	14,45	18,21	21,97	25,85	30,02
5	11,80	14,76	17,55	20,17	22,89
6	10,23	12,77	15,17	17,38	19,59
8	8,224	10,14	12,08	14,39	17,39
10	7,098	8,882	10,66	12,54	14,77
15	5,471	6,948	8,451	10,01	11,82

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
Ca <sub>5</sub> F(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,016	1,023	1,027	1,030	1,033	1,035
0,02	1,040	1,055	1,065	1,071	1,076	1,080
0,03	1,118	1,172	1,205	1,229	1,249	1,265
0,04	1,273	1,402	1,485	1,548	1,599	1,642
0,05	1,484	1,749	1,934	2,080	2,202	2,310
0,06	1,740	2,210	2,569	2,866	3,124	3,357
0,08	2,556	3,669	4,602	5,439	6,218	6,965
0,1	3,165	5,057	6,839	8,570	10,28	12,00
0,15	3,830	7,066	10,67	14,64	18,98	23,72
0,2	3,676	7,109	11,25	16,10	21,71	28,09
0,3	3,146	6,157	10,01	14,73	20,40	27,06
0,4	2,827	5,400	8,690	12,73	17,57	23,26
0,5	2,600	4,824	7,638	11,06	15,11	19,82
0,6	2,444	4,427	6,908	9,894	13,39	17,43
0,8	2,252	3,910	5,927	8,294	11,01	14,07
1	2,127	3,569	5,278	7,241	9,448	11,89
1,5	1,939	3,059	4,321	5,710	7,215	8,827
2	1,831	2,780	3,814	4,921	6,092	7,319
3	1,695	2,423	3,178	3,957	4,759	5,584
4	1,597	2,193	2,795	3,404	4,022	4,650
5	1,546	2,059	2,558	3,052	3,545	4,040
6	1,462	1,902	2,333	2,760	3,186	3,614
8	1,370	1,710	2,039	2,365	2,690	3,019
10	1,306	1,589	1,862	2,131	2,399	2,669
15	1,196	1,385	1,571	1,758	1,947	2,139



Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,037	1,039	1,041	1,042	1,049
0,02	1,084	1,087	1,090	1,093	1,107
0,03	1,280	1,293	1,306	1,318	1,370
0,04	1,682	1,719	1,754	1,787	1,938
0,05	2,408	2,500	2,587	2,670	3,057
0,06	3,573	3,777	3,972	4,161	5,056
0,08	7,695	8,418	9,142	9,873	13,69
0,1	13,74	15,52	17,34	19,21	29,53
0,15	28,83	34,36	40,30	46,67	85,27
0,2	35,31	43,38	52,36	62,26	127,1
0,3	34,78	43,61	53,59	64,79	140,4
0,4	29,83	37,34	45,81	55,27	118,5
0,5	25,21	31,29	38,10	45,63	94,44
0,6	22,00	27,12	32,78	39,00	78,25
0,8	17,47	21,22	25,29	29,68	56,21
1	14,56	17,45	20,55	23,85	43,04
1,5	10,54	12,34	14,23	16,19	26,98
2	8,597	9,919	11,28	12,68	20,22
3	6,430	7,296	8,182	9,086	13,84
4	5,289	5,940	6,604	7,279	10,84
5	4,539	5,045	5,559	6,082	8,851
6	4,045	4,481	4,922	5,370	7,722
8	3,353	3,694	4,042	4,399	6,296
10	2,942	3,220	3,504	3,795	5,368
15	2,335	2,535	2,741	2,953	4,118

**Çizelge 4.6.b.** (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,054	1,057	1,059	1,063	1,068
0,02	1,119	1,128	1,134	1,135	1,132
0,03	1,412	1,439	1,456	1,472	1,493
0,04	2,065	2,157	2,215	2,259	2,312
0,05	3,398	3,669	3,859	4,010	4,188
0,06	5,891	6,618	7,188	7,653	8,152
0,08	17,69	21,36	24,52	28,01	33,09
0,1	41,28	53,31	64,58	76,23	91,21
0,15	135,2	195,4	264,5	343,8	436,1
0,2	220,4	345,3	503,9	697,4	925,6
0,3	252,0	404,9	607,3	864,9	1169
0,4	209,8	331,4	487,7	682,2	909,3
0,5	162,0	249,4	358,9	491,2	638,1
0,6	130,5	195,8	275,6	370,0	472,9
0,8	89,51	129,2	176,1	229,5	285,6
1	65,93	92,18	122,1	155,6	190,1
1,5	39,01	52,19	66,65	82,12	97,45
2	28,73	38,32	48,31	57,69	65,83
3	18,83	23,89	29,04	34,38	39,96
4	14,62	18,43	22,22	26,16	30,51
5	11,83	14,78	17,48	19,98	22,65
6	10,26	12,87	15,37	17,65	19,79
8	8,254	10,16	12,29	15,05	18,81
10	7,138	9,003	10,85	12,74	14,95
15	5,466	6,961	8,533	10,18	12,03

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
CaF <sub>2</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,015	1,021	1,024	1,027	1,029	1,031
0,02	1,036	1,050	1,059	1,065	1,069	1,073
0,03	1,105	1,151	1,180	1,200	1,217	1,231
0,04	1,240	1,352	1,424	1,477	1,520	1,558
0,05	1,431	1,658	1,814	1,935	2,036	2,124
0,06	1,667	2,077	2,384	2,635	2,851	3,045
0,08	2,422	3,390	4,181	4,878	5,519	6,128
0,1	3,033	4,740	6,311	7,814	9,286	10,75
0,15	3,778	6,890	10,31	14,05	18,11	22,50
0,2	3,655	6,986	10,95	15,55	20,82	26,79
0,3	3,157	6,059	9,667	14,01	19,11	25,03
0,4	2,839	5,396	8,643	12,61	17,34	22,88
0,5	2,600	4,824	7,636	11,06	15,11	19,81
0,6	2,445	4,425	6,900	9,874	13,36	17,37
0,8	2,251	3,908	5,922	8,286	10,99	14,05
1	2,120	3,548	5,236	7,169	9,339	11,74
1,5	1,938	3,057	4,317	5,704	7,206	8,816
2	1,758	2,652	3,648	4,732	5,895	7,129
3	1,690	2,418	3,175	3,957	4,763	5,590
4	1,590	2,185	2,788	3,399	4,019	4,648
5	1,519	2,023	2,523	3,024	3,527	4,036
6	1,447	1,881	2,311	2,740	3,172	3,608
8	1,358	1,699	2,034	2,366	2,698	3,032
10	1,298	1,576	1,846	2,114	2,383	2,655
15	1,199	1,385	1,567	1,749	1,932	2,119

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) CaF <sub>2</sub>				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,033	1,034	1,036	1,038	1,045
0,02	1,076	1,079	1,082	1,085	1,098
0,03	1,244	1,255	1,266	1,277	1,323
0,04	1,591	1,622	1,651	1,679	1,804
0,05	2,204	2,280	2,351	2,420	2,737
0,06	3,223	3,390	3,550	3,704	4,427
0,08	6,720	7,304	7,887	8,473	11,52
0,1	12,22	13,72	15,25	16,83	25,46
0,15	27,24	32,33	37,79	43,64	78,93
0,2	33,49	40,97	49,27	58,41	118,2
0,3	31,79	39,45	48,04	57,59	120,9
0,4	29,25	36,52	44,71	53,85	114,7
0,5	25,19	31,28	38,08	45,61	94,37
0,6	21,92	27,00	32,64	38,81	77,81
0,8	17,45	21,18	25,25	29,63	56,09
1	14,35	17,18	20,21	23,44	42,12
1,5	10,52	12,32	14,21	16,17	26,94
2	8,425	9,777	11,18	12,63	20,39
3	6,437	7,303	8,187	9,088	13,82
4	5,287	5,937	6,596	7,266	10,77
5	4,552	5,076	5,609	6,152	9,027
6	4,049	4,496	4,950	5,412	7,849
8	3,370	3,712	4,059	4,412	6,284
10	2,932	3,215	3,505	3,803	5,436
15	2,312	2,510	2,716	2,929	4,135

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) CaF <sub>2</sub>				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,052	1,058	1,063	1,069	1,077
0,02	1,109	1,118	1,125	1,129	1,129
0,03	1,359	1,382	1,396	1,409	1,427
0,04	1,908	1,983	2,030	2,066	2,111
0,05	3,013	3,225	3,368	3,484	3,625
0,06	5,093	5,663	6,101	6,449	6,817
0,08	14,68	17,54	19,97	22,65	26,63
0,1	35,25	45,17	54,40	64,17	77,25
0,15	124,6	179,4	241,8	313,1	397,2
0,2	204,7	321,7	471,6	655,1	870,9
0,3	212,4	334,2	488,6	678,6	906,8
0,4	202,6	319,2	467,8	651,4	866,7
0,5	161,9	249,0	358,2	490,2	637,1
0,6	129,7	194,5	273,5	366,9	469,2
0,8	89,31	128,9	175,6	228,8	284,8
1	64,42	90,06	119,4	151,9	184,9
1,5	38,96	52,12	66,57	82,02	97,31
2	28,88	38,27	48,93	60,66	72,35
3	18,87	24,17	29,66	35,28	40,97
4	14,49	18,33	22,22	26,19	30,39
5	12,13	15,28	18,31	21,26	24,42
6	10,48	13,19	15,76	18,06	20,18
8	8,327	10,48	12,67	14,97	17,59
10	7,286	9,242	11,23	13,44	16,20
15	5,579	7,180	8,825	10,57	12,72

