

**X veya γ IŞINI SOĞURAN CAMLARIN ETKİN ATOM
ve ELEKTRON NUMARALARININ HESAPLANMASI**

Şerif ERMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Faruk DEMİR

2014

T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**X veya γ IŞINI SOĞURAN CAMLARIN ETKİN ATOM
ve ELEKTRON NUMARALARININ HESAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şerif ERMİŞ

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

BURSA
Temmuz 2014

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

ŞERİF ERMİŞ tarafından DOÇ. DR. FARUK DEMİR yönetiminde hazırlanan X veya γ IŞINI SOĞURAN CAMLARIN ETKİN ATOM ve ELEKTRON NUMARALARININ HESAPLANMASI başlıklı tez, kapsamı ve niteliği açısından incelenmiş ve **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Faruk DEMİR
(Bursa Teknik Üniversitesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü)

Yrd. Doç. Dr. Gökhan GECE
(Bursa Teknik Üniversitesi, Kimya Bölümü)

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin LEKESİZ
(Bursa Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü)

Tez Savunma Tarihi: 03/07/2014

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Mehmet ÇOPUR

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Şerif Ermiş

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında, bilgisini ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Faruk Demir'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca WinXcom programını kullandığım için Leif Gerward ve arkadaşlarına; Direct-Z_{eff} programını kullandığım için Adem Ün ve arkadaşına teşekkürü borç bilirim.

Çalışmam esnasında bana destek olan anneme, babama ve sevgili eşime teşekkür ederim.

Şerif ERMİŞ

Temmuz, 2014

İÇİNDEKİLER

sayfa no

Dış Kapak	
İç Kapak	
Yüksek Lisans Tezi Onay Formu	
İntihal(Aşırma) Beyanı	
Teşekkür	
İçindekiler	v
Şekil Listesi	vii
Çizelge Listesi	ix
Sembol Listesi	x
Özet	xi
Abstract	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. KURAMSAL TEMELLER	7
3.1 Yüksek Enerjili Foton Radyasyonunun Madde ile Etkileşimi	8
3.1.1 Koherent saçılma	9
3.1.2 İnkoherent saçılma	10
3.1.3 Fotoelektrik Olay	10
3.1.4 Çift oluşum	11
3.2 Kütle Azaltma Katsayısı	12
3.3 Tesir Kesit	13

3.4 Etkin Atom ve Elektron Numarası	14
4. YÖNTEM	16
4.1 WinXCom Bilgisayar Programı	17
4.2 Direct- Z_{eff} Bilgisayar Programı	19
5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	21
5.1 (x) PbO, Bi ₂ O ₃ , BaO : (100-x) SiO ₂ , B ₂ O ₃ İçerikli Camların 1keV-1GeV Enerji Aralığındaki μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} Değerlerinin İncelenmesi	21
5.2 (x) PbO, Bi ₂ O ₃ , BaO : (100-x) SiO ₂ , B ₂ O ₃ İçerikli Camların 662 keV Foton Enerjisindeki μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} Teorik ve Deneysel Değerlerinin Karşılaştırılması	29
5.3 Piyasadaki Radrasyon Zırhlama Özellikli Bazı Camların İncelenmesi	42
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	45
Kaynaklar	47
Özgeçmiş	50

ŞEKİL LİSTESİ

sayfa no

Şekil 3.1 Elektromanyetik spektrum veya foton radyasyonu çeşitleri	7
Şekil 3.2 Fotoelektrik etki, compton etkisi ve çift oluşum olaylarının baskın olduğu enerji seviyeleri dağılımı	9
Şekil 3.3 Koherent saçılma	10
Şekil 3.4 İnkoherent saçılma	10
Şekil 3.5 Fotoelektrik olay	11
Şekil 3.6 Çift oluşumu	11
Şekil 3.7 Foton radyasyon şiddetinin madde tarafından azaltılması	12
Şekil 3.8 Tesir kesitinin geometrik yorumu	14
Şekil 4.1 WinXCom bilgisayar programı arayüzü	18
Şekil 4.2 WinXCom bilgisayar programı ile bileşik oluşturma	18
Şekil 4.3 WinXCom bilgisayar programı ile karışım oluşturma	19
Şekil 4.4 Direct-Zeff bilgisayar programı arayüzü ve karışım oluşturma	19
Şekil 4.5 Direct-Zeff bilgisayar programıyla oluşturulan maddenin verileri	20
Şekil 5.1 Bi_2O_3 içerikli silisyum camının kütle azaltma katsayısı grafiği	22
Şekil 5.2 Bi_2O_3 içerikli silisyum camının etkin atom numarası grafiği	23
Şekil 5.3 Bi_2O_3 içerikli silisyum camının etkin elektron numarası grafiği	23
Şekil 5.4 %30 ve %70 oranında PbO, Bi_2O_3 , BaO içeren silisyum camlarının kütle azaltma katsayıları grafiği (0,001-1000 MeV)	24
Şekil 5.5 %30 ve %70 oranında PbO, Bi_2O_3 , BaO içeren silisyum camlarının kütle azaltma katsayıları grafiği	25
Şekil 5.6 %30 ve %70 oranında PbO, Bi_2O_3 , BaO içeren silisyum camlarının etkin atom numaraları grafiği	25
Şekil 5.7 %30 ve %70 oranında PbO, Bi_2O_3 , BaO içeren silisyum camlarının etkin elektron numaraları grafiği	26
Şekil 5.8 %50 PbO, Bi_2O_3 , BaO içeren silisyum ve bor camlarının kütle azaltma katsayıları grafiği	27
Şekil 5.9 %50 PbO, Bi_2O_3 , BaO içeren silisyum ve bor camlarının kütle azaltma katsayıları grafiği(0,05-1,5 MeV)	27
Şekil 5.10 %50 PbO, Bi_2O_3 , BaO içeren silisyum ve bor camlarının etkin atom numaraları grafiği	28
Şekil 5.11 %50 PbO, Bi_2O_3 , BaO içeren silisyum ve bor camlarının etkin elektron numaraları grafiği	28
Şekil 5.12 %30-70 PbO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği	33
Şekil 5.13 %30-70 PbO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	33
Şekil 5.14 %30-70 PbO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel N_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	34
Şekil 5.15 %30-70 Bi_2O_3 içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği	34
Şekil 5.16 %30-70 Bi_2O_3 içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	34
Şekil 5.17 %30-70 Bi_2O_3 içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel N_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	35

Şekil 5.18 %30-70 BaO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği	35
Şekil 5.19 %30-70 BaO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	36
Şekil 5.20 %30-70 BaO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel N_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	36
Şekil 5.21 %30-70 PbO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği	37
Şekil 5.22 %30-70 PbO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	37
Şekil 5.23 %30-70 PbO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel N_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	38
Şekil 5.24 %30-70 Bi ₂ O ₃ içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği	38
Şekil 5.25 %30-70 Bi ₂ O ₃ içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	39
Şekil 5.26 %30-70 Bi ₂ O ₃ içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel N_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	39
Şekil 5.27 %30-70 BaO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği	40
Şekil 5.28 %30-70 BaO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	40
Şekil 5.29 %30-70 BaO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel N_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği	40
Şekil 5.30 %30-70 BaO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik N_{eff} değerinin lineer azalış grafiği	41
Şekil 5.31 Yüksek enerjili foton radyasyonu soğuran çeşitli camların kütle azaltma katsayıları grafiği	43
Şekil 5.32 Yüksek enerjili foton radyasyonu soğuran çeşitli camların etkin atom numaraları grafiği	43
Şekil 5.33 Yüksek enerjili foton radyasyonu soğuran çeşitli camların etkin elektron numaraları grafiği	44

ÇİZELGE LİSTESİ

sayfa no

Çizelge 4.1 662 keV 'ta (%30-70) BaO, Bi ₂ O ₃ veya PbO içeren silisyum camının deneysel kütle azaltma katsayıları	16
Çizelge 4.2 662 keV 'ta (%30-70) BaO, Bi ₂ O ₃ veya PbO içeren bor camının deneysel kütle azaltma katsayıları	17
Çizelge 4.3 Schott firmasının radyasyon zırhlayıcı camlarının PbO içeriği	17
Çizelge 5.1 %30-70 PbO, Bi ₂ O ₃ , BaO içeren silisyum camlarının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel $\mu_m(*10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g})$, Z_{eff} , $N_{\text{eff}}(*6,02*10^{23} \text{ e/g})$ değerleri	30
Çizelge 5.2 %30-70 PbO, Bi ₂ O ₃ , BaO içeren bor camlarının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel $\mu_m(*10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g})$, Z_{eff} , $N_{\text{eff}}(*6,02*10^{23} \text{ e/g})$ değerleri	31

SEMBOL LİSTESİ

μ	Lineer azaltma katsayısı
μ_m	Kütle azaltma katsayısı
I_0	İlk foton demeti şiddeti
I	Son foton demeti şiddeti
x	Materyalin kalınlığı
Z	Atom numarası
Z_{eff}	Etkin atom numarası
N_{eff}	Etkin elektron yoğunluğu
N_A	Avogadro sayısı
σ_a	Toplam atomik tesir kesit
σ_e	Toplam elektronik tesir kesit
A	Kütle numarası
w	Ağırlıkça yüzde
f	Molar yüzde
r_d	Deneysel doğrusallık
r_t	Teorik doğrusallık

ÖZET

X veya γ IŞINI SOĞURAN CAMLARIN ETKİN ATOM ve ELEKTRON NUMARALARININ HESAPLANMASI

Şerif ERMİŞ

Bursa Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Doç. Dr. Faruk DEMİR

03.07.2014, 50 sayfa

Bu çalışmada farklı oranlarda PbO, BaO, Bi₂O₃, SiO₂, B₂O₃ içeren camların 1 keV-1 GeV enerji aralığındaki kütle azaltma katsayıları, etkin atom ve elektron numaraları teorik olarak hesaplanmıştır. Camın bileşimindeki SiO₂ ve B₂O₃ ağ yapıcı olarak; PbO, BaO ve Bi₂O₃ ise foton radyasyonunu soğuran oksitler olarak düşünülmüştür. WixCom bilgisayar programıyla hesaplanan kütle azaltma katsayılarına göre atomik ve elektronik tesir kesitleri, etkin atom ve elektron numaraları hesaplanmıştır. İlk bölümde 1 keV-1 GeV enerji aralığındaki silisyum ve bor camlarının sonuçlarının birkaçı grafik şeklinde sunulmuştur. Cam içeriğindeki ağır metal oksit oranının artmasıyla kütle azaltma katsayısının ve etkin atom numarasının arttığı, etkin elektron numarasının enerji aralığına bağlı olarak değişiklik gösterdiği görülmüştür. Aynı oranda PbO ve Bi₂O₃ içeren camların hemen hemen aynı sonuçları verdiği, BaO içeren camların genellikle çok daha az radyasyon soğurganlığına sahip olduğu sonucuna varılmıştır. İkinci bölümde bu camların 662 keV'teki teorik sonuçları ile literatürden alınan deneysel kütle azaltma katsayısı verilerine göre elde edilen sonuçlar tablo şeklinde karşılaştırılmıştır. Ayrıca, tablodaki veriler Direct-Z_{eff} programından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve uyumlu olduğu görülmüştür. Bu tablodaki deneysel ve teorik

kütle azaltma katsayılarının, etkin atom ve elektron numaralarının; ağır metal oksit oranına bağlı olarak lineerlik gösterip göstermediği grafikler üzerinde incelenmiştir. Etkin atom numaraları teorik ve deneysel olarak lineer sonuçlar vermekte iken, kütle azaltma katsayılarının ve etkin elektron numaralarının sadece teorik verilerinin lineer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Deneysel verilerin doğrusal olmama sebebinin camın amorf yapısından kaynakladığı düşünülmektedir. Son bölümde ise birkaç cam üretim firmasının verileri kullanılarak çeşitli camların 1 keV-1 GeV enerji aralığındaki kütle azaltma katsayıları, etkin atom ve elektron numaraları hesaplanarak grafik şeklinde gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Radyasyon zırhlama, cam, γ ışını, x ışını, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu

ABSTRACT

CALCULATION OF EFFECTIVE ATOMIC AND ELECTRONIC NUMBERS OF GLASSES ABSORBING X or γ RAY

Şerif ERMİŞ

Bursa Technical University

Graduate School of Natural and Applied Science

Advanced Technologies Program

Master of Science Thesis

Assoc. Prof. Faruk DEMİR

03.07.2014, 50 pages

In this thesis, mass attenuation coefficient, effective atomic and electronic number of glasses containing PbO, BaO, Bi₂O₃, SiO₂, B₂O₃ were calculated at 1 keV-1 GeV. SiO₂ and B₂O₃ were planned as glass former; PbO, BaO, Bi₂O₃ were planned powerful absorber of photon radiation. Atomic and electronic cross sections, effective atomic and electronic number of glasses were calculated by using mass attenuation coefficients which were obtained from WinXCom computer program. At first section, some results of glasses of silicium and boron were graphed at 1 keV-1 GeV. While ratio of heavy metal oxide are increased in glass; it is indicated that mass attenuation coefficient, effective atomic number of glasses increased, but effective electronic number differentiate depend on energy range. Although having same ratio PbO and Bi₂O₃ glasses gives nearly same results, BaO glasses generally shows less radiation absorbtion At second section, calculated experimental results

which are using mass attenuation coefficients obtained from literature and theoretical results of those glasses are tabulated for 662 keV. Moreover theoretical data of those glasses were compared with data of Direct- Z_{eff} computer program. Theoretical and empirical values of mass attenuation coefficient, effective atomic and electronic number at graphics were found to display linearity or did not depend on increasing ratios of heavy metal oxide. While effective atomic number of glasses shows theoretical and experimental linear correlation with heavy metal oxide ratio, mass attenuation coefficient and effective atomic number of glasses indicates only theoretical linearity. That nonlinearity may be due to amorph structure of glass. At last section, mass attenuation coefficients, effective atomic and electronic numbers of various glasses obtained by some producers were calculated and graphed.

Key Words : Radiation shielding, glass, gamma ray, x ray, effective atomic number, effective electron density

1. GİRİŞ

Son çeyrek asırda nükleer enerji tesislerinin ve nükleer araştırma laboratuvarlarının artmasıyla, özellikle tıp alanındaki radyasyon teşhis ve tedavi yöntemlerinin yaygınlaşmasıyla; yüksek enerjili radyasyona maruz kalan personel sayısı artmaktadır. Radyasyonlu ortamda çalışan personelin korunması amacıyla özel gözlükler kullanılmakta ve muhafazalı gözlem odaları yapılmaktadır.

Radyasyon zırhlama malzemelerinden biri olan camlar; radyasyondan korunmak amacıyla, tıp alanında radyoloji, radyasyon onkolojisi, nükleer tıp ve görüntüleme ünitelerinde, nükleer fizik araştırma laboratuvarlarında, özel gözlüklerde ve izleme pencerelerinde zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır. Özellikle foton radyasyonlarını iyi derecede soğurması nedeniyle üretilirler.

Çalışmanın ana esası radyasyonun camın önünden arka tarafına ne kadarının geçtiğidir. Bunun için radyasyon türü çok önemlidir ki, foton radyasyonu (X -ışını veya gama ışını) madde ile etkileştiğinde madde içinde hangi olayların meydana geldiği aşağı yukarı tespit edilebilmektedir. Madde ile etkileştiklerinde genellikle malzemenin kimyasal yapısına ve yoğunluğuna bağlı olarak soğurulurlar. Fotonun yeni bir radyasyon türü meydana getirme özelliği olursa bu ancak bir foton radyasyonu olur ki, bu da yine malzemenin kimyasal ve yoğunluk özelliğine göre yeniden soğurulmasını sağlar.

20. yüzyılda sanayi devrimine paralel olarak enerji gereksiniminin artması insanoğlunu yeni enerji kaynaklarını aramaya itmiştir. Bu enerjilerden en önemlisi olan nükleer enerji gelişmiş birçok ülkede kullanılmaya başlanmıştır. Nükleer enerjinin kullanıma girmesi ile nükleer reaktörlerde, hastanelerin radyasyon onkolojisi ve radyoloji bölümlerinde, nükleer savaş tehlikesine karşı sığınaklarda, radyoaktif kaynakların bulunduğu ortamlarda ve radyoaktif atıkların saklanması zırhlama oldukça önem kazanmıştır. Radyoaktif ışınlar ve parçacıklar dokuya zarar verdikleri için kanserojen etki gösterirler. Bilindiği gibi X ve γ -ışınları radyasyon türleri madde içerisinde ilerleyebilme kabiliyetine sahiptirler. Ayrıca madde ile atomik ve çekirdek seviyesinde reaksiyona girebilirler. Bu sebeple bu radyoaktif parçacık ve ışınların bir şekilde madde içerisinde durdurulması gerekir.