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)					
	ZnSO <sub>4</sub>					
	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,006	1,011	1,014	1,016	1,017	1,017
0,02	1,014	1,020	1,024	1,027	1,029	1,031
0,03	1,044	1,062	1,073	1,080	1,087	1,092
0,04	1,097	1,138	1,163	1,181	1,195	1,207
0,05	1,179	1,257	1,305	1,340	1,369	1,393
0,06	1,282	1,417	1,504	1,570	1,624	1,670
0,08	1,557	1,877	2,107	2,290	2,444	2,581
0,1	1,924	2,526	2,995	3,391	3,742	4,063
0,15	3,259	5,306	7,276	9,220	11,17	13,14
0,2	3,243	5,447	7,698	10,03	12,48	15,06
0,3	2,839	5,141	7,869	11,03	14,63	18,71
0,4	2,618	4,685	7,161	10,05	13,36	17,12
0,5	2,480	4,363	6,612	9,226	12,21	15,58
0,6	2,261	3,865	5,769	7,966	10,46	13,23
0,8	2,129	3,521	5,134	6,954	8,975	11,19
1	1,936	3,042	4,283	5,643	7,114	8,686
1,5	1,833	2,766	3,778	4,858	6,002	7,204
2	1,687	2,407	3,155	3,932	4,735	5,565
3	1,600	2,190	2,782	3,381	3,990	4,614
4	1,505	1,998	2,490	2,985	3,487	3,998
5	1,442	1,863	2,279	2,696	3,119	3,551
6	1,344	1,669	1,989	2,310	2,634	2,966
8	1,290	1,555	1,811	2,067	2,325	2,589
10	1,175	1,346	1,519	1,696	1,879	2,070
15	1,006	1,011	1,014	1,016	1,017	1,017

**Çizelge 4.6.b.** (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) ZnSO <sub>4</sub>				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,017	1,017	1,017	1,017	1,018
0,02	1,032	1,034	1,036	1,037	1,044
0,03	1,096	1,101	1,105	1,109	1,126
0,04	1,218	1,228	1,237	1,246	1,285
0,05	1,415	1,435	1,455	1,473	1,556
0,06	1,712	1,750	1,787	1,822	1,981
0,08	2,705	2,821	2,931	3,037	3,528
0,1	4,364	4,652	4,930	5,203	6,531
0,15	15,14	17,20	19,32	21,51	33,63
0,2	17,79	20,68	23,76	27,04	46,84
0,3	23,26	28,33	33,92	40,06	79,78
0,4	21,32	25,99	31,14	36,79	72,87
0,5	19,34	23,50	28,07	33,06	64,54
0,6	16,30	19,66	23,32	27,26	51,19
0,8	13,59	16,18	18,94	21,87	38,88
1	10,35	12,11	13,95	15,86	26,39
1,5	8,460	9,768	11,12	12,52	20,12
2	6,421	7,303	8,210	9,142	14,15
3	5,252	5,906	6,579	7,269	10,99
4	4,520	5,054	5,601	6,162	9,199
5	3,992	4,446	4,914	5,396	8,036
6	3,306	3,657	4,019	4,394	6,465
8	2,861	3,142	3,435	3,740	5,487
10	2,269	2,477	2,696	2,927	4,280
15	1,017	1,017	1,017	1,017	1,018

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) ZnSO <sub>4</sub>				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,020	1,021	1,022	1,021	1,021
0,02	1,048	1,050	1,050	1,050	1,052
0,03	1,140	1,149	1,153	1,155	1,157
0,04	1,316	1,337	1,350	1,361	1,377
0,05	1,624	1,670	1,698	1,720	1,750
0,06	2,115	2,213	2,275	2,321	2,378
0,08	3,970	4,340	4,613	4,818	5,030
0,1	7,818	8,965	9,856	10,53	11,23
0,15	47,45	61,56	74,84	88,66	106,2
0,2	72,36	101,6	132,6	169,0	218,7
0,3	136,4	212,4	309,8	430,8	577,5
0,4	122,8	187,2	266,0	357,8	459,1
0,5	107,3	161,6	227,7	305,4	393,6
0,6	81,87	119,1	162,5	211,0	261,4
0,8	59,23	82,36	108,1	136,5	166,7
1	38,17	51,02	65,01	80,05	95,35
1,5	28,49	37,48	46,98	56,97	67,34
2	19,59	25,24	31,01	37,05	43,54
3	14,99	19,05	23,27	28,16	34,15
4	12,58	16,11	19,49	22,70	26,03
5	10,96	13,91	16,79	19,97	23,98
6	8,802	11,24	13,88	17,14	21,53
8	7,600	9,903	12,18	14,60	17,69
10	6,020	8,144	10,59	13,44	17,09
15	1,020	1,021	1,022	1,021	1,021



Çizelge 4.6.b. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
CdSO <sub>4</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,006	1,004	1,004	1,004	1,004	1,003
0,02	0,996	0,996	0,996	0,996	0,997	0,997
0,03	1,317	1,607	1,930	2,312	2,785	3,387
0,04	1,338	1,470	1,532	1,565	1,585	1,599
0,05	1,285	1,326	1,333	1,334	1,334	1,335
0,06	1,055	1,083	1,102	1,117	1,128	1,139
0,08	1,129	1,175	1,202	1,223	1,241	1,258
0,1	1,215	1,301	1,357	1,400	1,437	1,472
0,15	1,602	1,852	2,015	2,143	2,254	2,357
0,2	1,949	2,461	2,833	3,140	3,412	3,665
0,3	2,481	3,530	4,423	5,239	6,018	6,784
0,4	2,630	4,007	5,298	6,556	7,815	9,096
0,5	2,599	4,074	5,527	6,994	8,500	10,06
0,6	2,527	4,017	5,532	7,099	8,736	10,46
0,8	2,362	3,750	5,190	6,696	8,277	9,941
1	2,219	3,492	4,831	6,241	7,728	9,298
1,5	1,923	2,931	4,010	5,156	6,365	7,635
2	1,846	2,752	3,712	4,727	5,795	6,918
3	1,676	2,372	3,094	3,846	4,630	5,449
4	1,543	2,096	2,666	3,259	3,878	4,525
5	1,461	1,920	2,392	2,881	3,392	3,929
6	1,385	1,768	2,162	2,570	2,998	3,448
8	1,286	1,568	1,857	2,159	2,478	2,816
10	1,225	1,447	1,677	1,919	2,178	2,456
15	1,129	1,256	1,389	1,531	1,687	1,860

**Çizelge 4.6.b. (devamı)**

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) CdSO <sub>4</sub>				
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,004	1,003	1,003	1,003	1,004
0,02	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
0,03	4,169	5,205	6,597	8,493	37,80
0,04	1,608	1,616	1,623	1,629	1,652
0,05	1,335	1,335	1,335	1,336	1,337
0,06	1,148	1,156	1,163	1,171	1,202
0,08	1,274	1,289	1,304	1,318	1,389
0,1	1,505	1,537	1,569	1,601	1,763
0,15	2,455	2,551	2,646	2,740	3,208
0,2	3,908	4,146	4,383	4,620	5,857
0,3	7,553	8,336	9,142	9,977	14,75
0,4	10,42	11,79	13,22	14,73	23,60
0,5	11,69	13,42	15,23	17,16	28,65
0,6	12,28	14,21	16,27	18,45	31,61
0,8	11,69	13,55	15,50	17,56	29,55
1	10,95	12,70	14,54	16,48	27,59
1,5	8,965	10,35	11,79	13,29	21,53
2	8,095	9,327	10,61	11,95	19,41
3	6,305	7,200	8,135	9,111	14,62
4	5,203	5,915	6,663	7,448	11,98
5	4,494	5,091	5,722	6,389	10,35
6	3,922	4,424	4,955	5,519	8,891
8	3,177	3,563	3,979	4,425	7,225
10	2,758	3,085	3,443	3,833	6,415
15	2,052	2,267	2,509	2,783	4,820

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp) CdSO <sub>4</sub>				
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	0,971	2,709	-----	44671	-----
0,02	0,998	0,736	59,53	-----	201654
0,03	229,5	1691	13797	116272	972021
0,04	1,668	1,680	1,687	1,690	1,689
0,05	1,340	1,343	1,346	1,347	1,348
0,06	1,228	1,246	1,258	1,268	1,282
0,08	1,448	1,483	1,501	1,521	1,560
0,1	1,920	2,045	2,121	2,177	2,263
0,15	3,611	3,865	4,014	4,213	4,584
0,2	7,139	8,281	9,180	10,07	11,38
0,3	20,51	26,55	32,17	38,41	48,11
0,4	34,77	47,15	59,63	74,04	95,29
0,5	43,36	60,03	77,43	97,73	126,4
0,6	48,45	67,46	87,41	110,8	143,1
0,8	43,87	59,07	74,81	93,21	117,1
1	40,51	53,97	67,96	84,21	104,5
1,5	30,63	40,08	49,70	59,71	70,23
2	27,79	36,51	45,57	55,52	66,77
3	21,01	27,79	34,72	42,29	51,32
4	17,49	23,63	29,89	36,30	43,63
5	15,37	21,16	27,18	33,48	40,99
6	13,26	18,43	23,99	29,95	37,14
8	11,14	16,14	21,96	28,85	38,13
10	10,37	15,92	23,02	32,11	45,15
15	8,652	15,46	26,65	44,76	76,56

Çizelge 4.6.b. (devamı)

Nüfuz derinliği (mfp)						
BaSO <sub>4</sub>						
Enerji (MeV)	X=1	X=2	X=3	X=4	X=5	X=6
0,015	1,004	1,006	1,007	1,008	1,009	1,010
0,02	1,004	1,006	1,008	1,009	1,010	1,011
0,04	1,508	1,744	1,867	1,935	1,975	2,001
0,05	1,432	1,494	1,502	1,503	1,504	1,503
0,06	1,165	1,242	1,284	1,309	1,325	1,336
0,08	1,189	1,234	1,260	1,281	1,300	1,319
0,1	1,142	1,188	1,214	1,233	1,249	1,264
0,15	1,311	1,453	1,548	1,621	1,684	1,741
0,2	1,592	1,855	2,028	2,160	2,273	2,374
0,3	2,113	2,743	3,213	3,604	3,953	4,278
0,4	2,403	3,381	4,194	4,919	5,594	6,242
0,5	2,473	3,640	4,683	5,664	6,613	7,553
0,6	2,473	3,727	4,897	6,030	7,152	8,281
0,8	2,369	3,614	4,816	6,004	7,196	8,405
1	2,250	3,441	4,623	5,813	7,024	8,265
1,5	1,916	2,880	3,888	4,937	6,027	7,158
2	1,858	2,745	3,670	4,637	5,650	6,711
3	1,709	2,402	3,106	3,832	4,587	5,378
4	1,599	2,163	2,727	3,306	3,910	4,546
5	1,617	2,157	2,678	3,204	3,746	4,315
6	1,520	1,981	2,428	2,878	3,341	3,826
8	1,459	1,854	2,234	2,618	3,018	3,440
15	1,412	1,797	2,192	2,616	3,080	3,597

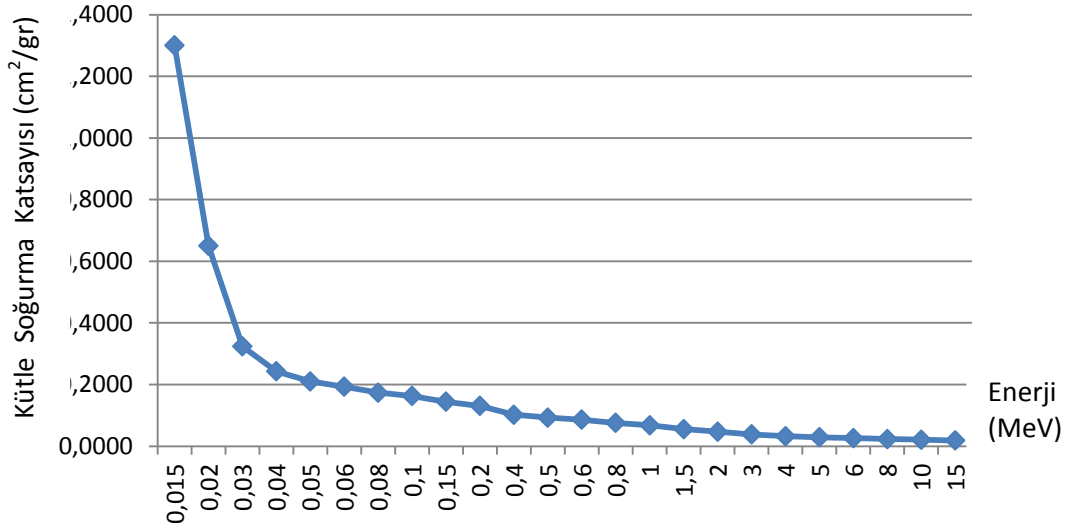
**Çizelge 4.6.b.** (devamı)

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)		BaSO <sub>4</sub>		
	X=7	X=8	X=9	X=10	X=15
0,015	1,010	1,011	1,012	1,012	1,015
0,02	1,011	1,012	1,013	1,014	1,017
0,04	2,019	2,032	2,043	2,051	2,082
0,05	1,504	1,504	1,504	1,504	1,506
0,06	1,344	1,350	1,355	1,359	1,374
0,08	1,338	1,357	1,377	1,397	1,507
0,1	1,277	1,291	1,303	1,316	1,374
0,15	1,794	1,845	1,895	1,944	2,177
0,2	2,468	2,559	2,648	2,735	3,161
0,3	4,590	4,895	5,198	5,502	7,069
0,4	6,877	7,509	8,144	8,788	12,21
0,5	8,496	9,454	10,43	11,44	17,03
0,6	9,429	10,61	11,82	13,08	20,18
0,8	9,639	10,91	12,22	13,57	21,09
1	9,543	10,86	12,23	13,65	21,58
1,5	8,329	9,539	10,79	12,08	19,05
2	7,824	8,990	10,21	11,49	18,79
3	6,210	7,086	8,012	8,991	14,75
4	5,220	5,938	6,706	7,529	12,61
5	4,919	5,565	6,260	7,011	11,80
6	4,339	4,885	5,470	6,100	10,06
8	3,894	4,385	4,921	5,508	9,480
15	4,178	4,839	5,594	6,461	13,28

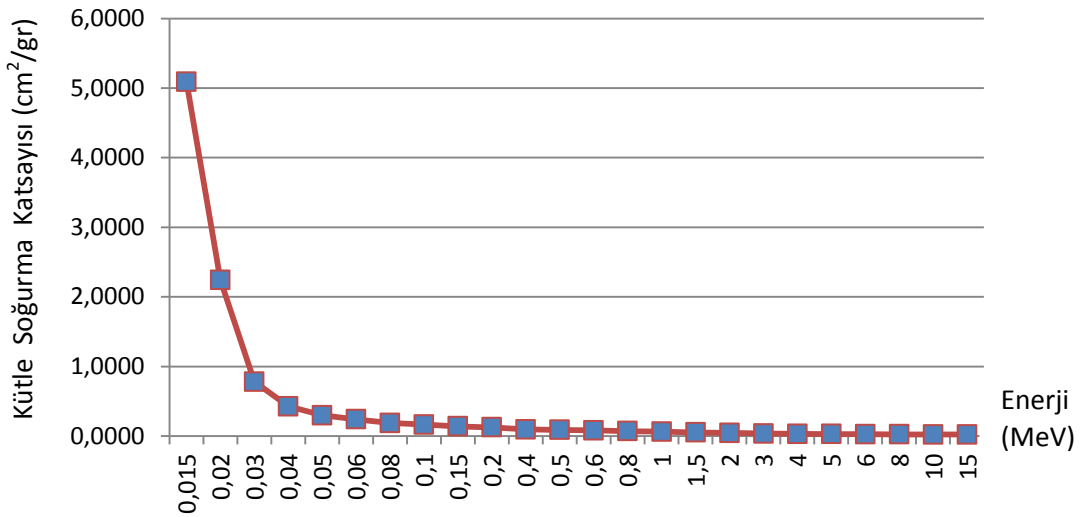
**Çizelge 4.6.b. (devamı)**

Enerji (MeV)	Nüfuz derinliği (mfp)		BaSO <sub>4</sub>		
	X=20	X=25	X=30	X=35	X=40
0,015	1,019	1,021	1,023	1,024	1,024
0,02	1,020	1,022	1,024	1,025	1,027
0,04	2,104	2,119	2,130	2,136	2,138
0,05	1,509	1,514	1,518	1,521	1,522
0,06	1,383	1,386	1,386	1,383	1,382
0,08	1,630	1,749	1,866	2,027	2,327
0,1	1,417	1,439	1,449	1,464	1,496
0,15	2,373	2,500	2,578	2,670	2,827
0,2	3,557	3,871	4,090	4,288	4,565
0,3	8,656	9,998	10,95	11,79	13,05
0,4	15,89	19,29	22,00	24,57	28,18
0,5	23,45	29,87	35,45	40,92	48,31
0,6	28,52	37,09	44,89	52,69	62,97
0,8	29,71	38,53	46,63	54,67	64,59
1	30,74	40,25	49,27	58,36	69,27
1,5	26,71	34,59	42,35	50,08	58,17
2	27,38	36,56	45,66	55,06	65,85
3	21,83	29,36	36,50	43,88	53,29
4	19,34	26,89	34,22	42,03	52,84
5	18,51	26,33	33,97	42,25	54,76
6	15,57	22,10	28,69	35,80	46,01
8	15,76	24,44	34,69	47,15	66,52
15	27,10	52,52	94,01	161,9	291,4