Dünyada radyasyon soğurma özelliği olan camların üretimi birkaç merkezde olup bunlardan en önemlileri Schott, Corning, Mayco, Glassolutions, RPP, A.L. Shielding ve Marshield firmalarıdır. Schott, Corning, Glassolutions firmaları %33-71 PbO içeren camların yanısıra kurşunsuz camlar da üretmektedir[1-3]. Mayco ve RPP firmaları ise %48 PbO ve %15 BaO içeren camlar üretirken Corning firması %52 PbO ve %17 BaO içeren camlar üretmektedir [4-6].Kurşun yerine alternatif olarak Ba, Bi gibi farklı elementlerin kullanılarak üretilbileceği literatürde gösterilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür bölümünde öncelikle organik ve inorganik maddelerin, alaşımların, polimerlerin kütle azaltma katsayıları, etkin atom ve elektron numaraları gibi parametrelerinin deneysel ve teorik olarak belirlendiği ve karşılaştırıldığı makaleler anlatılacaktır. Sonrasında radyasyon soğuran camların üretiminde hangi bileşiklerin kullanıldığı ve bu camların beton gibi radyasyon zırhlama malzemeleriyle kıyaslandığı makaleler incelenecektir. Son bölümde farklı kompozisyonda ve farklı enerjilerdeki zırhlama camlarının kütle azaltma katsayıları, etkin atom ve elektron numaraları, atomik ve elektronik tesir kesitlerinin incelendiği makalelere değinilecektir.

Han et al. [7] TiCo-CoCu alaşımlarının 22,1; 25; 59,5; 88 keV foton enerjilerindeki, kütle azaltma katsayılarını, toplam atomik ve elektronik tesir kesitlerini, etkin atom ve elektron numaralarını belirlemiştir. Elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar kütle azaltma katsayısı, etkin atom ve elektron numarasının radyasyon zırhlamada hassas ve kullanışlı parametreler olduğunu göstermiştir. Manohara et al. [8] temel aminoasitlerin 1 keV-100 GeV enerjileri arasındaki etkin atom ve elektron numaralarını teorik olarak hesaplamıştır. Farklı enerjilerdeki koherent, inkoherent, çift oluşumu ve fotoelektrik etkileşimlerinin Z_{eff} ve N_{eff} üzerindeki etkilerini incelemiştir. Gowda et al. [9] bazı aminoasit ve şekerlerin 30-1333 keV foton enerjilerindeki etkin atom ve elektron numaralarını deneysel ve teorik olarak belirlemiştir. Signh et al. [10] kompozit materyallerin 145 keV foton enerjilerindeki etkin atom numaraları teorik ve deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Teorik sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gösterilmiştir. Han et al. [11] Ti ve Ni alaşımlarının farklı enerjilerdeki, kütle azaltma katsayılarını, toplam atomik ve elektronik tesir kesitlerini, etkin atom ve elektron numaralarını teorik ve deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Nayak et al. [12] bazı polimerlerin 59,54 keV foton enerjisindeki kütle azaltma katsayılarını, toplam atomik ve elektronik tesir kesitlerinin, etkin atom numaralarının deneysel, yarı deneysel ve literatür bazlı karşılaştırmasını yapmışlardır. μ_m karışım kuralının bileşik ve alaşımlarda olduğu gibi polimerlerde de güvenilir olduğunu belirtmiştir. İçelli et al. [13] Co-Cu-Ni alaşımlarının 15-40 keV foton enerjileri arasındaki etkin atom numaralarını teorik ve deneysel olarak belirlemiş ve karşılaştırmışlardır. Ni oranının artmasıyla Z_{eff}

değerinin arttığı gösterilmiştir. Çevik et al. [14] CdSe ve CdTe yarıiletkenlerinin 9,7-87,3 keV foton enerjilerindeki, kütle azaltma katsayılarını, etkin atom ve elektron numaralarını teorik ve deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Han et al. [15] Cr, Fe, Ni alaşımlarının 22,1; 25; 59,5; 88 keV foton enerjilerindeki, kütle azaltma katsayılarını, toplam atomik ve elektronik tesir kesitlerini, etkin atom ve elektron numaralarını belirlemişlerdir. Özdemir et al. [16] çeşitli organik ve inorganik bileşiklerin 59,54 keV foton enerjisindeki kütle azaltma katsayılarını, etkin atom ve elektron numaralarını belirlemişlerdir. Deneysel ve teorik veriler bu maddelerin 59,54 keV 'de teorik olarak karışım kuralına uyumlu olduğunu göstermiştir. Kaewkhao et al. [17] Cu/Zn alaşımlarının değişik enerjilerdeki etkin atom ve elektron numara değerlerini belirlemişlerdir. WinXCom ile yapılan teorik veriler deneysel verilerle uyumluluk göstermektedir. Baltaş et al. [18] YBaCuO süper iletkenlerinin arasındaki etkin atom ve elektron numaralarını deneysel ve teorik olarak karşılaştırmışlardır. Ün et al. [19] çeşitli betonların 1 keV-1 GeV enerjileri arasındaki kütle azaltma katsayılarını, etkin atom ve elektron numaralarını WinXCom programı ile hesaplamışlardır. WinXCom programı temelleri Berger ve Hubbell [20] tarafından atılmış olup Gerward et al. [21,22] tarafından geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Bu programa elementlerin ve/veya bileşiklerin konsantrasyon değerleri girilerek kütle azaltma katsayıları hakkında teorik hesaplar yapılabilmektedir.

Singh et al. [23] kütle azaltma katsayılarını, PbO-B₂O₃ ve Bi₂O₃-PbO-B₂O₃ cam türleri için ²²Na ve ¹³⁷Cs radyoaktif kaynakları ile NaI sintilasyon detektörünü kullanarak deneysel ve WinXCom programıyla teorik olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmaları aynı zamanda radyasyon soğurma özelliği çok iyi olan barit ve demir betonları ile kıyaslayıp daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Yani bu camların daha az kalınlıkta daha iyi soğurgan olduğunu, camlar içerisinde Bi₂O₃ ve PbO oranı arttıkça soğurganlıklarının arttığını göstermişlerdir. Singh et al. [24] 662 ve 1173 keV enerjilerde gama ışını kütle azaltma katsayılarını PbO-B₂O₃-SiO₂ ve Bi₂O₃-B₂O₃-SiO₂ cam türleri için hem deneysel hem de teorik olarak belirlemişlerdir. Burada kullanılan karışım oranları cam üretim kuralları dikkate alınarak elde edilmiştir. Bu camlar standart beton türleri ile karşılaştırılmıştır. Arbuzov et al. [25] PbO-P₂O₅-R_mO_n türü camların radyasyon soğurma özelliğinin yanında teknolojik ve optik özelliklerini de incelemişler ve ¹³⁷Cs kaynağı için iki tür camda lineer soğurma

katsayılarını 0,48 ve 0,59 cm^{-1} olarak bulmuşlardır. Singh et al.[26] $\text{PbO-BaO-B}_2\text{O}_3$ cam sisteminde 511, 662 ve 1274 keV'luk foton enerjilerini kullanarak yarı tabaka parametresi ve kütle azaltma katsayısını XCom programı yardımıyla hesaplamışlardır. Bu çalışmada elde edilen camlar zırhlamada kullanılan bazı standart beton türleri ile kıyaslanmıştır. Bu camların normal, barit, ferit, kromit, serpentit beton türlerinden daha iyi oldukları tespit edilmiştir. Singh et al. [27] PbO-SiO_2 camlarının gama ışını zırhlama ve yapısal özelliklerini ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif kaynakları ve WinXCom bilgisayar programını kullanarak belirlemişlerdir. Ayrıca molar hacim, FTIR ve akustik metotlarla hazırlanan cam sistemlerin yapısal özellikleri belirlenmiştir. Bu camlar zırhlama betonlarından daha iyi olmaktadır. Fakat çok yüksek oranda PbO camın yapısal özelliklerini kötüleştirmektedir. Kirdsiri et al. [28] 60 keV'ta BaO, PbO ve Bi_2O_3 içeren borat camlarında kütle azaltma katsayılarını WinXCom bilgisayar yazılım programı ile teorik olarak elde etmişlerdir. Baryumlu ve bizmutlu camların kurşunlu camlara göre çok daha az toksisiteye sahip olmalarından dolayı zırhlama camı olarak kullanabileceklerini belirtmişlerdir. Chanthima et al. [29] farklı kompozisyonlarda PbO-SiO_2 cam sistemlerinin foton radyasyon soğurganlıklarını 662 keV için WinXCom programı ile hesaplamışlardır. Bu çalışmada kullanılan camların potansiyel radyasyon zırhlayıcı materyal olabileceği belirtilmiştir. Kaewkhao et al. [30] Bi_2O_3 ve BaO içeren borat camların foton radyasyonu soğurganlıklarını PbO içeren borat camlar ile kıyaslamışlardır. Bu çalışmada Bi içeren camların Pb içeren camlar yerine kullanılabileceği belirtilmiştir.

Signh et al. [31] $\text{ZnO-PbO-B}_2\text{O}_3$ camlarının 511, 662, 1173 ve 1132 keV foton enerjilerindeki etkin atom ve elektron numaralarını teorik ve deneysel olarak belirlemişlerdir. Deneysel ve WinXCom temelli teorik verilerin birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Signh et al. [32] $\text{BaO-B}_2\text{O}_3\text{-flyash}(\%60\text{SiO}_2)$ camlarının 356, 662, 1173 ve 1333 keV'taki etkin atom ve elektron numaralarını teorik ve deneysel olarak belirlemişlerdir. Deneysel ve WinXCom ile yapılan teorik verilerin birbiriyle uyumlu olduğu belirtilmiştir. Kirdsiri et al. [33] PbO, Bi_2O_3 , BaO içerikli silika camların 662 keV foton enerjisindeki kütle azaltma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve ışık geçirgenliğini karşılaştırmışlardır. BaO'in çok önemli ölçüde kütle azaltma katsayısı değişimi gerçekleştiremediğini, Bi_2O_3 'in PbO yerine kullanılabileceğini belirtmişlerdir. $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-BaO}$ camlarının kurşunsuz olmasından dolayı çevreye duyarlı yeni bir opsiyon olduğunu açıklamışlardır. Kaewkhao et al.

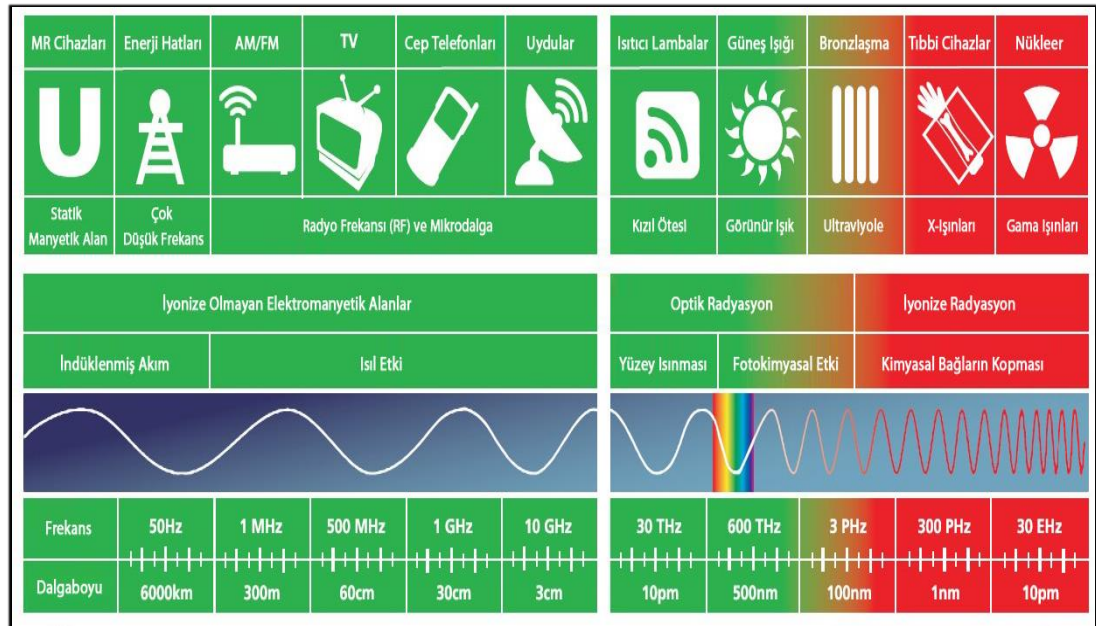
[34] PbO, Bi₂O₃, BaO fosfat camlarının 662 keV foton etkin atom numaralarını karşılaştırmışlar ve Bi₂O₃'in PbO yerine kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Singh et al. [35] CaO-SrO-B₂O₃ camlarının 511, 662, 1173 ve 1132 keV foton enerjilerindeki kütle azaltma katsayılarını, etkin atom ve elektron numaralarının teorik ve deneysel olarak uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Kirdsiri et al. [36] PbO-B₂O₃ camlarının 662 keV enerjisindeki, kütle azaltma katsayılarını, toplam atomik ve elektronik tesir kesitlerini, etkin atom ve elektron numaralarını belirlemişler ve uyumluluk arz ettiğini belirtmişlerdir. Limkitjaroenporn et al. [37] PbO-B₂O₃-Na₂O camlarının 662 keV'taki kütle azaltma katsayılarını ve etkin atom numaralarını belirlemişlerdir. Deneysel ve teorik verilerin farkının %1 den daha az olduğunu açıklamışlardır. Singh et al. [38] 356, 511, 662, 1173 ve 1332 keV foton enerjilerinde, kütle azaltma katsayısı ve etkin atom numaralarının değerlerini, baryum ve kalsiyum borat camlarda farklı konsantrasyon değerleri için göstermişlerdir. Çalışmanın sonunda, bu camların potansiyel radyasyon zırhlama malzemesi olabileceklerini belirtmişlerdir.

Literatürde organik ve inorganik maddelerin, alaşımların, polimerlerin ve camların radyasyon soğurma özellikleri kütle azaltma katsayıları, etkin atom ve elektron numaraları gibi parametreler deneysel ve teorik olarak belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Genel olarak deneysel ve teorik verilerin birbiriyle uyumlu olduğu ve benzer sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Literatürdeki bu bilgiler ışığında WinXCom programı, karışım kuralı ve teorik hesaplamaların, deneysel çalışmalara ışık tutacağı öngörülmektedir.

3. KURAMSAL TEMELLER

Radyasyon, kaynağından doğru çizgiler boyunca dalga veya parçacık şeklinde ıraksayan enerji olarak tanımlanabilir. Radyasyon α ve β gibi parçacık şeklinde olabileceği gibi foton (elektromanyetik radyasyon) şeklinde de olabilir.

Foton radyasyonu radyo dalgaları, görünür ışık, ultraviyole, radyan ısı gibi hayatımızın her anında maruz kaldığımız düşük enerjili; X ve γ ışınları gibi yüksek enerjili ve iyonlaştırıcı özelliğe sahip foton radyasyonlarını ihtiva eder(Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Elektromanyetik spektrum veya foton radyasyonu çeşitleri [39]

Kamuoyunda oluşmuş olan “radyasyon çok zararlıdır” algısı aslında yanlıştır. Zararlı radyasyonlar iyonlaştırıcı nitelikte, yüksek enerjili foton radyasyonu ve parçacık radyasyonudur. Tabi bu iyonlaştırıcı radyasyon çeşitleri kontrol altında kullanımının zarardan ziyade faydalı olduğu görülmektedir. Bu radyasyon türlerinin özellikle hastalık teşhis ve tedavisinde kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Yüksek enerjili foton radyasyonları özellikle X ve γ ışınlarından oluşmaktadır ve bu radyasyonların enerjileri 10^{-3} - 10^3 MeV aralığındadır. γ -ışınları, radyoaktif bozunmaya uğrayan atomların çekirdeğinde üretilen yüksek enerjili elektromanyetik radyasyondur. X -ışınları, yüksek enerjili elektronların yavaşlatılmasıyla veya atomun iç tabakaları arasında elektron geçişiyle üretilen 10^{-5} - 100 Å dalga boylu

elektromanyetik dalgalarıdır. γ ve X-ışınları elektrik ve manyetik alandan etkilenmeyen, yüksek girici güce sahip çok kısa dalga boylu (10^{-14} - 10^{-10} m) elektromanyetik dalgalarıdır[40].

3.1 Yüksek Enerjili Foton Radyasyonunun Maddeyle Etkileşimi

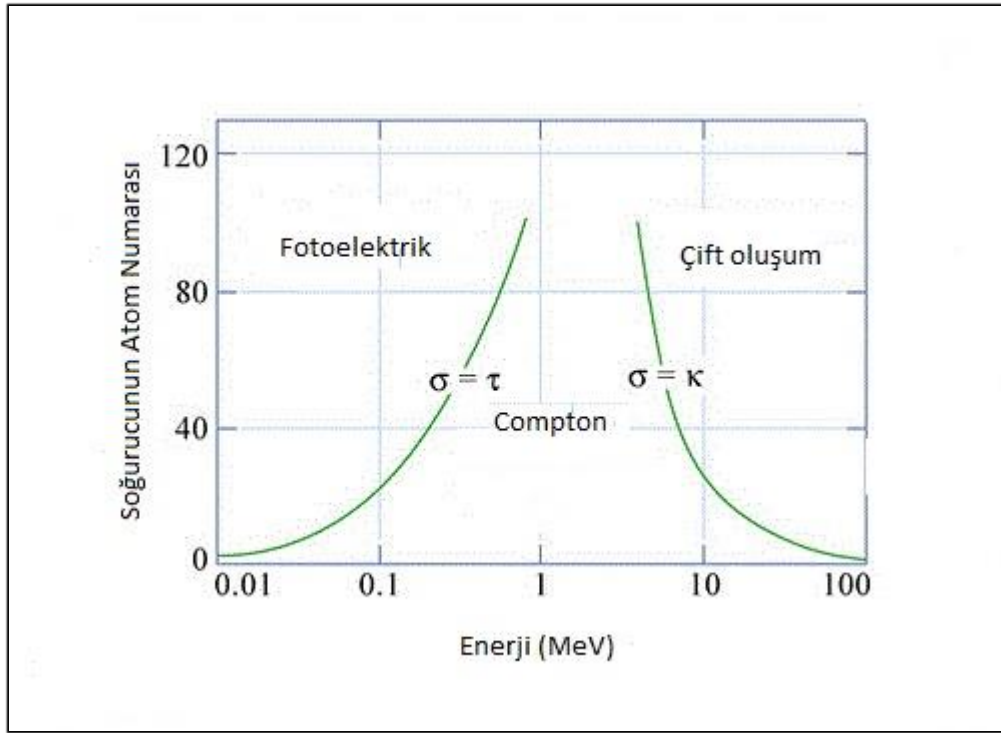
Yüksek enerjili foton radyasyonunun (X ve γ ışınları) maddeyle etkileşimi atomik boyutta aşağıda sıralandığı gibi gerçekleşebilir[41].

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

Maddeyle yüksek enerjili foton radyasyonu etkileşimi sonucu, fotonun enerji seviyesine göre aşağıdaki olaylar meydana gelebilir[40].

- a. Düşük enerjilerde (0,01-0,5 MeV) fotoelektrik olayı baskındır. Fotonun elektrona tüm enerjisini vermesiyle elektron bu enerjinin bir kısmını atomla olan bağına koparmak için kullanırken geriye kalan kısmı ise elektrona kinetik enerji olarak aktarılır.
- b. 0,1-10 MeV arasındaki enerjilerde Compton saçılması baskındır. Foton serbest bir elektrona kendi enerjisinden aktarır ve foton farklı bir doğrultuda saçılır. Eğer foton, elektronun bağlanma enerjisinden çok büyük enerjiye sahipse ve elektron serbest ve durgun kabul edilebilirse Compton saçılması meydana gelir.
- c. Etkileşen fotonun enerjisi 1,022 MeV'den daha büyükse çift oluşumu olayı baskın olur. Foton, bir elektronun ve bir pozitronun durgun kütle enerjilerinin toplamına eşit bir kinetik enerjiye sahip olursa, bir elektron pozitron çifti oluşabilir.
- d. Meydana gelme ihtimali daha az ve daha az öneme sahip olan diğer elektron etkileşimleri; fotonun enerji kaybetmediği sadece saçılma yönünde değişiklik meydana gelen Rayleigh saçılması(bağlı elektron) ve Thomson(serbest elektron) saçılmasıdır.
- e. Meydana gelme ihtimali daha az ve daha az öneme sahip olan diğer çekirdek etkileşimleri nükleer rezonans saçılma ve Delbrück saçılmasıdır. Nükleer rezonans saçılmada foton enerjisinin tamamını çekirdeğe aktarır ve çekirdek uyarılmış durumda kalır. Delbrück saçılmasında ise foton çekirdeğin Coulomb potansiyel alanı ile etkileşebilir. Bu etkileşmelerin etkisi birçok durumda ihmal edilebilecek kadar

küçüktür.

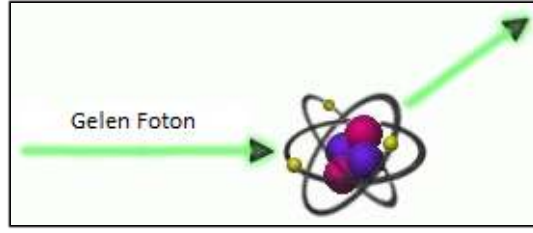


Şekil 3.2 Fotoelektrik etki, compton etkisi ve çift oluşum olaylarının baskın olduğu enerji seviyeleri dağılımı [42]

3.1.1 Koherent saçılma

Koherent saçılmada gelen fotonların enerjilerinde herhangi bir değişiklik meydana gelmez ve gelen fotonla saçılan fotonun dalga boyları aynıdır. Bu saçılma olayında gelen ve saçılan radyasyonun toplam şiddeti, her bir elektron tarafından saçılan radyasyonun genliklerinin toplamı ile bulunur ve elde edilen bu toplam kareseldir.

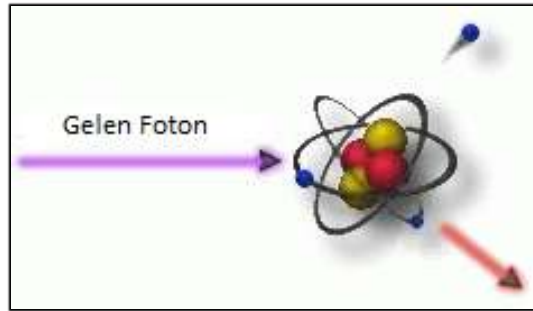
Koherent saçılma, gelen bir foton bağlı bir elektron üzerine düştüğünde elektronun atomdan koparılacak kadar enerji alamadığı hallerde meydana gelir. Bu yüzden bu saçılma türü düşük foton enerjilerinde ve büyük atom numaralı elementlerde nispeten daha çok meydana gelmektedir. Bu saçılmaya koherent saçılmanın en yaygın türü olan Rayleigh saçılması da denir. Yüksek enerjili fotonların hafif elementlerden saçılmasında Rayleigh saçılması, Compton saçılması yanında ihmal edilebilir. Fotonlar atomik elektronlardan Rayleigh saçılmaya uğradıktan sonra, hedef atom değişime uğramadan kalır[40].



Şekil 3.3 Koherent saçılma [43]

3.1.2 İnkohherent saçılma

İnkohherent saçılmada gelen ve saçılan fotonlar arasında bir enerji farkı vardır. Saçılma sırasında gelen fotonun enerjisinin bir kısmı atomun zayıf bağlı elektronlarına veya serbest elektronlarına transfer edilir. Bu enerji kaybı nedeniyle saçılan fotonların dalga boyları gelen fotonların dalga boyundan daha uzun olur. En çok gözlemlenen inkohherent saçılma şekli Compton saçılması olduğundan genellikle bu isimle bilinir[40].

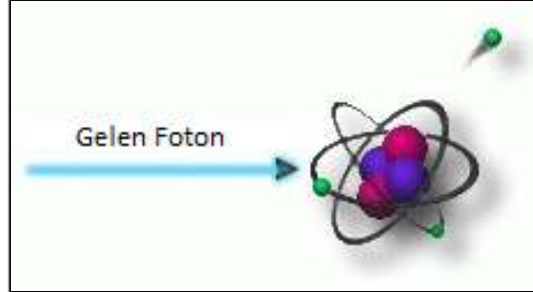


Şekil 3.4 İnkohherent saçılma [43]

3.1.3 Fotoelektrik olay

Düşük enerjili bir foton, içinden geçtiği ortamdaki atomların K veya L yörüngesindeki bir elektrona bütün enerjisini vererek onu pozitif yüklü çekirdeğin bağlayıcı etkisinden kurtarır. Koparılan bu elektrona fotoelektron denir. Bu olaya da fotoelektrik olay denir. Bu olay neticesinde oluşan elektron boşluğu dış yörüngedeki başka bir elektron tarafından doldurulur ve bu sırada X-ışını yayımlanır. 500 keV 'tan daha küçük enerjili fotonların ağır elementler tarafından soğurulmasında bu olay oldukça önemlidir. Bu olay sırasında gelen fotonun enerjisinin bir kısmı elektronu bağlı olduğu atomdan koparabilmek için harcanır, geri kalan kısmı ise koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır. Bu enerjinin küçük bir kesri de atoma geri

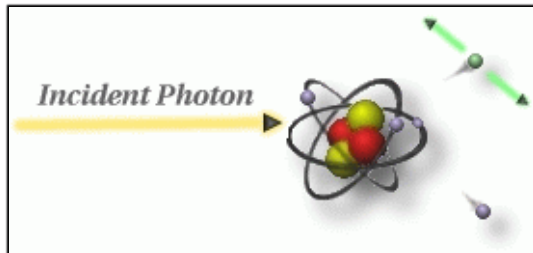
tepme enerjisi olarak aktarılır. Kurşun için foto-elektrik olay, 1 MeV 'a kadar olan fotonlarla oluşabilir. Foton elektron çarpışmaları düşük enerjilerde dış, yüksek enerjilerde ise iç yörüngelerde görülür.



Şekil 3.5 Fotoelektrik olay [43]

3.1.4 Çift oluşum

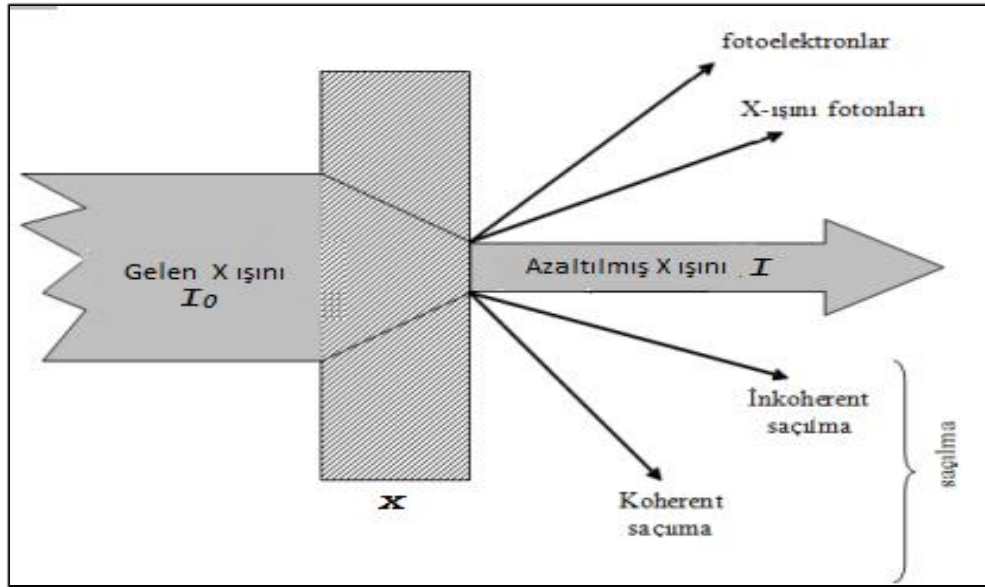
Fotonun enerjisi yeteri kadar büyükse ve bu foton ağır bir atom çekirdeğinin çok yakınından geçerse, fotonun enerjisinden çekirdek yakınında aynı anda biri negatif yüklü elektron diğeri pozitif yüklü pozitron olmak üzere iki parçacık oluşur. Böylece elektromanyetik bir dalgadan madde oluşur. Teorik olarak böyle bir çift oluşumunun meydana gelebilmesi için, fotonun enerjisinin en az 1,022 MeV olması gerekir. Foton enerjisinin daha büyük olduğu durumlarda ise bu enerjinin arta kalan kısmı elektron ve pozitrona kinetik enerji olarak aktarılır. Oluşan elektron, atomla serbest elektronlar gibi etkileşirken, pozitron ise bir yörünge elektronu ile birleşir ve zıt yönlü iki γ -ışını fotonu yayarak yok olur.



Şekil 3.6 Çift oluşumu [43]

3.2 Kütle Azaltma Katsayısı

Yüksek enerjili foton radyasyonu, x kalınlığındaki maddenin içinden geçerken enerjisi soğurulduğu için zayıflamış olarak diğer tarafa geçer(Şekil3.7). Radyasyonun şiddetinde meydana gelen bu azalma, Lambert-Beer yasasına göre soğurucu malzemenin x kalınlığı ve lineer azaltma katsayısı ile doğru orantılıdır.



Şekil 3.7 Foton radyasyon şiddetinin madde tarafından azaltılması

$$I = I_0 e^{(-\mu x)} \quad (3.1)$$

I_0 başlangıçtaki foton şiddeti

I azaltılmış foton şiddeti

μ lineer azaltma sayısı, cm^{-1}

x maddenin kalınlığı, cm

Lineer azaltma katsayısı, birim yüzeyde birim kalınlık başına düşen enerji azaltma kesri olarak tarif edilir ve bu değer gelen fotonun enerjisine bağlıdır[41]. Lineer azaltma katsayısının maddenin yoğunluğuna oranı birim zamanda birim kütle başına düşen azaltmadır ve kütle azaltma katsayısı olarak isimlendirilir.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (3.2)$$

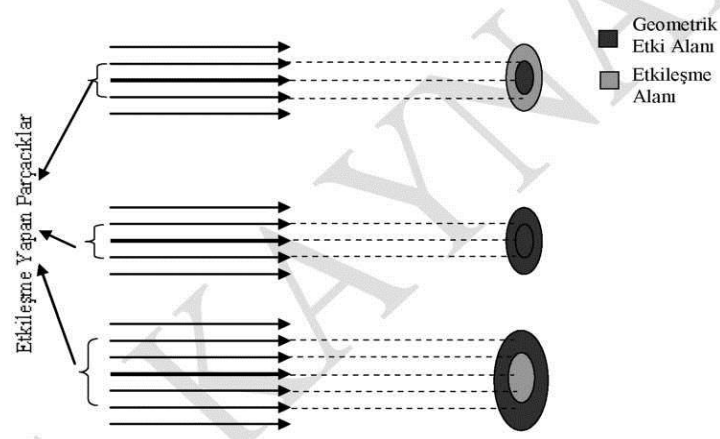
Kütle azaltma katsayısı, foton radyasyonu zırlama çalışmaları yapanlar için materyalin en önemli özelliklerindendir ve bu parametre yaygın olarak kullanılmaktadır. Maddenin kompozisyonuna, yoğunluğuna ve maddeye gönderilen foton enerjisi şiddetine istinaden kütle azaltma katsayısı sabittir. Kütle azaltma katsayısının birimi cm^2/g 'dır.

Materyallerin kütle azaltma sayısı radyasyon detektörleriyle deneysel verilere dayalı olarak hesaplanabildiği gibi, deneysel veriler doğrultusunda oluşturmuş formüllerle vasıtasıyla da hesaplanabilmektedir. Literatür bölümünde bahsedildiği gibi WinXCom programı Gerward et al[21,22] tarafından bu amaçla geliştirilmiştir ve genellikle deneysel verilere çok yakın değerler vermektedir. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan tüm kütle azaltma katsayıları WinXCom programı vasıtasıyla hesaplanacaktır.

3.3 Tesir Kesit

Nükleer fizikte radyasyonla madde arasındaki etkileşme ihtimali, tesir kesiti olarak nitelenir. Şekil 3.8'de bu kavram geometrik olarak gösterilmiştir[44]. Tesir kesiti tek bir atomla etkileşimden ziyade, tüm materyalin toplam tesir kesiti olarak ele alınmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlara göre toplam tesir kesit alanları hesaplanabilmektedir. Bu deneysel veriler doğrultusunda toplam tesir kesit alanları teorize edilmiş ve formülize edilerek yaklaşık sonuçlar elde edilebilir hale gelmiştir(Formül 3.3.-3.4).



Şekil 3.8 Tesir Kesitinin Geometrik Yorumu

$$\sigma_a = \frac{\mu_m}{N_A \sum_i (w_i / A_i)} \quad (3.3)$$

$$\sigma_e = \frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu_m)_i \quad (3.4)$$

σ_a Toplam atomik tesir kesit

σ_e Toplam elektronik tesir kesit

μ_m Kütle azaltma katsayısı

N_A Avogadro sayısı

A_i i elementinin kütle numarası

w_i i elementinin ağırlıkça yüzdesi

Z_i i elementinin atom numarası

f_i i elementinin molar yüzdesi

3.4 Etkin Atom ve Elektron Numarası

Etkin atom numarası bileşiklerin, karışımların ve alaşımların radyasyon soğurganlıkları ile ilgili önemli bir parametredir. Kompozit materyalin elementlerinin foton etkileşim tesir kesiti değişkenliğinden dolayı, sadece elementlerin atom numarası malzemenin karakteristiğini tüm enerjilerde sergilememektedir. Bu yüzden Hine[45], kompozit materyaller için etkin atom numarası tabirini kullanmış ve bu değerin enerjiye bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir. Etkin atom numarası teorik olarak toplam atom tesir kesitinin toplam elektronik tesir kesitine oranıdır.

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e} \quad (3.5)$$

Etkin atom numarası özellikle nükleer tıp alanında teşhis ve tedavi aşamalarında, doz hesaplamalarında ve radyasyondan korunma amaçlı yaygın olarak kullanılan bir parametredir.

$$N_{eff} = \frac{\mu_m}{\sigma_e} \quad (3.6)$$

Etkin atom numarası gibi etkin elektron numarası da benzer amaçlarla kullanılmaktadır[46]. Etkin elektron numarası birim kütlede maddeyle etkileşime giren elektron sayısının ölçüsüdür. Birimi elektron/gram(e/g) dir. Etkin elektron numarası materyalin kütle azaltma katsayısının toplam elektronik tesir kesite bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

4. YÖNTEM

İlk olarak WinXCom programı ile çeşitli camların farklı enerjilerdeki toplam kütle azaltma katsayıları hesaplanmıştır. Sonrasında formüller (3.3),(3.4),(3.5),(3.6) kullanılarak sırasıyla toplam atomik tesir kesit, toplam elektronik tesir kesit, etkin atom numarası ve etkin elektron numarası Microsoft Excell ortamında hesaplanmıştır. Sonuçlar kısmında μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} değerleri grafik şeklinde sunulmuştur. Bu işlemler üç farklı bölümde, farklı açılardan değerlendirilmiştir.