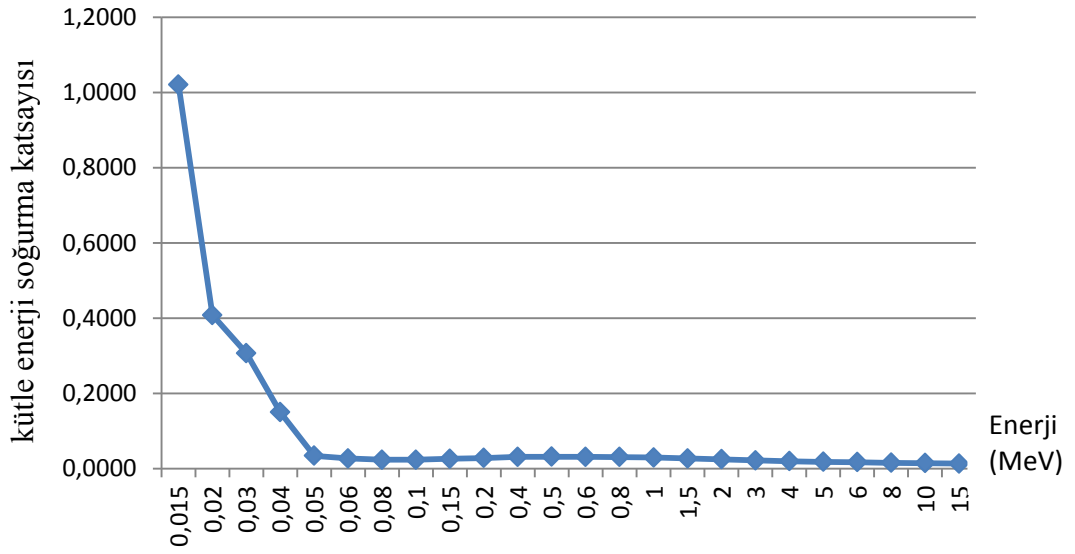
$C_2H_5NO_2$  ve  $Mg_2SiO_4$  bileşikleri için kütle soğurma katsayıları, kütle enerji soğurma katsayıları, toplam atomik ve elektronik tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve Buildup faktörlerinin enerjiye bağlı değişimleri Şekil 4.1, Şekil 4.12’de verilmiştir.



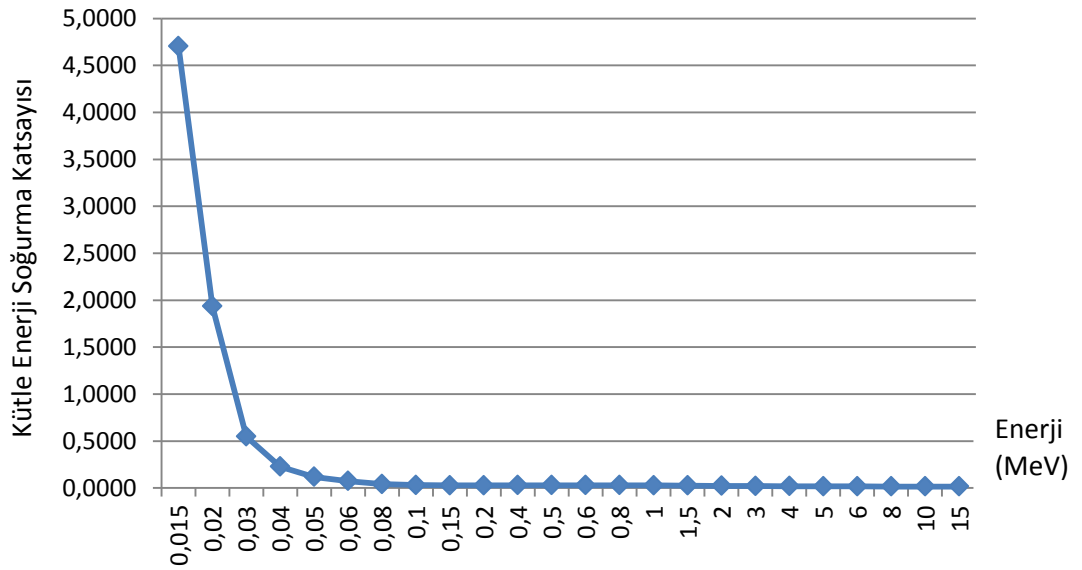
Şekil 4.1.  $C_2H_5NO_2$  için kütle soğurma katsayısının enerjiyle değişimi.



Şekil 4.2.  $Mg_2SiO_4$  için kütle soğurma katsayısının enerjiyle değişimi

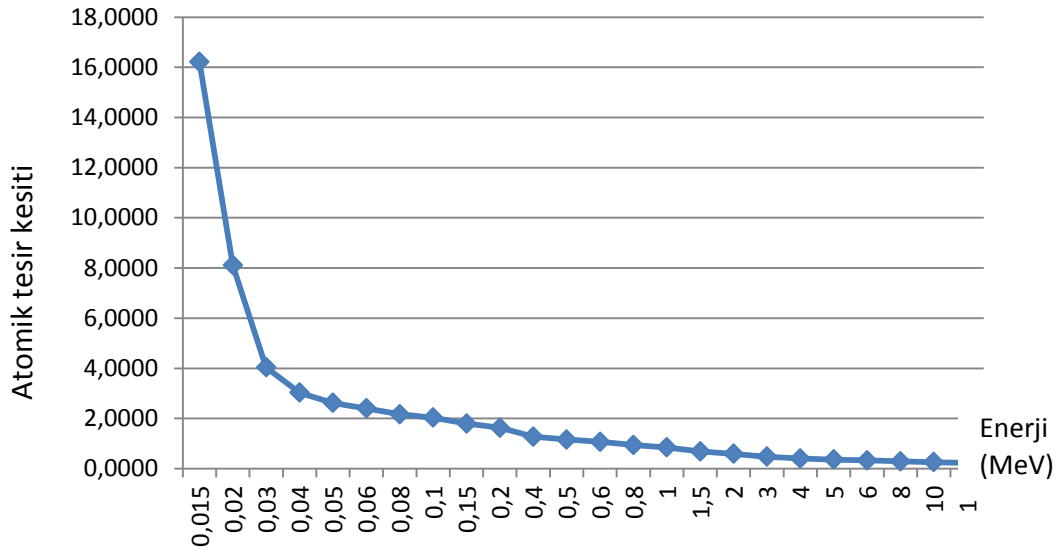


Şekil 4.3.  $C_2H_5NO_2$  için kütle enerji soğurma katsayısının enerjiyle değişimi.

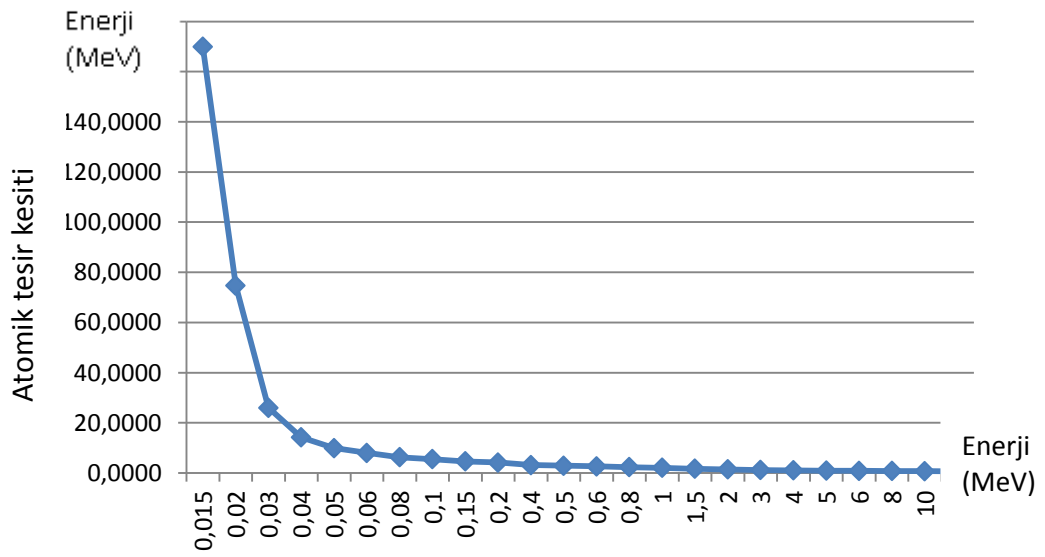


Şekil 4.4.  $Mg_2SiO_4$  için kütle enerji soğurma katsayısının enerjiyle değişimi.

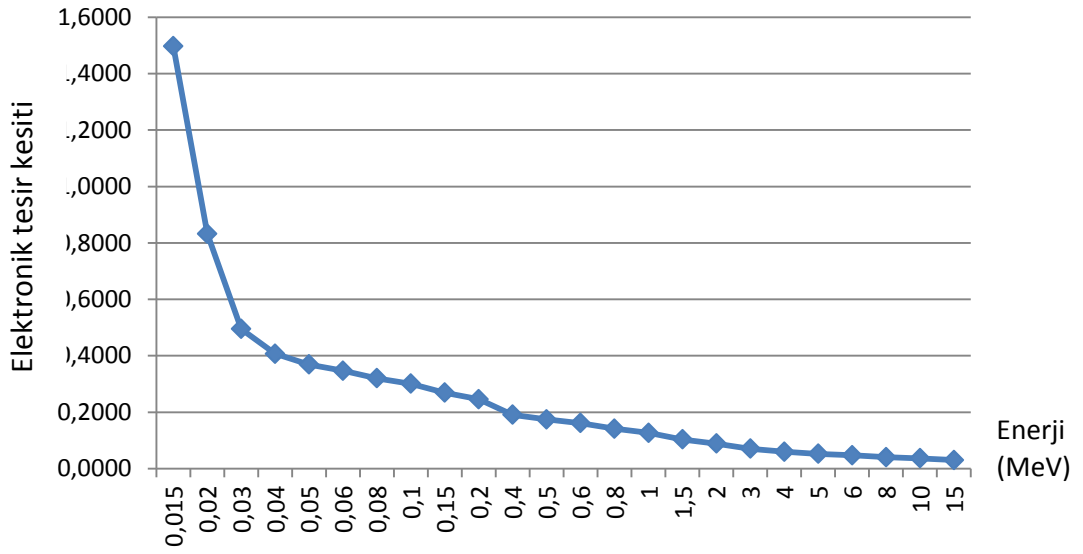




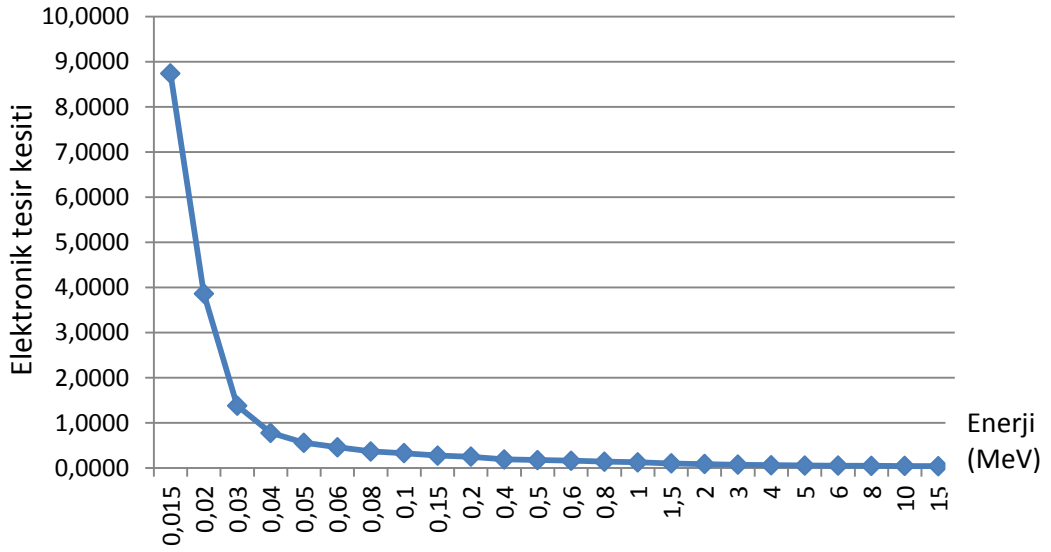
Şekil 4.5.  $C_2H_5NO_2$  için atomik tesir kesitinin enerjiyle değişimi.



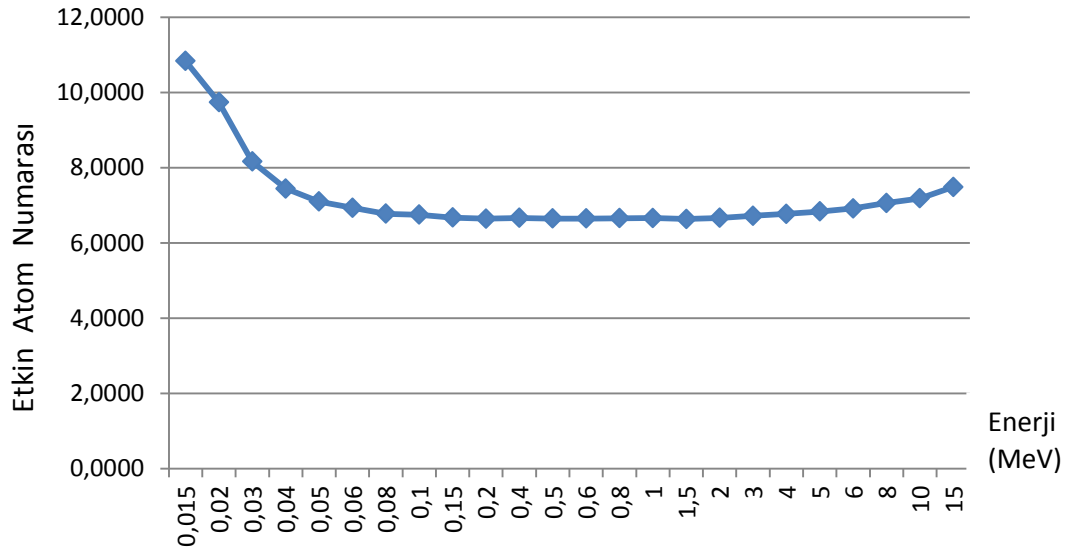
Şekil 4.6.  $Mg_2SiO_4$  için atomik tesir kesitinin enerjiyle değişimi



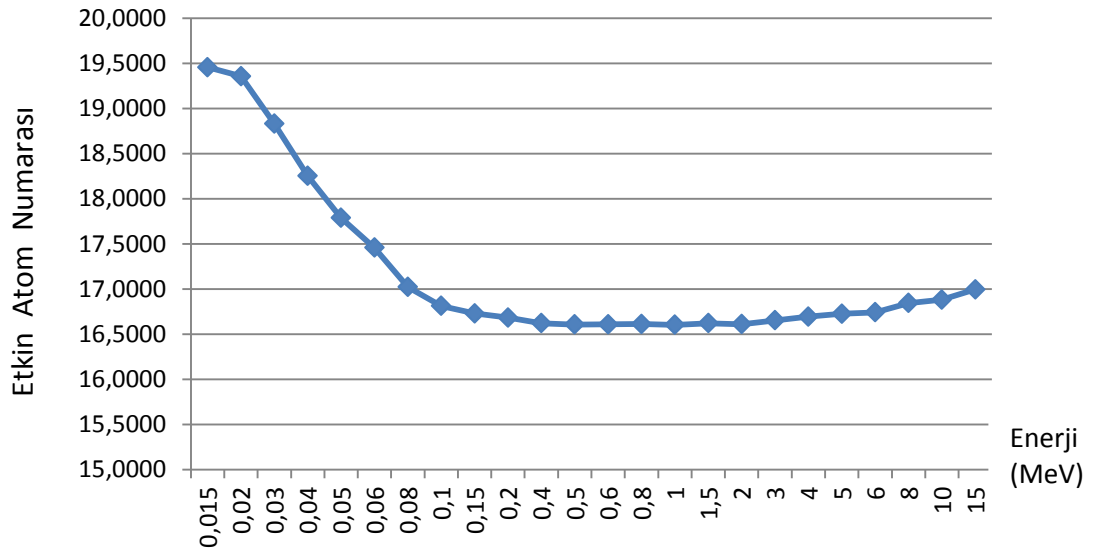
Şekil 4.7.  $C_2H_5NO_2$  için elektronik tesir kesitinin enerjiyle değişimi.



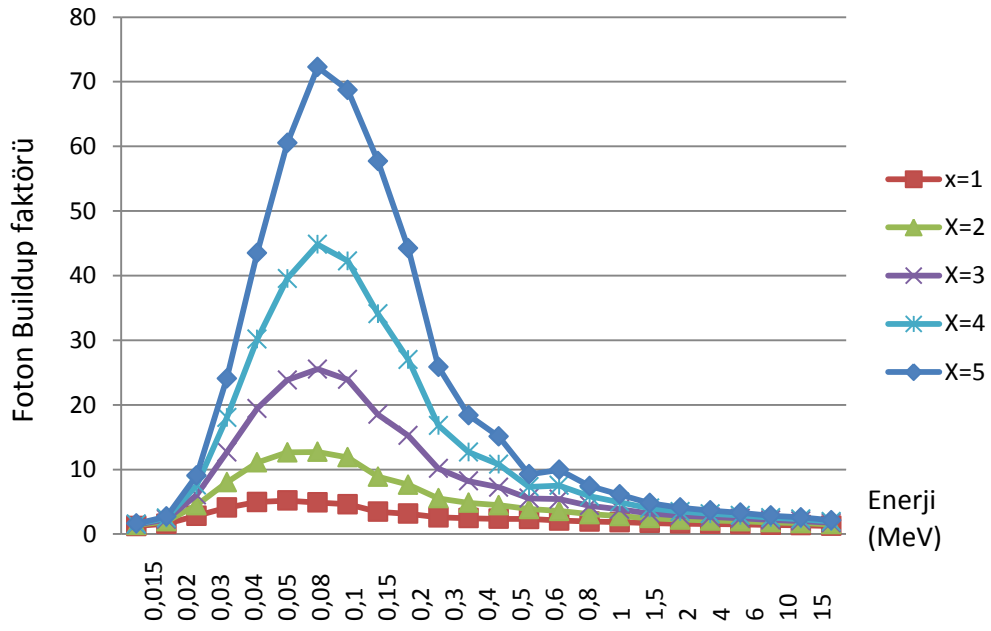
Şekil 4.8.  $Mg_2SiO_4$  için elektronik tesir kesitinin enerjiyle değişimi.