Birinci bölümde %30, %40, %50, %60, %70 PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum ve bor camlarının 1 keV-1 GeV enerji aralığındaki μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} değerleri hesaplanmıştır ve karşılaştırılmıştır.

İkinci bölümde %30, %40, %50, %60, %70 PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum ve bor camlarının 662 keV foton enerjisindeki kütle azaltma katsayıları hem literatürdeki deneysel verilerden elde edilmiştir, hem de teorik olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1, 4.2). Bu μ_m değerlerine göre etkin atom ve elektron numaraları hesaplanmıştır ve sonuçlar kısmında tablo lanmıştır. Bu bölümde teorik hesaplamalar Direct- Z_{eff} [47] programıyla da yapılarak tablo lanmıştır ve tüm sonuçların karşılaştırılması sağlanmıştır. İkinci bölümün son kısmında ise ağır metal oksit içeriğinin artırılmasına bağlı olarak kütle azaltma katsayısının, etkin atom ve elektron numarasının değişimi gözlemlenmiştir ve aralarında doğrusal ilişki olup olmadığı hakkında bilgi edinebilmek için grafikler halinde sunulmuştur.

Çizelge 4.1 662 keV'ta (%30-70) BaO, Bi₂O₃ veya PbO içeren silisyum camının deneysel kütle azaltma katsayıları [33]

	μ_m Deneysel		μ_m Deneysel		μ_m Deneysel
%30PbO- %70SiO ₂	8,64±0,23	%30Bi ₂ O ₃ - %70SiO ₂	8,03±0,65	%30BaO- %70SiO ₂	7,74±0,25
%40PbO- %60SiO ₂	9,47±0,12	%40Bi ₂ O ₃ - %60SiO ₂	8,58±1,13	%40BaO- %60SiO ₂	7,81±0,15
%50PbO- %50SiO ₂	9,31±0,11	%50Bi ₂ O ₃ - %50SiO ₂	9,20±0,62	%50BaO- %50SiO ₂	7,59±0,12
%60PbO- %40SiO ₂	9,72±0,18	%60Bi ₂ O ₃ - %40SiO ₂	9,68±0,31	%60BaO- %40SiO ₂	8,04±0,10
%70PbO- %30SiO ₂	9,86±0,26	%70Bi ₂ O ₃ - %30SiO ₂	9,51±0,38	%70BaO- %30SiO ₂	7,76±0,09

Üçüncü bölümde radyasyon zırhlayıcı cam üreten firmaların ürün tanıtım broşürleri ve internet siteleri incelenerek ağır metal oksit içerik bilgileri temin edilmiştir (Çizelge 4.3). Bu cam karışımlarının ağır metal oksit yüzdesinden geriye kalan kısmı SiO₂ yüzdesi olarak varsayılmıştır ve hesaplamalar bu oranlara bağlı olarak yapılmıştır. Bu camların içeriği sırasıyla %33 PbO-%67 SiO₂, %45 PbO- %55 SiO₂, %71 PbO-%29 SiO₂, (%48 PbO+%15 BaO)-%37 SiO₂, (%52 PbO+%17 BaO) -%31 SiO₂ şeklinde olduğu varsayılmıştır ve 1 keV-1 GeV enerji aralığındaki μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} değerleri hesaplanarak grafik halinde sunulmuştur.

Çizelge 4.2 662 keV'ta (%30-70) BaO, Bi₂O₃ veya PbO içeren bor camının deneysel kütle azaltma katsayıları [30,36]

	μ_m Deneysel		μ_m Deneysel		μ_m Deneysel
%30PbO- %70B ₂ O ₃	8,31±0,18	%30Bi ₂ O ₃ - %70B ₂ O ₃	8,98±0,11	%30BaO- %70B ₂ O ₃	7,59±0,15
%40PbO- %60B ₂ O ₃	8,93±0,17	%40 Bi ₂ O ₃ - %60B ₂ O ₃	8,68±0,10	%40BaO- %60B ₂ O ₃	7,11±0,10
%50PbO- %50B ₂ O ₃	8,87±0,10	%50 Bi ₂ O ₃ - %50B ₂ O ₃	8,71±0,09	%50BaO- %50B ₂ O ₃	7,93±0,19
%60PbO- %40B ₂ O ₃	9,12±0,16	%60 Bi ₂ O ₃ - %40B ₂ O ₃	9,57±0,15	%60BaO- %40B ₂ O ₃	7,31±0,13
%70PbO- %30B ₂ O ₃	9,96±0,14	%70 Bi ₂ O ₃ - %30B ₂ O ₃	10,27±0,12	%70BaO- %30B ₂ O ₃	7,21±0,14

Çizelge 4.3 Schott firması tarafından üretilen radyasyon zırhlayıcı camların PbO içerikleri [2]

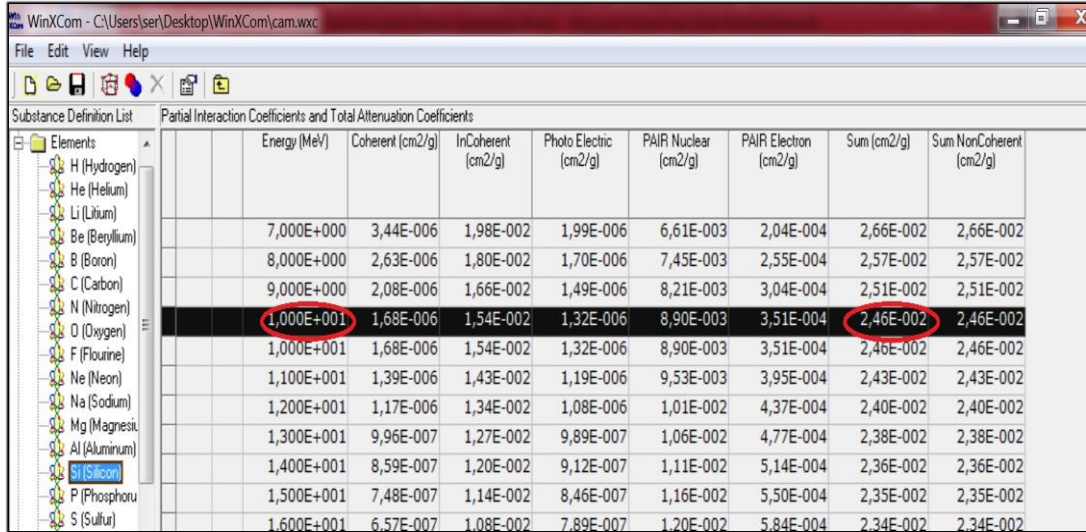
Camın Modeli	RS 323 G19	RS360	RS520
PbO içeriği (%w)	33	45	71

Hesaplamalar için kullanılan WinXcom ve Direct-Z_{eff} programları kısaca aşağıda tanımlanmıştır.

4.1 WinXCom Bilgisayar Programı

WinXCom programı temelleri Berger ve Hubbell [20] tarafından atılmış olup Gerward et al. [21,22] tarafından geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Bu programa elementlerin ve/veya bileşiklerin konsantrasyon değerleri girilerek kütle azaltma katsayıları hakkında teorik hesaplar yapılabilir. Bu program

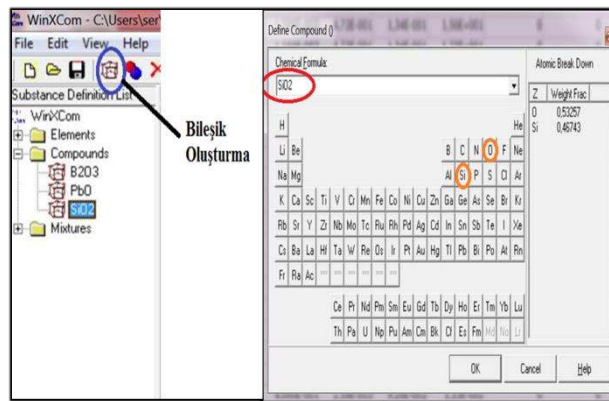
sayesinde herhangi bir element, bileşik ya da karışımın kütle azaltma katsayıları, atomik fotoelektrik olay, inkoherent saçılma, koherent saçılma ve çift oluşumu gibi kısmi foton etkileşimleri için ayrı ayrı hesaplanabilmektedir (Şekil 4.1). WinXCom ile elde edilen veriler Microsoft Excel programına aktarabilmektedir. Bu tez çalışmasındaki kütle azaltma katsayıları, teorik olarak WinXCom programı kullanılarak elde edilmiştir.



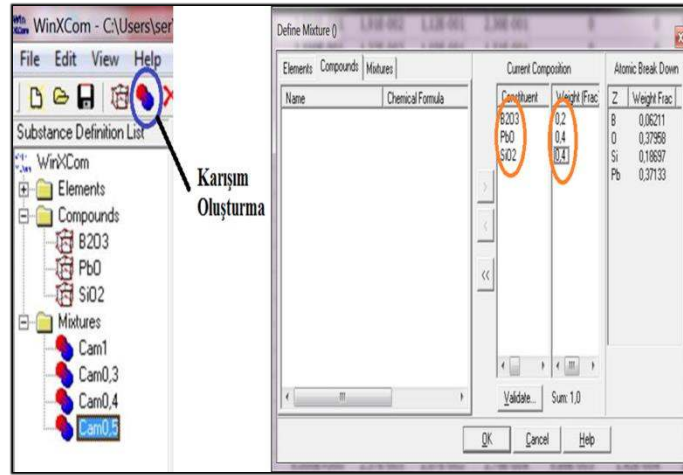
Elements	Energy (MeV)	Coherent (cm²/g)	InCoherent (cm²/g)	Photo Electric (cm²/g)	PAIR Nuclear (cm²/g)	PAIR Electron (cm²/g)	Sum (cm²/g)	Sum NonCoherent (cm²/g)
H (Hydrogen)	7,000E+000	3,44E-006	1,98E-002	1,99E-006	6,61E-003	2,04E-004	2,66E-002	2,66E-002
He (Helium)	8,000E+000	2,63E-006	1,80E-002	1,70E-006	7,45E-003	2,55E-004	2,57E-002	2,57E-002
Li (Lithium)	9,000E+000	2,08E-006	1,66E-002	1,49E-006	8,21E-003	3,04E-004	2,51E-002	2,51E-002
Be (Beryllium)	1,000E+001	1,68E-006	1,54E-002	1,32E-006	8,90E-003	3,51E-004	2,46E-002	2,46E-002
B (Boron)	1,000E+001	1,68E-006	1,54E-002	1,32E-006	8,90E-003	3,51E-004	2,46E-002	2,46E-002
C (Carbon)	1,100E+001	1,39E-006	1,43E-002	1,19E-006	9,53E-003	3,95E-004	2,43E-002	2,43E-002
N (Nitrogen)	1,200E+001	1,17E-006	1,34E-002	1,08E-006	1,01E-002	4,37E-004	2,40E-002	2,40E-002
O (Oxygen)	1,300E+001	9,96E-007	1,27E-002	9,89E-007	1,06E-002	4,77E-004	2,38E-002	2,38E-002
F (Flourine)	1,400E+001	8,59E-007	1,20E-002	9,12E-007	1,11E-002	5,14E-004	2,36E-002	2,36E-002
Ne (Neon)	1,500E+001	7,48E-007	1,14E-002	8,46E-007	1,16E-002	5,50E-004	2,35E-002	2,35E-002
Na (Sodium)	1,600E+001	6,57E-007	1,08E-002	7,89E-007	1,20E-002	5,84E-004	2,34E-002	2,34E-002

Şekil 4.1 WinXCom bilgisayar programı arayüzü

Bu programla bileşik ve karışımların kütle azaltma katsayıları hesaplanabilir. Bileşik oluşturmak için Şekil 4.2’ de gösterilen düğmeye basmak ve çıkan ekranda bileşikteki elementleri ve sayılarını girmek yeterlidir. Bileşiklerden karışım oluşturmak için ise Şekil 4.3’ de gösterilen düğmeye basmak ve çıkan ekranda bileşiklerin sadece ağırlıkça yüzdelarını girmek gerekmektedir.



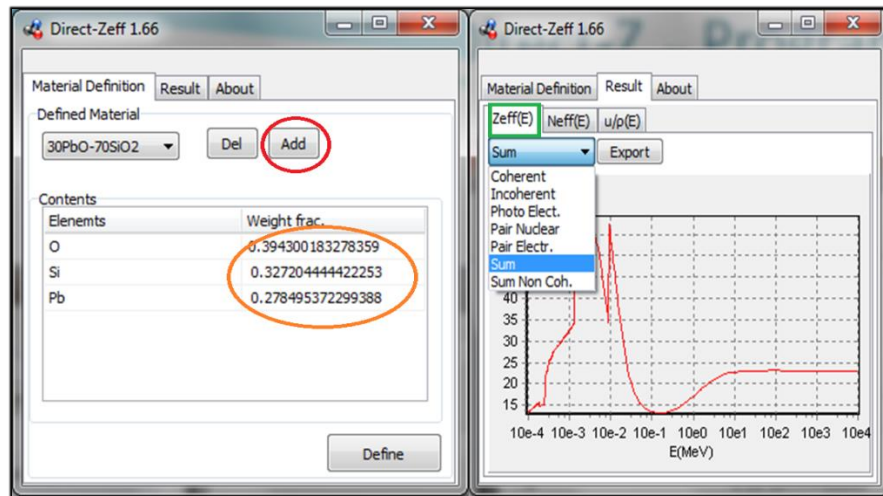
Şekil 4.2 WinXCom bilgisayar programı ile bileşik oluşturma



Şekil 4.3 WinXCom bilgisayar programı ile karışım oluşturma

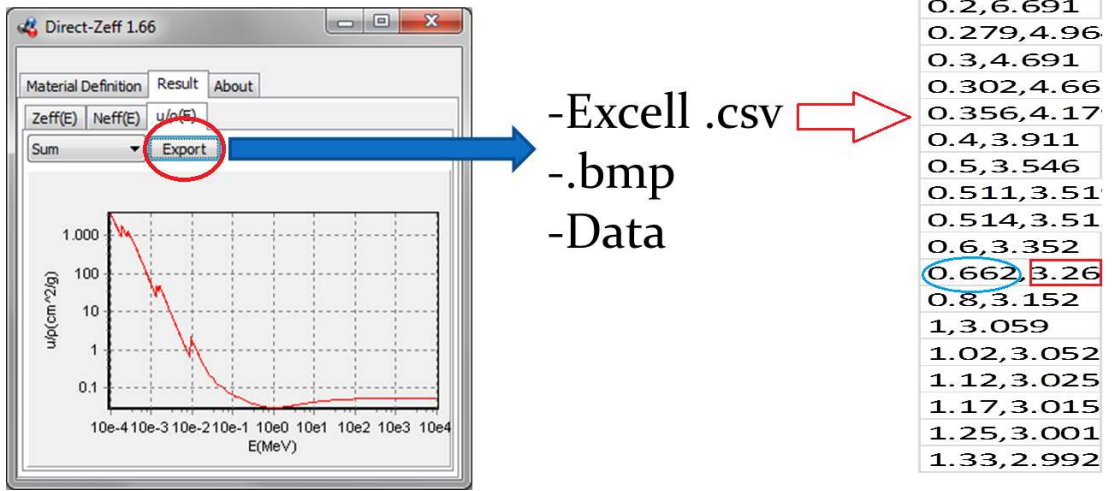
4.2 Direct-Z_{eff} Bilgisayar Programı

Direct-Z_{eff} programı Ün et al.[47] tarafından 2014 yılında tanıtılmıştır ve WinXcom programındaki gibi teorik sonuçların elde edilebildiği bir programdır. Bu program vasıtasıyla materyallerin kütle azaltma katsayısı, etkin atom numarası ve etkin elektron numarası hesaplanmaktadır. Veriler Microsoft Excell programına csv formatında aktarılabilir. Bu tez çalışmasında 662 keV foton enerjisinde çeşitli camlar için hesaplanan etkin atom ve elektron numaralarıyla karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 4.4 Direct-Zeff bilgisayar programı arayüzü ve karışım oluşturma

Bu programla bileşik ve karışım oluşturmak için Şekil 4.4’ de gösterilen “Add” düğmesine basılmalı ve çıkan ekranda bileşikteki elementler ve bu elementlerin ağırlıça/molar yüzdeleri girilmelidir. Bu programda da fotoelektrik olay, inkoherent saçılma, koherent saçılma ve çift oluşumu gibi kısmi foton etkileşimleri için ayrı ayrı kütle azaltma katsayıları hesaplanabilmekte ilaveten etkin atom ve elektron numaraları da kısmi olarak hesaplanabilmektedir. Sonuçlar Şekil4.5’de görüldüğü gibi “Result ” menüsünde grafik halinde izlenebileceği gibi, “Export” düğmesine basılarak excel(.csv) veya resim(.bmp) dosyası olarak da kaydedilebilmektedir.



Şekil 4.5 Direct-Zeff bilgisayar programıyla oluşturulan maddenin verileri

5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

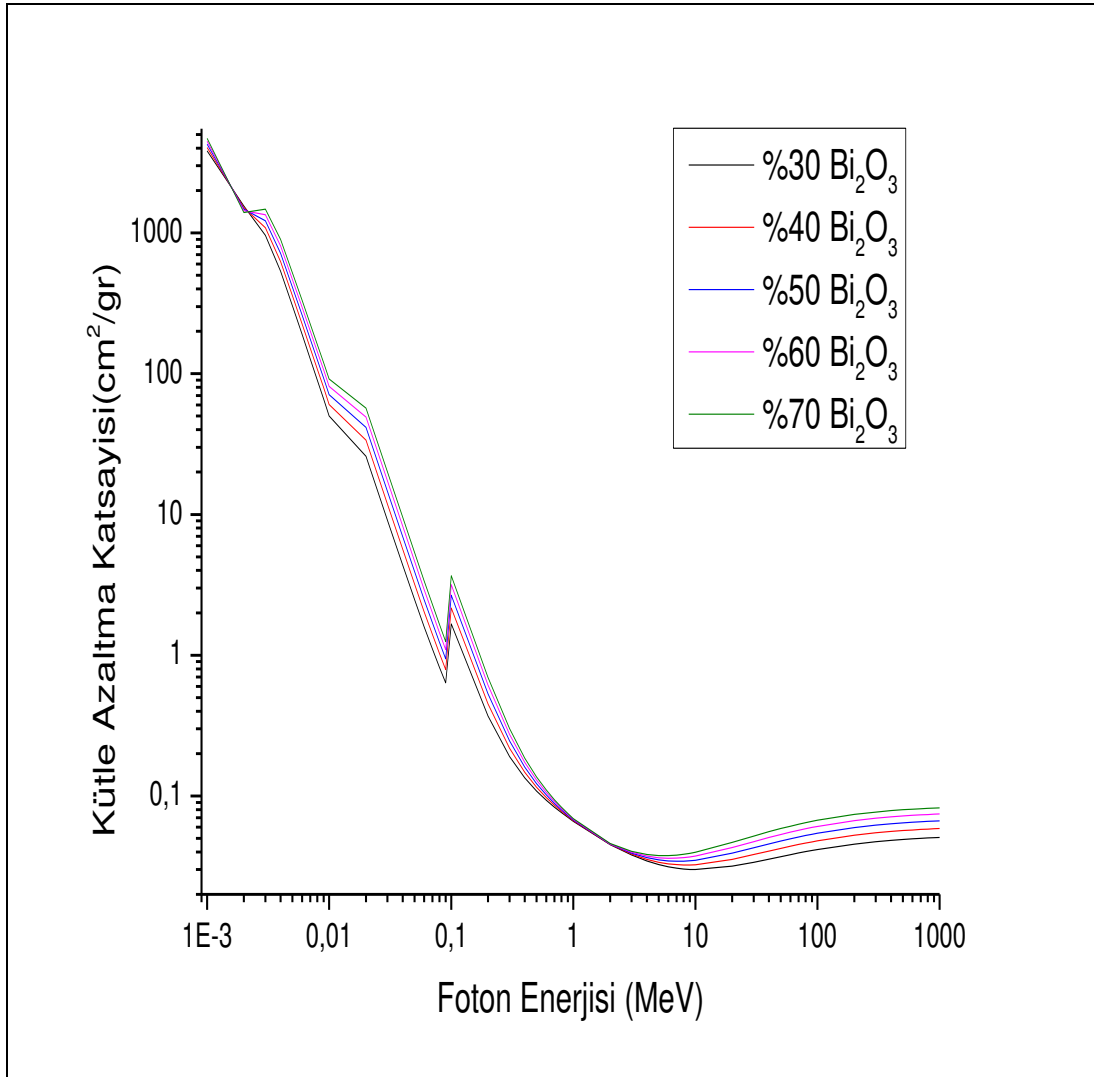
Birinci bölümde %30, %40, %50, %60, %70 oranında PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum ve bor camlarının 1keV-1GeV enerji aralığındaki μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} değerleri grafikler halinde sunulmuştur. İkinci bölümde literatürden elde edilen deneysel kütle azaltma katsayısı verilerine göre %30, %40, %50, %60, %70 PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum ve bor camlarının 662 keV foton enerjisindeki etkin atom ve elektron numaraları tablolanmıştır. Üçüncü bölümde ise radyasyon zırhlayıcı cam üreten firmaların ürün tanıtım broşürlerinden elde edilen verilere istinaden karşılaştırmalar yapılmaktadır.

5.1 (x) PbO, Bi₂O₃, BaO : (100-x) SiO₂, B₂O₃ İçerikli Camların 1 keV-1 GeV Enerji Aralığındaki μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} Değerlerinin İncelenmesi

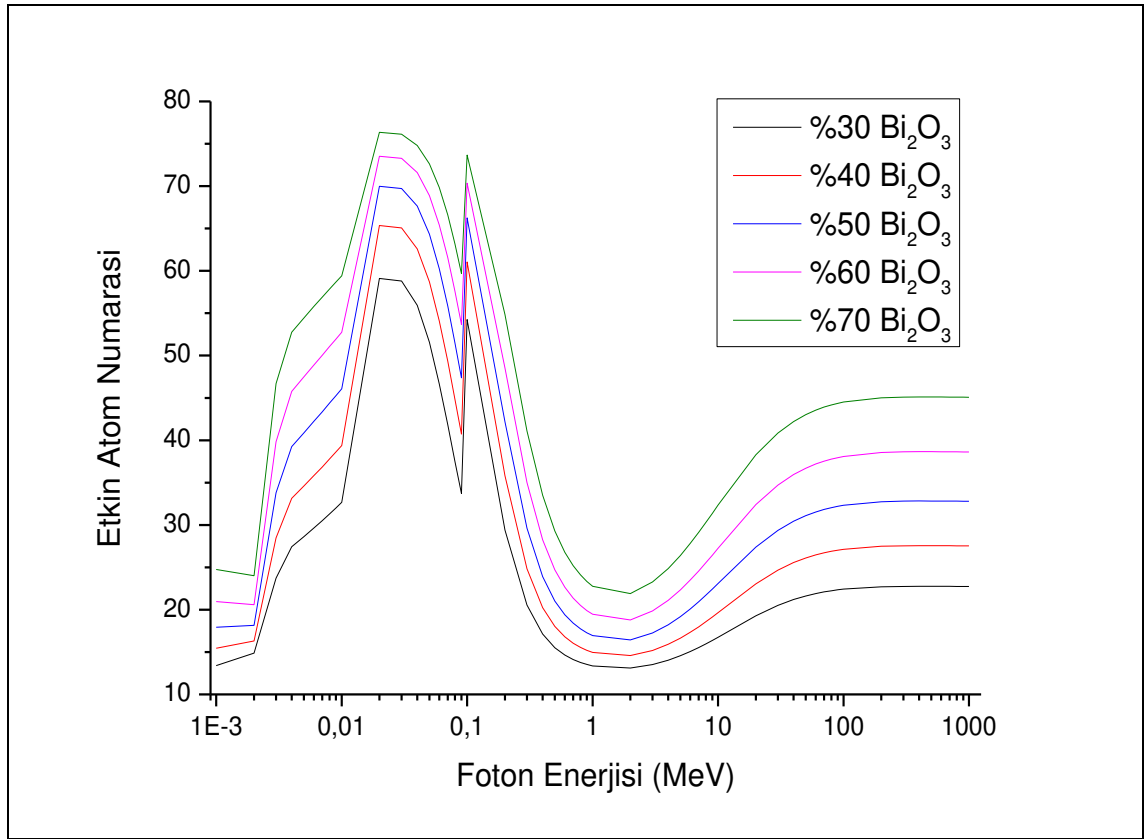
%30, %40, %50, %60, %70 oranında PbO, Bi₂O₃, BaO içeren tüm silisyum ve bor camlarının 1 keV-1 GeV enerji aralığındaki μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} değerleri sırasıyla hesaplanmıştır ve benzer sonuçlar elde edildiği için sadece Bi₂O₃ içeren silisyum camlarının kütle azaltma katsayısı, etkin atom ve elektron numaraları grafikler halinde sunulmuştur. Daha sonra ağır metal oksitlerin μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} değerlerine etkisini karşılaştırabilmek amacıyla %30 ve %70 oranında PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum ve bor camlarının çeşitli enerji aralıklarındaki kütle azaltma katsayısı, etkin atom ve elektron numaraları hesaplanmıştır ve benzer sonuçlar elde edildiği için sadece silisyum camlarının grafikleri gösterilmiştir. Sonrasında %50 oranında PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum ve bor camlarının μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} değerleri karşılaştırılarak bor ile silisyumun ve kurşunoksit, bizmutoksit ile baryumoksit etkileri grafikler şeklinde incelenmiştir.

Şekil5.1 örneğinde görüldüğü üzere ağır metal oksit oranları arttıkça kütle azaltma katsayısının arttığı dolayısıyla da radyasyon soğurganlığının arttığı gözlemlenmektedir. Grafik halinde gösterilmeyen fakat yapılan hesaplamalara istinaden PbO içeren camın K soğurma kıyısının 80 keV, Bi₂O₃ içeren camın K soğurma kıyısının 90 keV ve BaO içeren camın K soğurma kıyıların 5 keV ve 30 keV civarında olduğu anlaşılmaktadır. Şekil5.2 örneğinde görüldüğü üzere ağır metal oksit oranları arttıkça tüm enerji seviyelerinde etkin atom numarasının arttığı gözlemlenmektedir. Fotoelektrik olayın baskın olduğu 0,01-0,2 MeV enerji

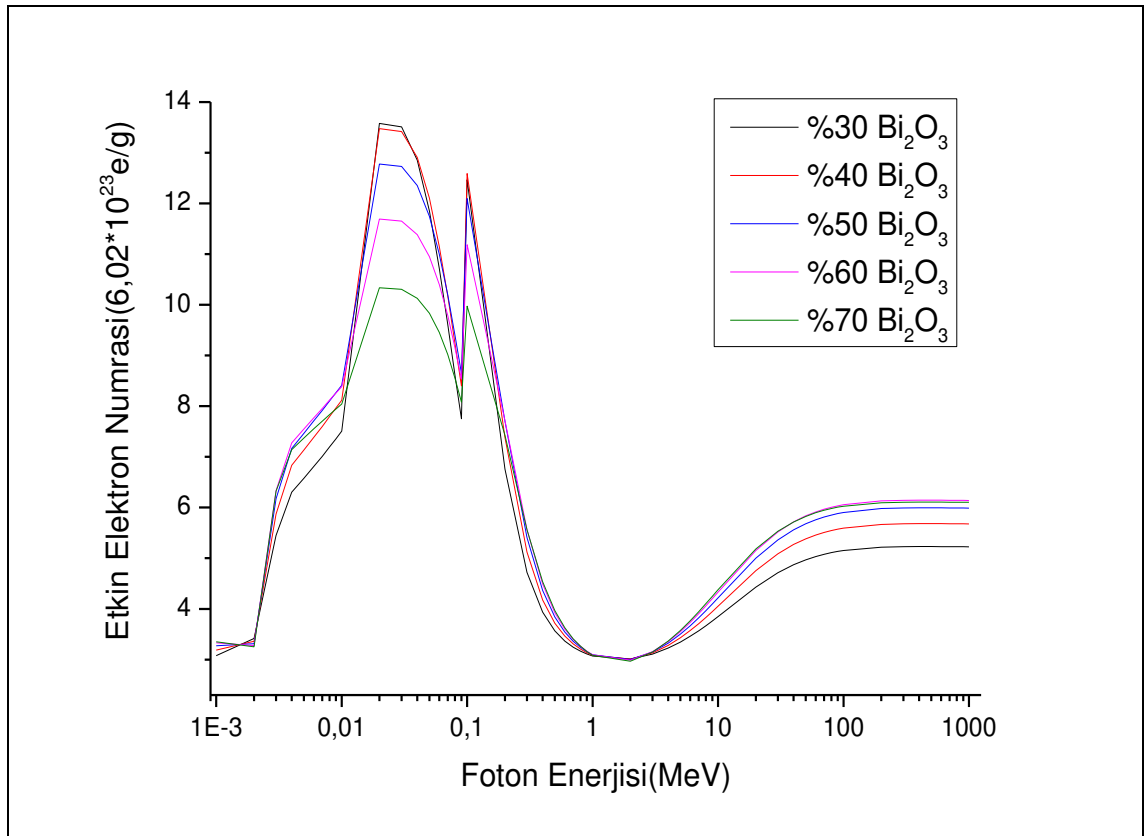
aralığında etkin atom numarasının en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir. Bu enerji aralığında sadece K soğurma kıyısında ani bir düşüş olmaktadır. Şekil5.3 örneğinde görüldüğü üzere ağır metal oksit oranlarının artması farklı enerji seviyelerinde farklı etkin elektron numarası sonuçlarının çıkmasına neden olmaktadır. 0,01-0,2 MeV enerji aralığında etkin elektron numarasının en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir. Bu enerji aralığında sadece K soğurma kıyısında ani bir düşüş olmaktadır. 0,01-0,2 MeV enerji aralığında ağır metal oksit oranları arttıkça etkin elektron numarasının düştüğü görülmektedir.



Şekil 5.1 Bi₂O₃ içerikli silisyum camının kütle azaltma katsayısı grafiği

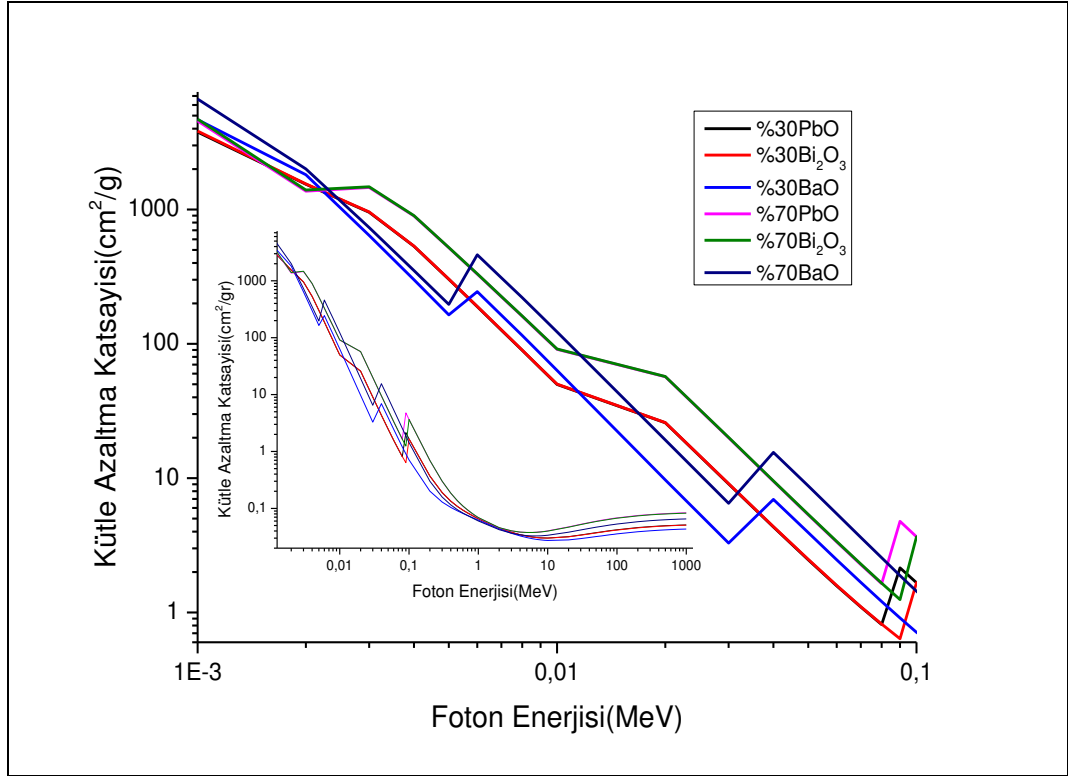


Şekil 5.2 Bi_2O_3 içerikli silisyum camının etkin atom numarası grafiği



Şekil 5.3 Bi_2O_3 içerikli silisyum camının etkin elektron numarası grafiği

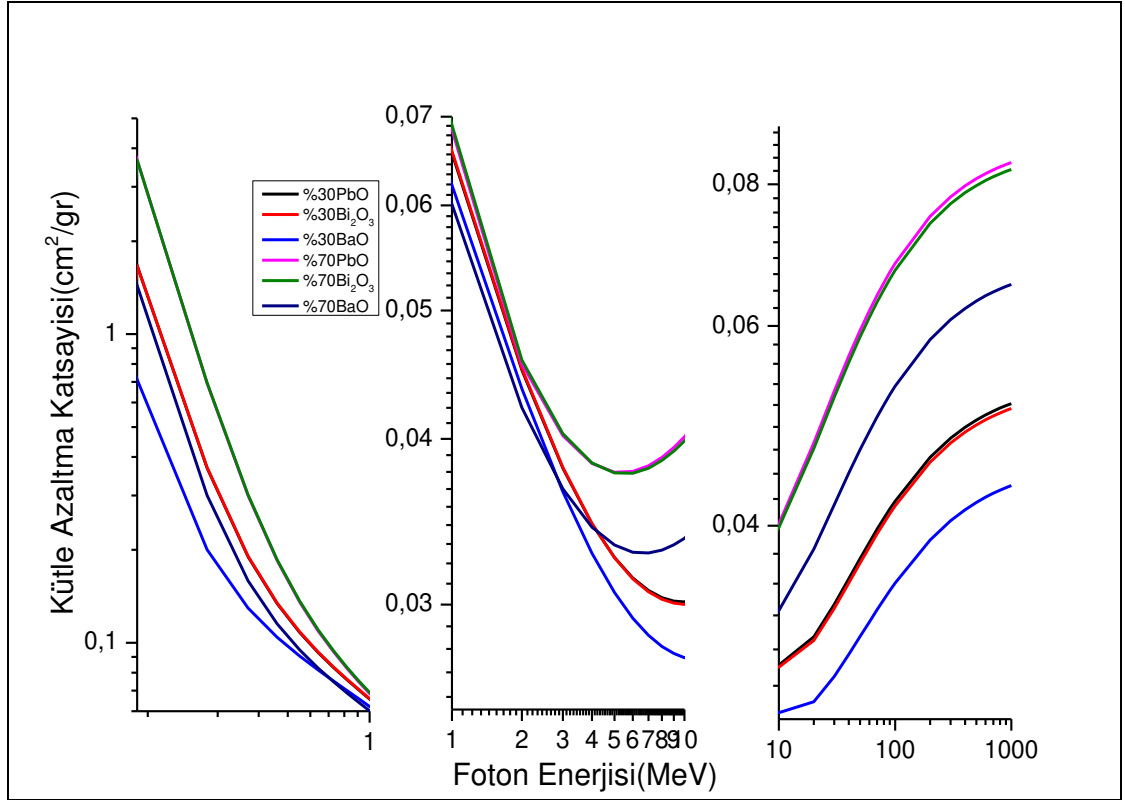
Şekil 5.4'te genel itibariyle PbO ve Bi₂O₃ içeren camların hemen hemen aynı kütle azaltma katsayısına sahip olduğunu, BaO içeren camların diğerlerine nazaran daha düşük kütle azaltma katsayısına sahip olduğu sonucuna varılmaktadır. 1-100 keV arasındaki bazı enerji aralıklarında (40-70 keV) BaO içeren camın kütle azaltma katsayısının, PbO ve Bi₂O₃ içeren camlarinkinden daha yüksek olduğu da görülmektedir.