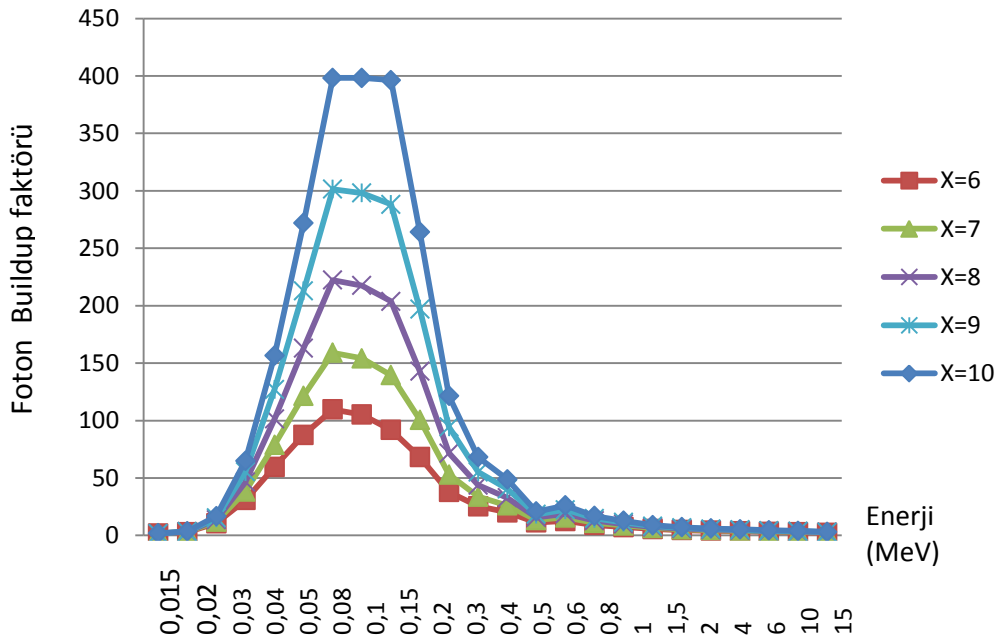
Şekil 4.9.  $C_2H_5NO_2$  için etkin atom numarasının enerjiyle değişimi.



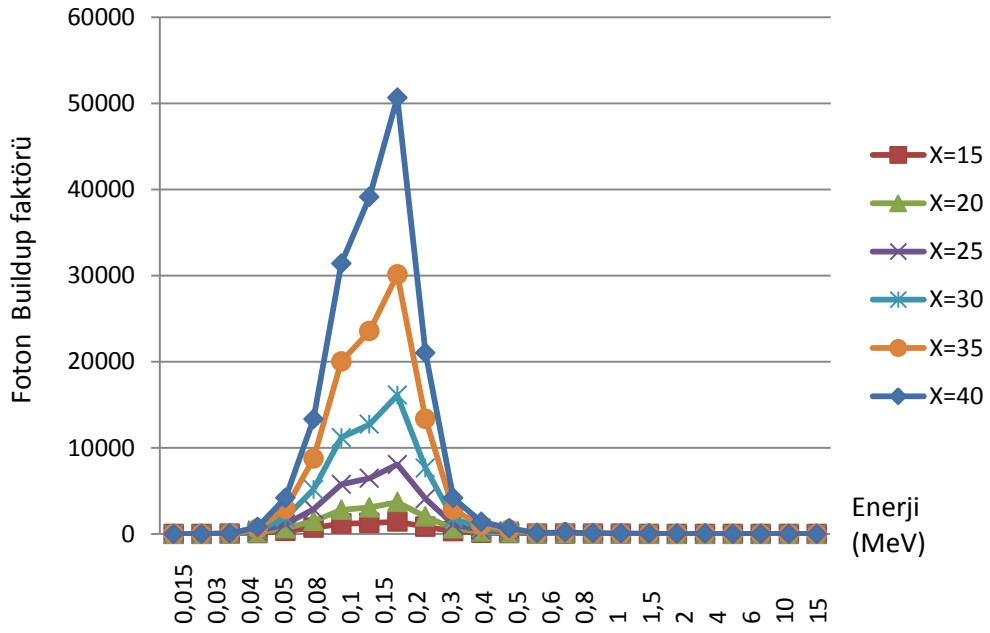
Şekil 4.10.  $Mg_2SiO_4$  için etkin atom numarasının enerjiyle değişimi.



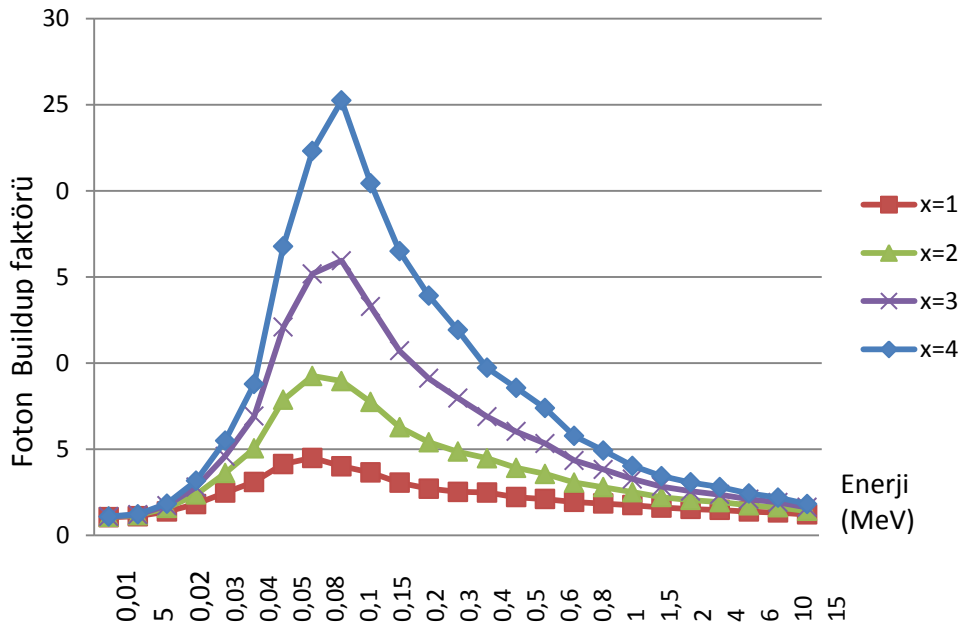
Şekil 4.11.a. C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>2</sub> için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi (x=1-5).



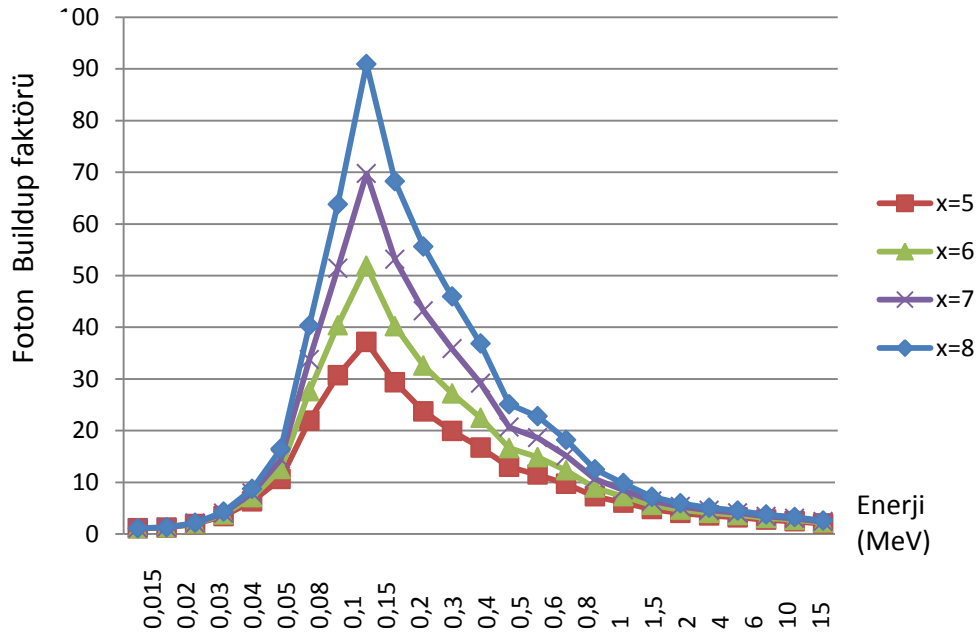
Şekil 4.11.b. C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>2</sub> için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi (x=6-10).



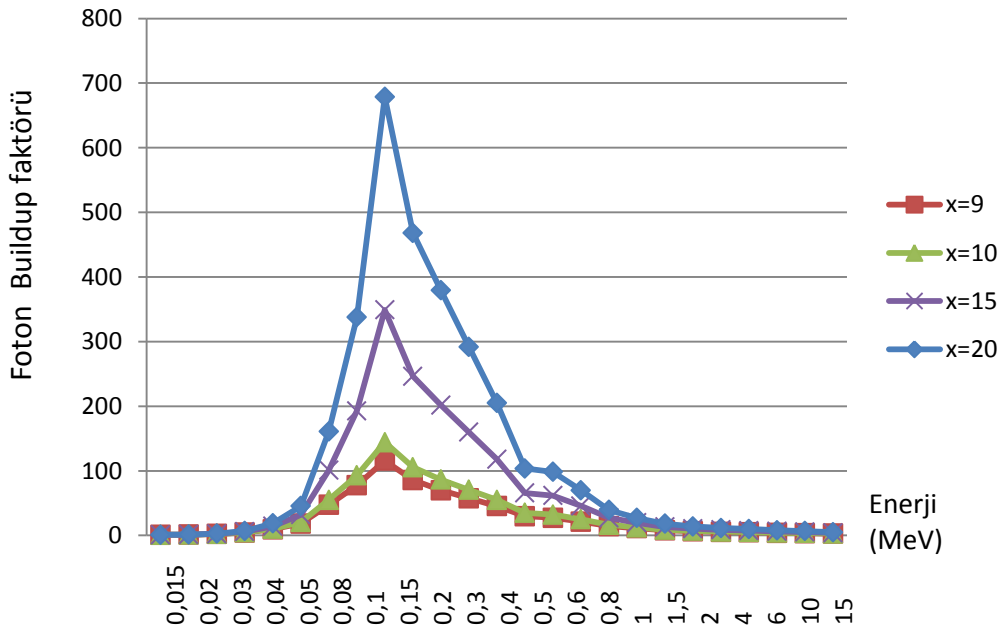
Şekil 4.11.c.  $C_2H_5NO_2$  için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=15-40$ ).