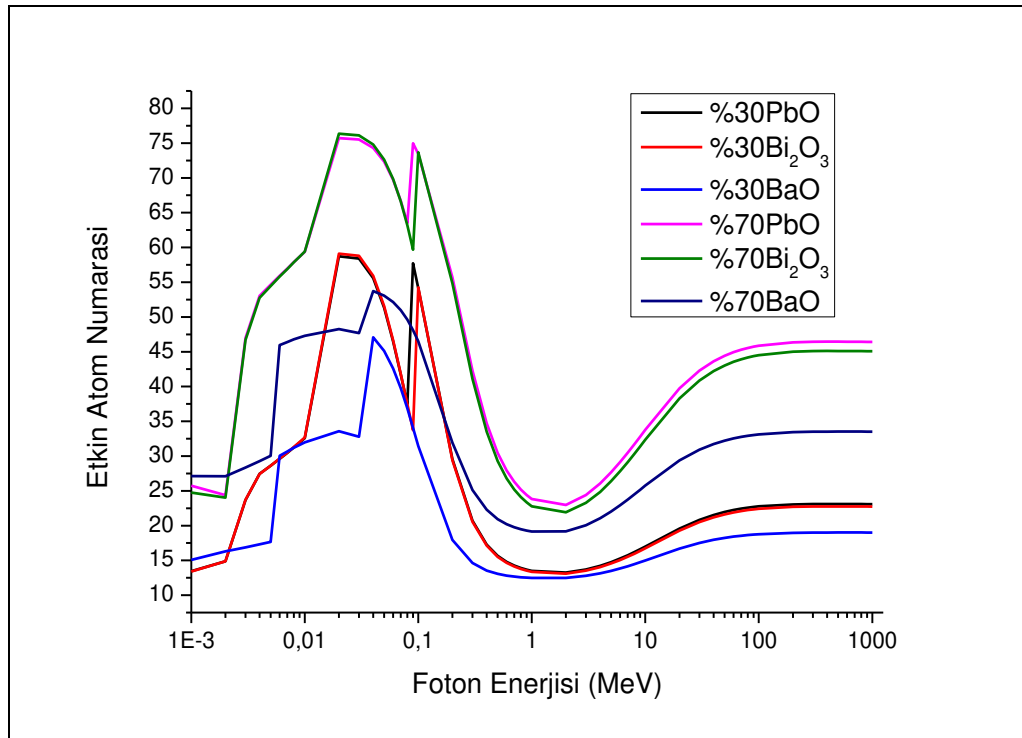
Şekil 5.4 %30 ve %70 oranında PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum camlarının kütle azaltma katsayıları grafiği (0,001-0,1 MeV)

Şekil 5.5'te 100 keV-1 MeV arasında %30 PbO veya Bi₂O₃ içeren camların bile %70 BaO içeren camdan daha yüksek kütle azaltma katsayısına sahip olduğu ve bu üstünlüğün yaklaşık 4,5 MeV'a kadar devam ettiği görülmektedir.

Şekil 5.6'da PbO ve Bi₂O₃ muhtevalı camların genellikle hemen hemen aynı etkin atom numarasına sahip olduğunu ve BaO muhtevalı camlarinkinden daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Yaklaşık 0,2 MeV'tan sonra %70 BaO içeren camın %30 PbO veya Bi₂O₃ içeren camlardan daha yüksek etkin atom numarasına sahip olduğu, fakat daha düşük enerji değerlerinde K soğurma kırımları hariç tam tersi bir durum olduğu görülmektedir.

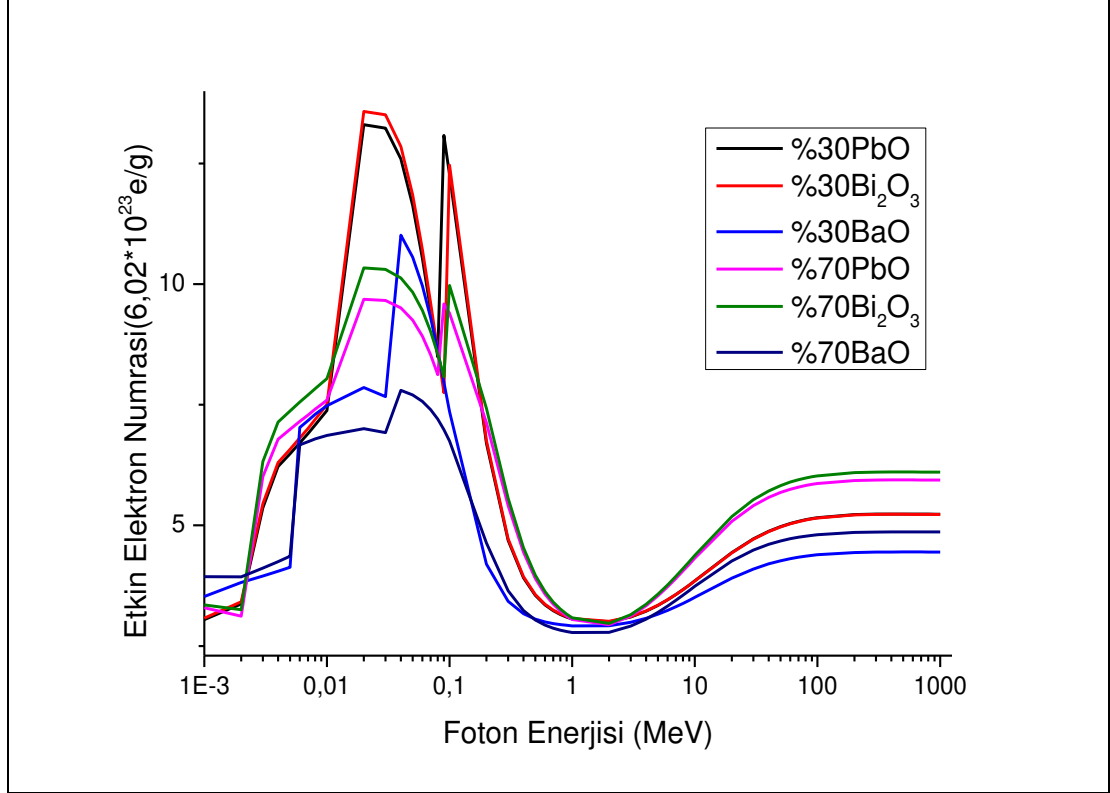


Şekil 5.5 %30 ve %70 oranında PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum camlarının kütle azaltma katsayıları grafiği



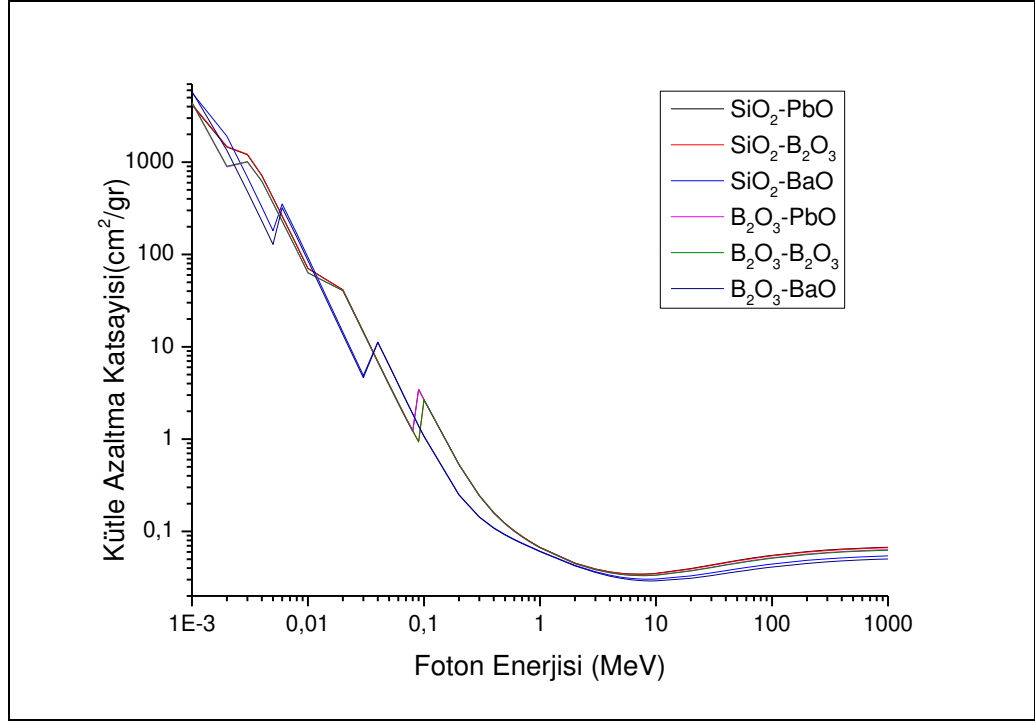
Şekil 5.6 %30 ve %70 oranında PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum camlarının etkin atom numaraları grafiği

Şekil 5.7’de genellikle %30 BaO muhtevalı camın etkin elektron numarasının bile %70 PbO veya Bi₂O₃ muhtevalı camlardan düşük olduğu, BaO içerikli camın sadece 40-70 keV enerji aralığında üstün olduğu gözlemlenmektedir.

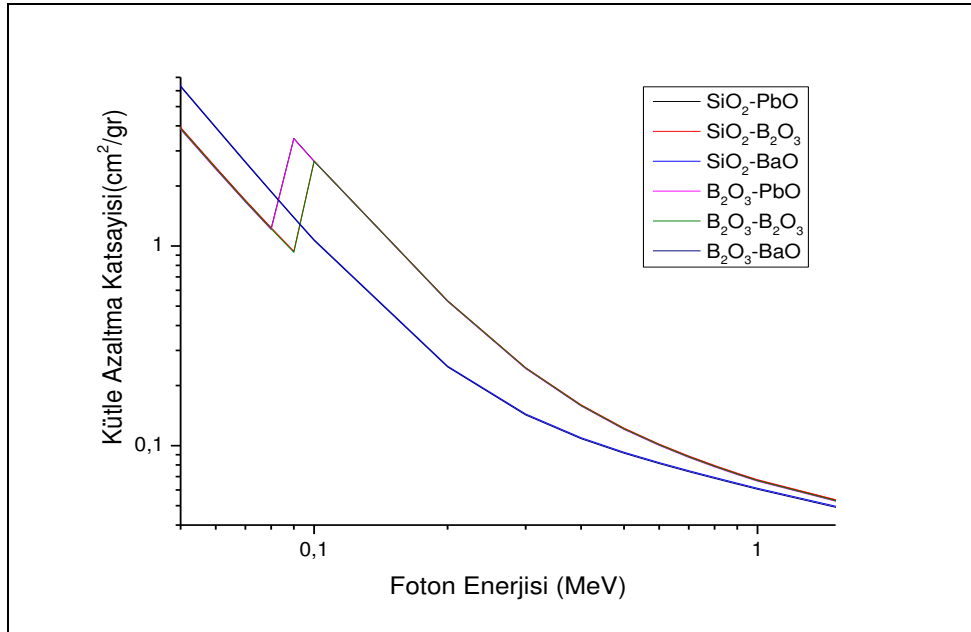


Şekil 5.7 %30 ve %70 oranında PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum camlarının etkin elektron numaraları grafiği

Şekil 5.8 ve 9’da aynı oranda ağır metal oksit içeren silisyum veya bor camlarının hemen hemen aynı kütle azaltma katsayısına sahip olduğu görülmektedir. PbO veya Bi₂O₃ içeren silisyum ve bor camlarının benzer sonuçlar verdiği ve BaO içeren camlara göre daha yüksek kütle azaltma katsayısına sahip olduğu görülmektedir. BaO muhtevalı silisyum veya bor camının sadece 6-9 keV ve 40-70 keV arasında daha yüksek olduğu diğer enerji aralıklarında durumun tersine olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5.10’da genellikle PbO veya Bi₂O₃ içeren silisyum ve bor camlarının etkin atom numarasının BaO içerenlere yüksek olduğu görülmüştür. Sadece 0,5-15 MeV arasında ise BaO muhtevalı camların diğerlerine nazaran daha yüksek etkin atom numarasına sahip olduğu görülmüştür. Bunun muhtemel sebebinin silisyum ve bor elementlerinin compton saçılması farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



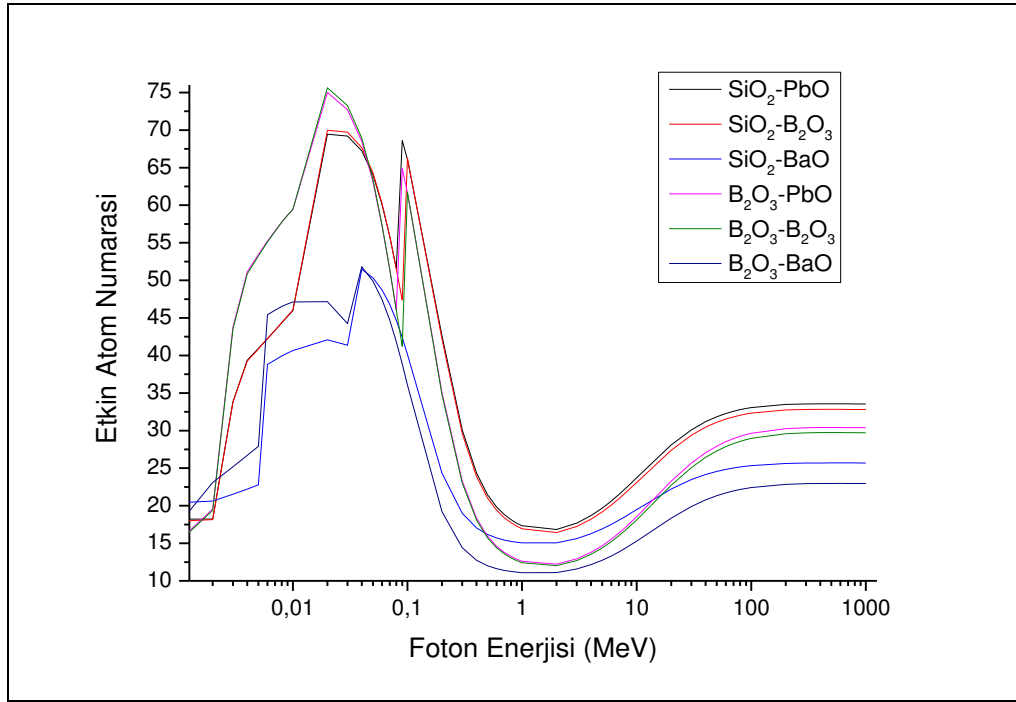
Şekil 5.8 %50 PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum ve bor camlarının kütle azaltma katsayıları grafiğı



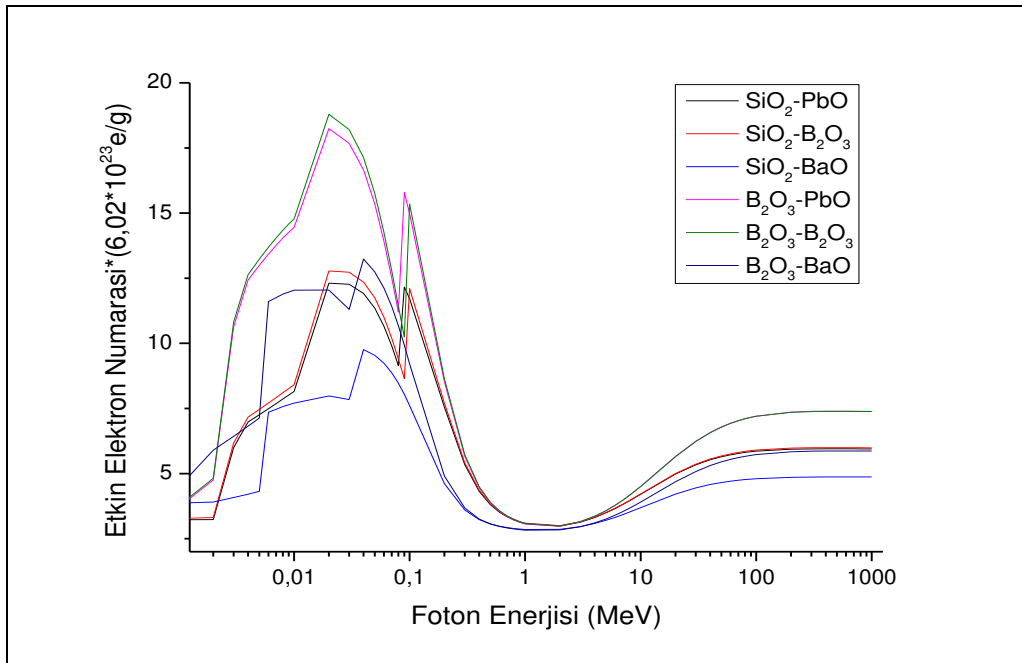
Şekil 5.9 %50 PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum ve bor camlarının kütle azaltma katsayıları grafiğı (0,05-1,5 MeV)

Şekil 5.11’de genellikle bor camlarının etkin elektron numaralarının silisyum camlarına göre yüksek olduğı gözlemlenmiştir. BaO içeren bor veya silisyum camlarının etkin elektron numaralarının diğr camlardan genellikle düşük olduğı,

sadece 40-70 keV ve 1-20 keV gibi enerji aralıklarında yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.10 %50 PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum ve bor camlarının etkin atom numaraları grafiği



Şekil 5.11 %50 PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum ve bor camlarının etkin elektron numaraları grafiği

5.2 (x) PbO, Bi₂O₃, BaO : (100-x) SiO₂, B₂O₃ İçerikli Camların 662 keV Foton Enerjisindeki μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} Teorik ve Deneysel Değerlerinin Karşılaştırılması

İkinci bölümde %30, %40, %50, %60, %70 oranında PbO, Bi₂O₃, BaO içeren öncelikle silisyum camlarının 662 keV foton enerjisindeki hem deneysel hem de teorik kütle azaltma katsayıları tablolanmıştır. Bu kütle azaltma katsayılarına bağlı olarak etkin atom ve elektron numaraları da aynı tabloda gösterilmiştir. Ek olarak Direct- Z_{eff} programıyla elde edilen μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} değerleri de aynı tabloda (Çizelge 5.1) gösterilmiştir. Aynı işlemler bor camları için de uygulanmıştır ve Çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Sonrasında, bu tablolardaki deneysel ve teorik μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} verileri kullanılarak bu verilerin ağır metal oksit oranıyla doğrusal(lineer) ilişkisi olup olmadığı görülmesi açısından tüm kombinasyonlar için grafikler çizilmiştir.

Deneysel kütle azaltma katsayılarına istinaden Z_{eff} ve N_{eff} değerleri hesaplanırken sapmalar da göz önünde bulundurulmuştur. Deneysel kütle azaltma katsayılarının en düşük, en yüksek ve ortalama değeri olmak üzere üç verisine dayalı olarak etkin atom ve elektron numaralarının en düşük, en yüksek ve ortalama değerleri hesaplanmış ve tabloya işlenmiştir. İlaveten, tablolardaki μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} değerleri, literatürden elde edilen deneysel verilerde olduğu gibi virgülden sonra iki hane olacak şekilde yazılmıştır ve grafikler bu değerlere göre çizilmiştir. Bu sebeple bazı teorik verilerin doğrusallığında küçük sapmalar görülmüştür.

Çizelge 5.1’de PbO içeren silisyum camının 662 keV’taki teorik ve deneysel kütle azaltma katsayısı, etkin elektron ve atom numarası değerlerinin birbiriyle uyumlu olduğu; sadece %40 PbO-%60 SiO₂ camında küçük bir farklılık görüldüğü ve buna bağlı olarak da Z_{eff} ve N_{eff} değerlerinde küçük farklılıklar olduğu görülmektedir.

Bi₂O₃ içeren silisyum camının 662 keV’taki teorik ve deneysel kütle azaltma katsayısı, etkin elektron ve atom numarası değerlerinin birbiriyle uyumlu olduğu; sadece %70 Bi₂O₃ -%30 SiO₂ camında çok küçük bir farklılık görüldüğü ve buna bağlı olarak da Z_{eff} ve N_{eff} değerlerinde çok küçük farklılıklar olduğu görülmektedir. Bi₂O₃ içeren silisyum camının 662 keV’taki teorik ve deneysel kütle azaltma katsayısı, etkin elektron ve atom numarası değerlerinin birbiriyle uyumlu olduğu; sadece %60 BaO -%40 SiO₂ camında çok küçük bir farklılık görüldüğü ve

Çizelge5.1 %30-70 PbO, Bi₂O₃, BaO içeren silisyum camlarının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m (*10⁻² cm²/g), Z_{eff} , N_{eff} (*6,02*10²³ e/g) değerleri

	WinXCom	Kaynak[33]	Hesaplamalar				Direct-Zeff Programı		
	μ_m Teorik	μ_m Deneysel	Z_{eff} Teorik	Z_{eff} Deneysel	N_{eff} Teorik	N_{eff} Deneysel	μ_m Teorik	Z_{eff} Teorik	N_{eff} Teorik
%30PbO- %70SiO ₂	8,64	8,64±0,23	14,43	14,43±0,38	3,27	3,27±0,09	8,64	14,43	3,27
%40PbO- %60SiO ₂	8,95	9,47±0,12	16,54	17,51±0,22	3,34	3,53±0,04	8,94	16,53	3,34
%50PbO- %50SiO ₂	9,25	9,31±0,11	19,15	19,27±0,23	3,39	3,42±0,04	9,25	19,14	3,39
%60PbO- %40SiO ₂	9,56	9,72±0,18	22,47	22,86±0,43	3,43	3,49±0,06	9,55	22,46	3,43
%70PbO- %30SiO ₂	9,86	9,86±0,26	26,84	26,83±0,70	3,43	3,43±0,09	9,85	26,82	3,43
%30Bi ₂ O ₃ - %70SiO ₂	8,68	8,03±0,65	14,29	13,23±0,97	3,28	3,04±0,25	8,69	14,31	3,29
%40Bi ₂ O ₃ - %60SiO ₂	8,99	8,58±1,13	16,29	15,55±2,05	3,36	3,21±0,42	9,01	16,32	3,36
%50Bi ₂ O ₃ - %50SiO ₂	9,31	9,20±0,62	18,74	18,52±1,25	3,42	3,38±0,23	9,33	18,77	3,43
%60Bi ₂ O ₃ - %40SiO ₂	9,62	9,68±0,31	21,79	21,92±0,70	3,47	3,49±0,11	9,65	21,83	3,47
%70Bi ₂ O ₃ - %30SiO ₂	9,94	9,51±0,38	25,72	24,61±0,98	3,48	3,33±0,13	9,97	25,77	3,49
%30BaO- %70SiO ₂	7,74	7,74±0,25	12,72	12,73±0,41	2,98	2,98±0,09	7,74	12,72	2,98
%40BaO- %60SiO ₂	7,74	7,81±0,15	13,99	14,11±0,27	2,96	2,99±0,06	7,74	13,98	2,96
%50BaO- %50SiO ₂	7,74	7,59±0,12	15,53	15,22±0,24	2,94	2,89±0,04	7,74	15,52	2,94
%60BaO- %40SiO ₂	7,75	8,04±0,10	17,45	18,11±0,22	2,92	3,03±0,04	7,75	17,45	2,92
%70BaO- %30SiO ₂	7,75	7,76±0,09	19,91	19,94±0,23	2,89	2,89±0,03	7,75	19,91	2,89

Çizelge5.2 %30-70 PbO, Bi₂O₃, BaO içeren bor camlarının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m (*10⁻² cm²/g) , Z_{eff} ,
 N_{eff} (6,02*10²³ e/g) değerleri

WinXCom	Kaynak[30,36]	Hesaplamalar					Direct-Zeff Programı		
	μ_m Teorik	μ_m Deneysel	Z_{eff} Teorik	Z_{eff} Deneysel	N_{eff} Teorik	N_{eff} Deneysel	μ_m Teorik	Z_{eff} Teorik	N_{eff} Teorik
%30PbO- %70B ₂ O ₃	8,51	8,31±0,18	10,20	9,95±0,21	3,25	3,17±0,06	8,51	10,20	3,25
%40PbO- %60B ₂ O ₃	8,84	8,93±0,17	11,89	12,02±0,22	3,34	3,38±0,06	8,83	11,89	3,34
%50PbO- %50B ₂ O ₃	9,16	8,87±0,10	14,06	13,61±0,15	3,42	3,31±0,04	9,16	14,05	3,42
%60PbO- %40B ₂ O ₃	9,48	9,12±0,16	16,93	16,28±0,28	3,48	3,34±0,06	9,48	16,92	3,47
%70PbO- %30B ₂ O ₃	9,81	9,96±0,14	20,93	21,26±0,30	3,51	3,56±0,05	9,80	20,92	3,50
%30Bi ₂ O ₃ - %70B ₂ O ₃	8,55	8,98±0,11	10,14	10,65±0,13	3,27	3,43±0,04	8,56	10,15	3,27
%40 Bi ₂ O ₃ - %60B ₂ O ₃	8,88	8,68±0,10	11,78	11,51±0,13	3,36	3,28±0,03	8,90	11,80	3,37
%50 Bi ₂ O ₃ - %50B ₂ O ₃	9,22	8,71±0,09	13,85	13,09±0,13	3,44	3,25±0,03	9,24	13,88	3,45
%60 Bi ₂ O ₃ - %40B ₂ O ₃	9,55	9,57±0,15	16,57	16,60±0,26	3,51	3,51±0,05	9,58	16,60	3,52
%70 Bi ₂ O ₃ - %30B ₂ O ₃	9,89	10,27±0,12	20,27	21,06±0,24	3,55	3,68±0,04	9,92	20,32	3,55
%30BaO- %70B ₂ O ₃	7,61	7,59±0,15	9,01	8,99±0,18	2,94	2,93±0,06	7,61	9,01	2,94
%40BaO- %60B ₂ O ₃	7,63	7,11±0,10	10,1	9,41±0,13	2,94	2,74±0,03	7,63	10,1	2,94
%50BaO- %50B ₂ O ₃	7,65	7,93±0,19	11,47	11,89±0,28	2,93	3,04±0,07	7,65	11,47	2,93
%60BaO- %40B ₂ O ₃	7,67	7,31±0,13	13,26	12,63±0,22	2,92	2,78±0,05	7,67	13,26	2,92
%70BaO- %30B ₂ O ₃	7,69	7,21±0,14	15,69	14,71±0,28	2,90	2,72±0,05	7,69	15,69	2,92

buna bağılı olarak da Z_{eff} ve N_{eff} değerlerinde çok küçük farklılıklar oluştuğu görülmektedir.

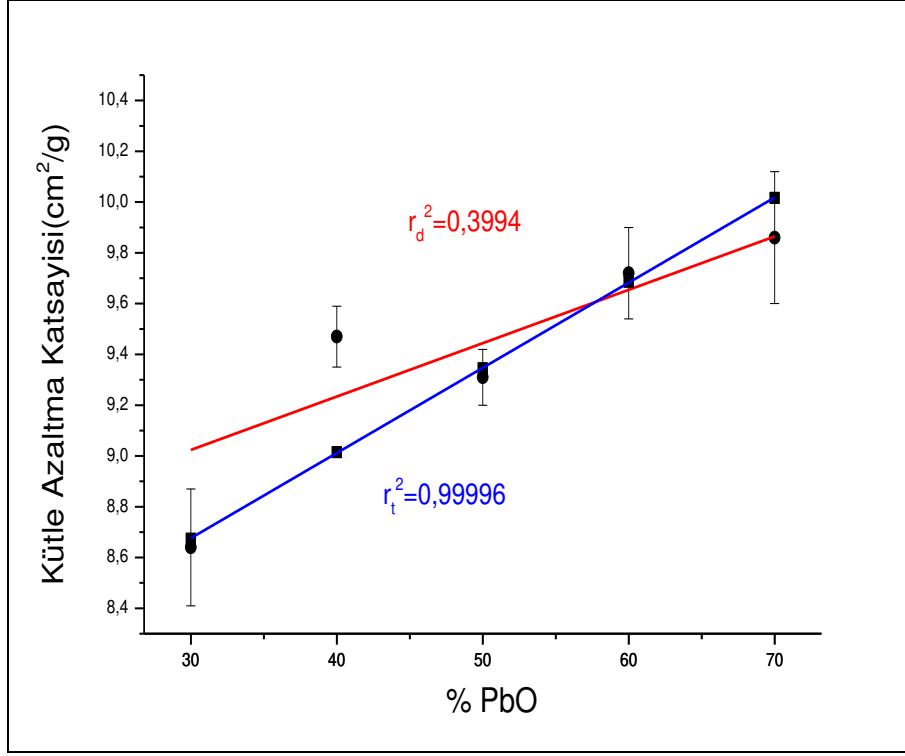
Çizelge 5.2’de PbO , Bi_2O_3 , BaO içeren bor camlarının 662 keV’taki teorik ve deneysel kütle azaltma katsayısı değerleri arasında çok küçük farklılıklar görülmektedir. Bu değerlere bağılı olarak etkin atom ve elektron numaralarının teorik ve deneysel değerlerinde küçük farklılıklar oluşmaktadır. Bor camların deneysel ve teorik verileri arasındaki farklılık silisyum camlarına göre oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Silisyum camlarının 662 keV’taki kütle azaltma katsayısı, etkin atom ve elektron numaralarının bor camlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1 ve 5.2 Direct- Z_{eff} programı açısından incelendiğinde alınan sonuçların hesaplanan teorik verilerle uyumluluk içinde olduğu görülmektedir. İhmal edilebilecek seviyede farklılıklar ise yapılan sayısal yuvarlamalardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca WinXCom ile bulunan kütle azaltma katsayıları ile arasındaki çok küçük farklılıklar da buna sebep olmaktadır. Fakat genel itibarıyla sonuçların birbiriyle tutarlı olduğu ve Direct- Z_{eff} programının kullanılmasının mümkün olabileceği anlaşılmaktadır.

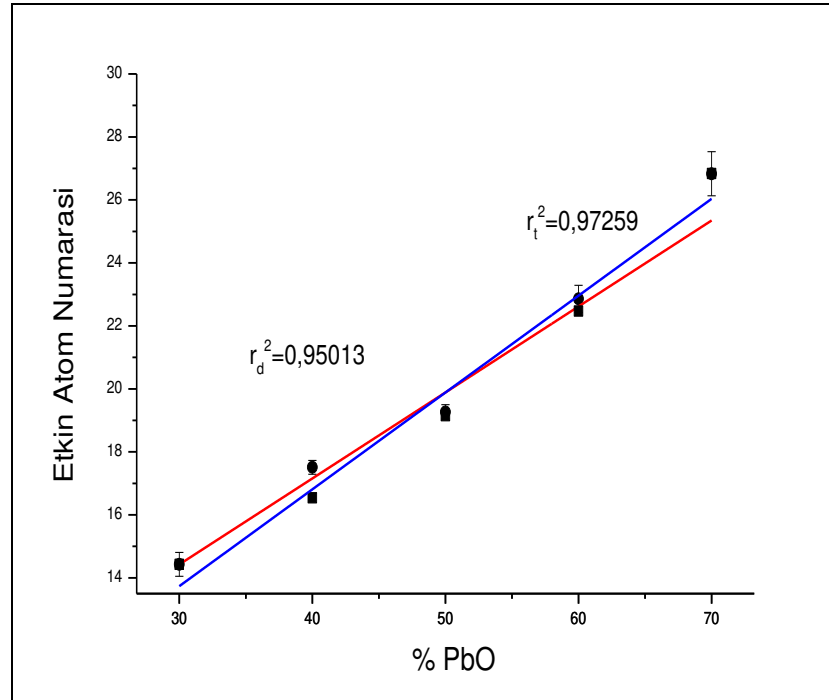
şekil 5.12’de kurşun oksit içeriği arttıkça teorik kütle azaltma katsayısının lineer olarak arttığđ gözlemlenirken, deneysel veriler arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır.

şekil 5.13’de kurşun oksit içeriği arttıkça deneysel ve teorik etkin atom numaralarının lineer olarak arttığđ gözlemlenirken, şekil 5.14’de etkin elektron numaraları açısından lineer bir ilişki kurulamamıştır.