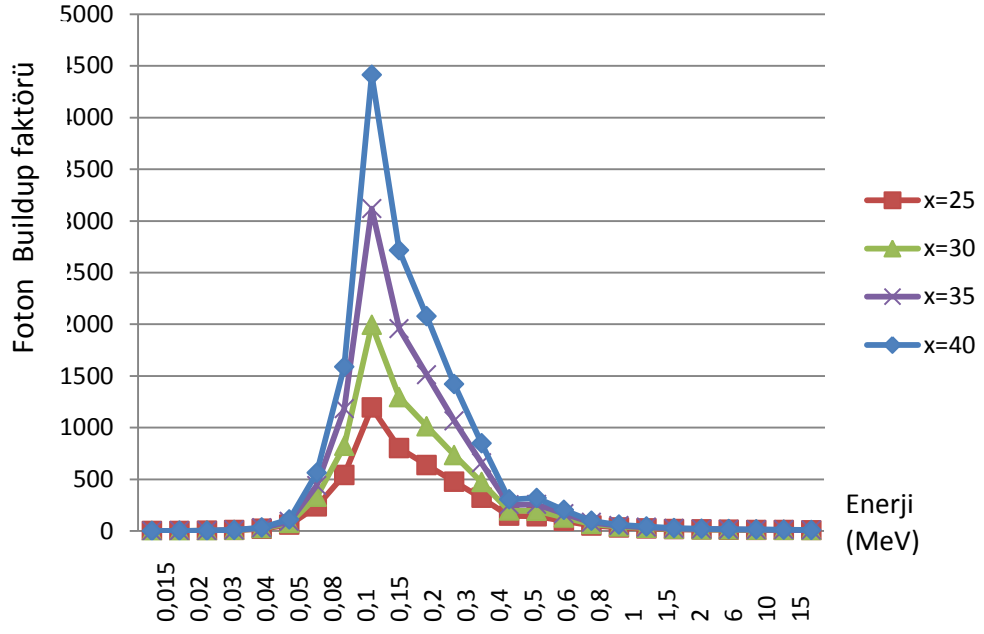
Şekil 4.12.a.  $Mg_2SiO_4$  için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=1-4$ ).



Şekil 4.12.b.  $Mg_2SiO_4$  için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=5-8$ ).



Şekil 4.12.c.  $Mg_2SiO_4$  için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=9-20$ ).



Şekil 4.12.d.  $Mg_2SiO_4$  için foton buildup faktörünün enerjiyle değişimi ( $x=25-40$ ).

## 5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında 0,015-15 MeV enerji aralığında  $MgSO_4$ ,  $CdSO_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mg_2SiO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaF_2$ ,  $NaSO_4$ ,  $Na_4P_2O_7$ ,  $Ca_5F(PO_4)_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$  ve  $BaSO_4$  termoluminesans dozimetrik bileşiklerinin ve  $C_2H_5NO_2$  (glycine),  $C_3H_7NO_2$  (alanine),  $C_5H_9NO_2$  (proline) ve  $C_6H_{13}NO_2$  (lucine) aminoasitlerinin kütle soğurma katsayıları, kütle enerji soğurma katsayıları, etkin atom numaraları, atomik ve elektronik tesir kesitleri ve foton buildup (kuvvetlendirme) faktörleri teorik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 4.1, 4.6 ve Şekil 4.1, 4.12’de verilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle WinXCom programı yardımıyla  $MgSO_4$ ,  $CdSO_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mg_2SiO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaF_2$ ,  $NaSO_4$ ,  $Na_4P_2O_7$ ,  $Ca_5F(PO_4)_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$  ve  $BaSO_4$  termoluminesans dozimetrik bileşiklerinin ve  $C_2H_5NO_2$  (glycine),  $C_3H_7NO_2$  (alanine),  $C_5H_9NO_2$  (proline) ve  $C_6H_{13}NO_2$  (lucine) aminoasitlerinin  $R$  ( $\sigma_{comp}/\sigma_{total}$ ) değerleri hesaplandı. Daha sonra  $1 \leq Z \leq 56$  olan elementler için  $R$  ( $\sigma_{comp}/\sigma_{total}$ ) değerleri hesaplanarak bir veri havuzu oluşturuldu. İncelenen bileşiğin  $R$  ( $\sigma_{comp}/\sigma_{total}$ ) değerine alt ve üst sınırdan en yakın elementlerin  $R$  ( $\sigma_{comp}/\sigma_{total}$ ) değerleri seçilerek bunlar  $R_1$  ve  $R_2$  olarak belirlendi. Seçilen elementlerin atom numaraları da kullanılarak (2.22) bağıntısından ( $Z_{eq}$ ) değerleri bulundu. ANSI-ANS 6.4.3 standart referans veri tabanından çeşitli elementlere (Be, B, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Ar, K, Ca, Fe, Cu, Mo, Sn, La, Gd, W, Pb ve U) ait G-P fit parametreleri bulunup, (2.23) bağıntısından faydalanarak incelenen her bir bileşik için G-P fit parametreleri ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $X_k$ ) hesaplandı. Burada ( $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$ ,  $d_1$ ,  $X_{k1}$ ) ve ( $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$ ,  $d_2$ ,  $X_{k2}$ ) olarak  $R_1$  ve  $R_2$  değerleri için seçilen elementlere ait G-P fit parametre değerleri kullanıldı. Bulunan bu değerler vasıtasıyla 2.26 denklemini kullanılarak ve nüfuz derinliğine bağlı olarak foton maruz kalma (exposure) faktörü ( $K(E,x)$ ) hesaplandı. Burada  $K=1$  için (2.25) denklemini ve  $K \neq 1$  için (2.24) denklemini kullanılarak foton absorpsiyon buildup faktörü ( $B(E,x)$ ) hesaplandı.  $C_2H_5NO_2$  (glycine),  $C_3H_7NO_2$  (alanine),  $C_5H_9NO_2$  (proline) ve  $C_6H_{13}NO_2$  (lucine) aminoasitleri için bulunan buildup faktörlerinin enerjiye bağlı grafikleri çizildiğinde 0,03 MeV-0,6 MeV enerji aralığında buildup değerlerinin baskın olduğu görüldü. Şekil (2.2)’den anlaşılacağı gibi bu enerji aralığında fotonun madde ile



etkileşmesinde fotoelektrik olay baskındır.  $MgSO_4$ ,  $CdSO_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mg_2SiO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaF_2$ ,  $NaSO_4$ ,  $Na_4P_2O_7$ ,  $Ca_5F(PO_4)_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$  ve  $BaSO_4$  termolüminesans dozimetrik bileşikleri için ilgili grafikler oluşturulduğunda,  $CdSO_4$  ve  $BaSO_4$  hariç diğer bileşiklerin, buildup faktörlerinin, 0,04 MeV-3 MeV enerji aralığında baskın olduğu gözlemlendi.  $CdSO_4$  ve  $BaSO_4$  bileşiklerinin foton buildup faktörlerinin 0,1 MeV-10 MeV arasında baskın olduğu gözlemlendi. Bu enerji aralığında saçılma olayının baskın olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada kütle soğurma katsayıları WinXCom programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tüm termolüminesans dozimetrik bileşikler ve aminoasitler için çok düşük enerjilerde kütle soğurma katsayılarının değeri yüksek iken enerji değerinin artması ile kütle soğurma katsayısının üstel olarak azaldığı gözlenmiştir. Aminoasitlerin kütle soğurma katsayısının sayısal değerleri, termolüminesans dozimetrik bileşiklere göre çok küçüktür. Bunun sebebi hafif elementlerden müteşekkil olmalarındandır. Kütle soğurma katsayısının yüksek olduğu 0,01 MeV-0,5 MeV enerji aralığında fotoelektrik olay baskındır.

Kütle enerji soğurma katsayıları hesaplanırken WinXCom programından  $MgSO_4$ ,  $CdSO_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mg_2SiO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaF_2$ ,  $NaSO_4$ ,  $Na_4P_2O_7$ ,  $Ca_5F(PO_4)_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$  ve  $BaSO_4$  termolüminesans dozimetrik bileşikleri ve  $C_2H_5NO_2$  (glycine),  $C_3H_7NO_2$  (alanine),  $C_5H_9NO_2$  (proline) ve  $C_6H_{13}NO_2$  (lucine) aminoasitlerine her bir elementin katkısı bulundu. (3.6) bağıntısı kullanılarak kütle enerji soğurma katsayıları hesaplandı. Kütle enerji soğurma katsayılarının verildiği çizelge ve şekillerden görüldüğü üzere, kütle enerji soğurma katsayıları enerjiye bağlı olarak üstel azalmaktadır. Aminoasitlerin kütle enerji soğurma katsayıları termolüminesans dozimetrik bileşiklere nazaran daha küçüktür. Kütle enerji soğurma katsayısının yüksek olduğu 0,01-0,5 MeV enerji aralığında fotoelektrik olay baskındır.

Termolüminesans dozimetrik bileşikler ve aminoasitlerin atomik tesir kesitlerinin hesaplanan değerlerinin enerjiye bağlı değişimleri incelendiğinde üstel olarak azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. Bu, atomik tesir kesitinin kütle soğurma katsayısına

bağılılığından kaynaklanmaktadır. Aminoasitlerin atomik tesir kesiti değerleri termolüminesans dozimetrik bileşiklere göre çok daha küçüktür.

Elektronik tesir kesitlerinin enerjiye bağlı değişimlerinin incelenmesinden görülmüştür ki enerjiyle elektronik tesir kesitleri üstel olarak azalmaktadır. Ayrıca, aminoasitlerin elektronik tesir kesitleri termolüminesans dozimetrik bileşiklere göre çok daha küçük değerlerde bulunmaktadır.

Etkin atom numarası atomik tesit kesitinin elektronik tesir kesitine oranı ile hesaplanmıştır. Etkin atom numarası enerjiyle üstel olarak azalmaktadır, fakat atomik ve elektronik tesit kesitlerinde olduğu gibi keskin düşüşler gözlemlenmiştir. Atomik ve elektronik tesir kesitlerinin kütle soğurma katsayısına bağılılığından dolayı  $Z_{etkin}$  de fotoelektrik olayın baskın olduğu enerji aralığı bölgesinde baskındır.

**KAYNAKLAR**

- Aksözen, M.T., Varay, K., Menteş, S., Gündag, M., Erođlu, C., 2012, LiF termoluminesans dozimetrelerin gama ışınları ile kalibrasyonu, Türk Onkoloji Dergisi 27, 24-28.
- Angelone M., Esposito A., Chiti M., Gentile A., 2001. Measurement of mass attenuation coefficients for four mixtures using X-rays from 13 keV up to 40 keV, Radiation Physics and Chemistry, 61, 547-548.
- ANSI/ANS-6.4.3. 1991. Gama ray attenuation coefficient and buildup factors for engineering materials, American Nuclear Society, La Grange Park, Illinois.
- Bertin, E., 1975. Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis.
- Davissou, C.M., Evans, R.D., 1952, Gamma-Ray Absorption Coefficients. Reviews of Modern Physics, 24, 79-107.
- Demir, D., Turşucu, A, 2012, Studies on mass attenuation coefficient, mass energy absorption coefficient and kerma of some vitamins, Annals of Nuclear Energy, 48, 17-20.
- Dözen, C., 2006, M tabakası X-ışınları üretim tesir kesitlerinin hesaplanması. Kahraman Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68 s.
- Dyson, N.A., 1988. X-rays in Atomic and Nuclear Physics, Second Edition, Cambridge University press, Cambridge, 400 s.
- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B., Levring, H., 2001. X-ray absorption in matter. Reengineering XCOM . Radiation Physics and Chemistry, 60, 23-24.
- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B., Levring, H., 2004. WinXCom, A program for calculating X-ray attenuation coefficients. Radiation Physics and Chemistry, 71, 653-654.
- Gowda, S., Krishnaveni, S., Gowda, R., 2005. Studies on effective atomic numbers and electron densities in amino acids and sugars in the energy range 30–1333 keV, Nucl. Instr. and Meth. B., 239, 361-369.
- Harima, Y., 1983. An approximation of gamma ray buildup factors by modified geometrical progression. Nucl. Sci. Eng., 83, 299-309.
- Harima, Y., Sakamoto, Y., Tanaka, S., Kawai, M., 1986. Validity of the Geometric-progression Formula in Approximating Gamma-Ray Buildup Factors. Nuclear Science and Engineering, 94, 24-35.
- Hubbell, J.H., Berger, M. J., 1987-1999. XCOM : Photon Cross Sections Database. Web Version 1.2, available at [http:// physics.nist.gov/xcom](http://physics.nist.gov/xcom), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA, August 1999. Originally published as NBSIR 87-3597, XCOM: Photon Cross Sections on a Personal Compute (July 1987).
- Hubbell, J.H., Seltzer, S.M., 1995, Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements Z=1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest, NISTIR 5632.
- Kerur, B.R., Manjula, V.T., Lagare, M.T., Kumar, A.S., 2009. Mass attenuation coefficients of saccharides for X-rays in the energy range from 8 keV to 32 keV, Radiation Measurements 44 63-67.

- Kurudirek, M., and Özdemir, Y., 2011, Energy absorption and exposure buildup factors for some polymers and tissue substitute materials: photon energy, penetration depth and chemical composition dependence, *J. Radiol. Prot.* 31, 117-128.
- Kurudirek, M., 2011, Bazı çoklu element yapıdaki maddelerin foton etkileşimi, foton enerji soğurması, foton kuvvetlendirme faktörü ve hızlı nötron azaltma tesir kesitleri açısından incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi, 135 s.
- Manjurathaguru, V., Umesh, T.K., 2009, Simple parametrization of photon mass energy absorption coefficients of H-, C-, N- and O- based samples of biological interest in the energy range 200-1500 keV. *Pramana Journal of Physics*, 72, 375-387.
- Manohara, S.R., Hanagodimath, S.M., Thind, K.S., Gerward, L., 2008, On the effective atomic number and electron density: A comprehensive set of formulas for all types of materials and energies above 1 keV, *Nucl.Inst.Meth.B*, 266, 3906-3912.
- Marchal C., Noel A., Bey P., Aletti P., Nadi M., 1992, Use of calcium sulfate for thermoluminescent thermal dosimetry, *Engineering in Medicine and Biology Society, 1992 14<sup>th</sup> Annual international Conference of the FEEE*, 228-230.
- Maron, M. J., 1987. *Numerical analysis: A practical approach*. Macmillan, New York.
- Morabad R.B., Kerur B.R., 2010, mass attenuation coefficients of X- rays in different medicinal plants, *applied Radiation and isotopes* 68 (2010) 271-274.
- Mukaide, T., Watanabe, M., Takada, K., Lida, A., Fukuda, K., Noma, T., 2011. Quantitative effective atomic number imaging using simultaneous x-ray absorption and phase shift measurement, *Applied Physics Letters*, 98, 111902.
- Murty, R.C., Nageswara Rao, A.S., Krishna Rao, G., 1999. Z-dependence of photon interactions in simulated materials, *Appl. Rad. and Isot.*, 51, 335-339.
- Murty, V.R.K., Winkoun, D.P., Devan K.R.S., 2000. Effective atomic numbers for W/Cu alloy using transmission experiments, *Appl. Rad. and Isot.*, 53, 945-948.
- Nayak, G., N., Vijaya, M.G., Siddappa K., 2001. Effective atomic numbers of some polymers and other materials for photoelectric process at 59.54 keV, *Radiat. Phys. Chem.*, 61, 559-561.
- Önder, P., Turşucu, A., Demir, D., Gürol, A., 2012, Studies on mass attenuation coefficient, effective atomic number and electron density of some thermoluminescent dosimetric compounds, *Nucl. Instr. and Meth. B*, 292, 1-10.
- Özden, N., 1977. *Radyoaktivite ve Radyasyon*. İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Yayınları, İstanbul, 1982 s.
- Sahin, Y., 1999. *Çekirdek Fiziginin Esasları*. Çeviri, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 340 s.
- Sharanabasappa, Kerur, B.R., Kumar, A.S., Hanumaiah, B., 2010. Determination of X-ray mass attenuation coefficients using HPGe dedector, *Applied Radiation and Isotopes*, 68, 76-83.
- Shivaramu, V., Ramprasath, 2000. Effective atomic numbers for photon energy absorption and energy dependence of some thermoluminescent dosimetric compounds. *Nucl. Inst. Meth. B* 168, 294-304.
- Singh, T., Kuar, P., Singh, P.S., 2007. A study of photon interaction parameters in some commonly used solvents. *J. Radiol. Prot.*, 27, 79-85.
- Sidhu, S.B., Dhaliwal, A.S., Mann, K.S., Kahlon K.S., 2012. Study of mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and electron densities for some low Z

compounds of dosimetry interest at 59.54 keV incident photon energy, *Annals of Nuclear Energy*, 42, 153-157.

Turşucu, A., 2012, Atom numarası  $21 \leq Z \leq 71$  arasında olan nadir toprak elementler ve oksitli bileşiklerinin etkin atom numaralarının gama ışınlarının saçılması ve soğurulmasından faydalanılarak bulunması. Atatürk Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi. 65 s.

Van Grieken, R.E, Markowicz, A.A., 1992. *Handbook of x-ray spectrometry* Marcell Decker, Inc., New York.

## ÖZGEÇMİŞ

1979 Tarihinde Çorum'da doğan Selim ADIGÜZEL, ilk, orta ve lise eğitimini Çorum'da tamamladı. Yüksek öğrenimini 1997 yılında kazandığı Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nde tamamladı. 2010 yılında başladığı Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programını Ocak 2013 tarihinde tamamlamıştır.