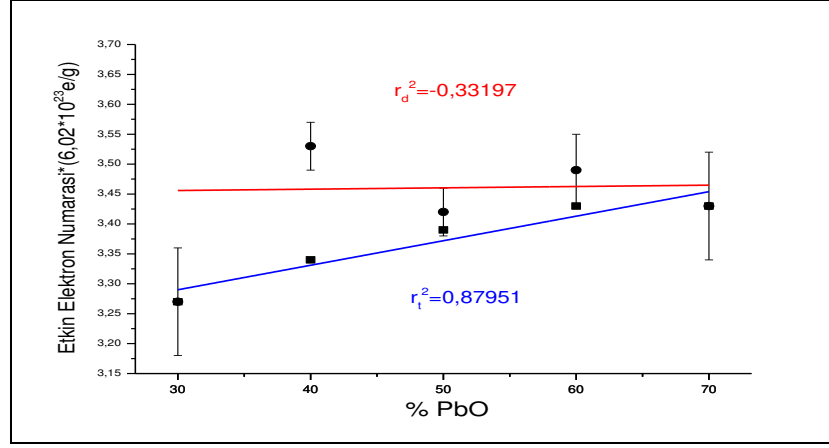
şekil 5.15’de bizmut oksit içeriği arttıkça teorik kütle azaltma katsayısının lineer olarak arttığđ gözlemlenirken, deneysel veriler arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır. şekil 5.16’de bizmut oksit içeriği arttıkça deneysel ve teorik etkin atom numaralarının lineer olarak arttığđ gözlemlenirken, şekil 5.17’de etkin elektron numaraları açısından lineer bir ilişki kurulamamıştır.



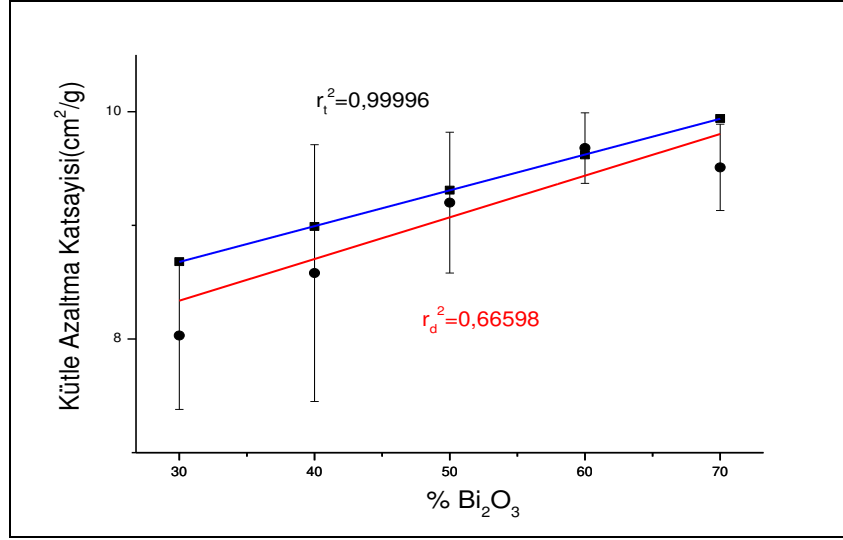
Şekil 5.12 %30-70 PbO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği



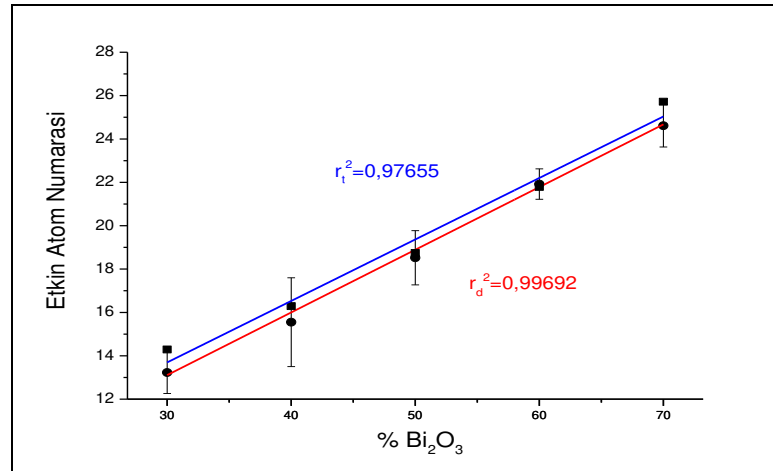
Şekil 5.13 %30-70 PbO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği



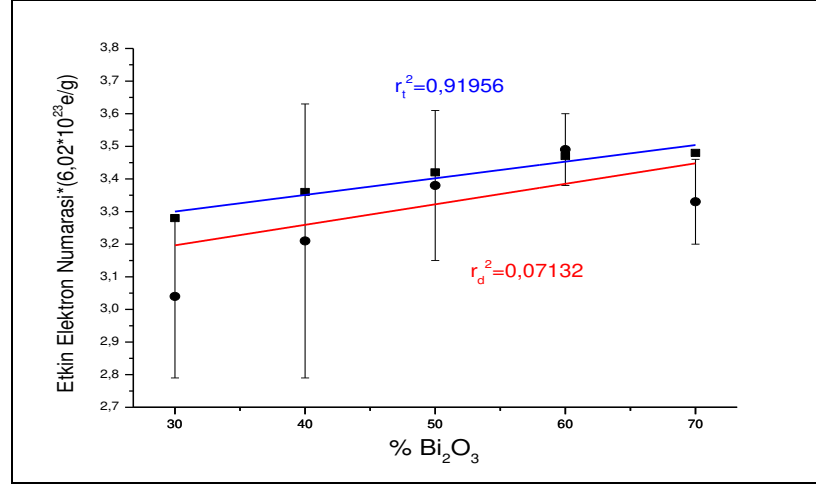
Şekil 5.14 %30-70 PbO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel $N_{eff}(6,02*10^{23} \text{ e/g})$ verilerinin karşılaştırılması grafiği



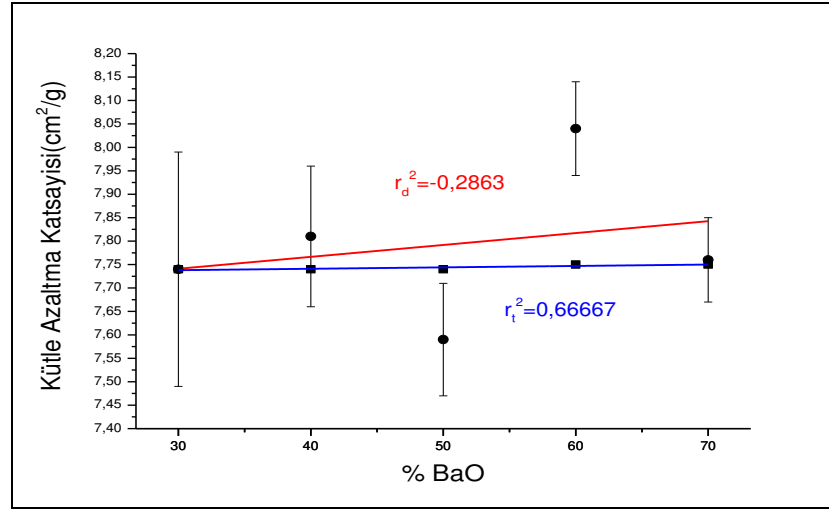
Şekil 5.15 %30-70 Bi₂O₃ içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği



Şekil 5.16 %30-70 Bi₂O₃ içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği

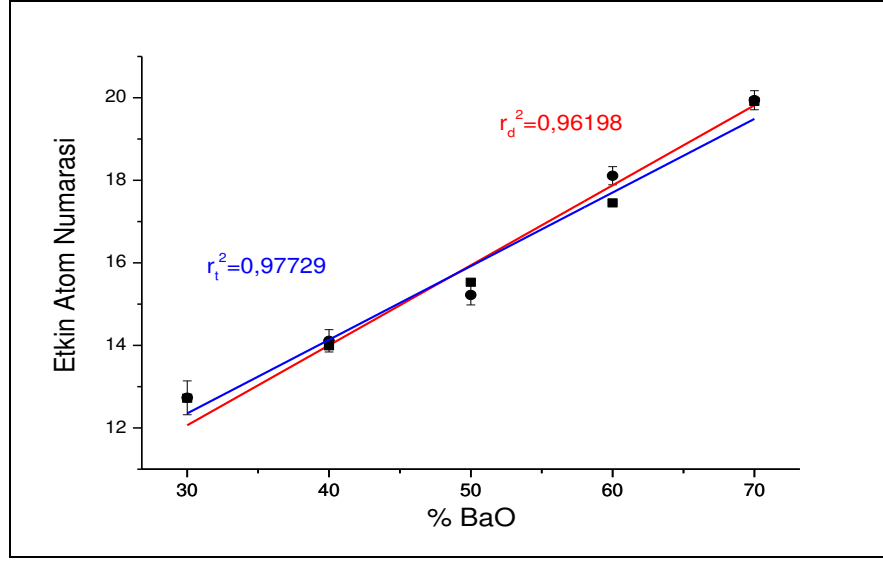


Şekil 5.17 %30-70 Bi₂O₃ içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel N_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği

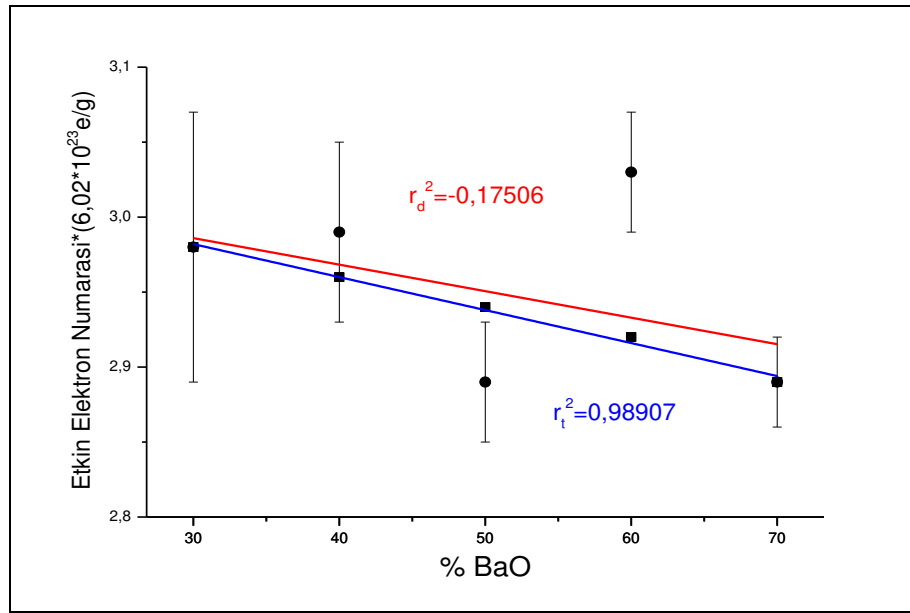


Şekil 5.18 %30-70 BaO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği

Şekil 5.18’de baryum oksit içeriği arttıkça teorik ve deneysel kütle azaltma katsayısının lineer artmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.19’da baryum oksit içeriği arttıkça deneysel ve teorik etkin atom numaralarının lineer olarak arttığı gözlemlenirken, Şekil 5.20’de teorik etkin elektron numarasının lineer olarak azalmaktadır, deneysel verilerde ise lineer bir ilişki kurulamamıştır.

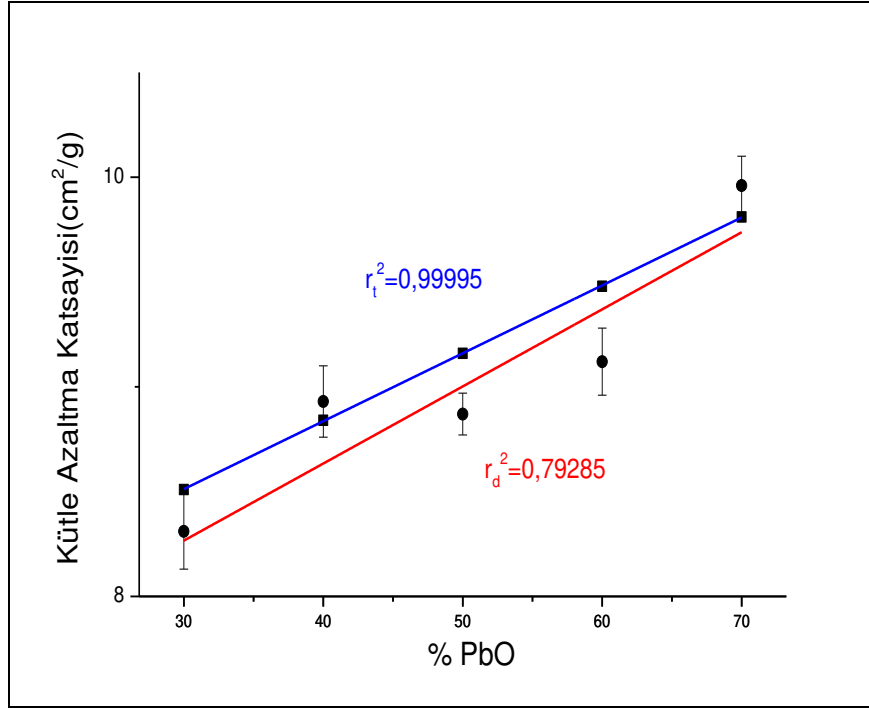


Şekil 5.19 %30-70 BaO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği

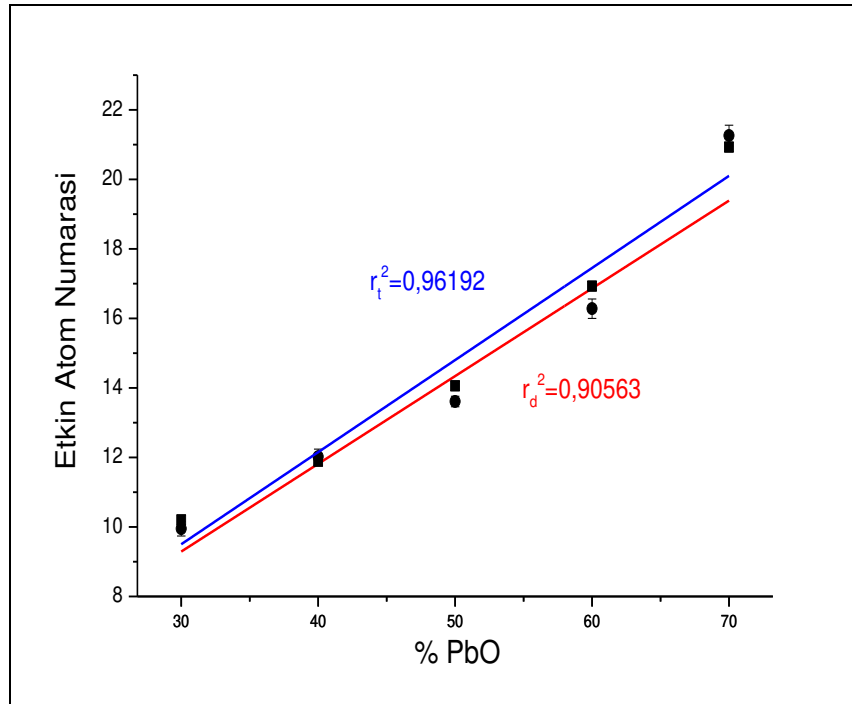


Şekil 5.20 %30-70 BaO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel N_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği

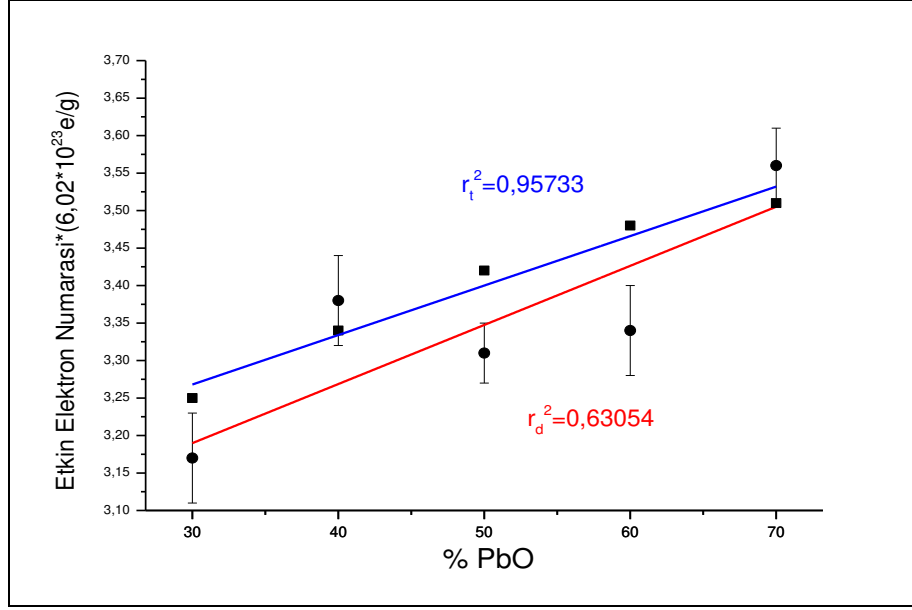
Şekil 5.21’de kurşun oksit içeriği arttıkça teorik kütle azaltma katsayısının lineer olarak arttığı gözlemlenirken, deneysel veriler arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır. Şekil 5.22’de kurşun oksit içeriği arttıkça deneysel ve teorik etkin atom numaralarının lineer olarak arttığı gözlemlenirken, Şekil 5.23’te teorik etkin elektron numarası lineer olarak arttığı gözlemlenirken, deneysel veriler arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır.



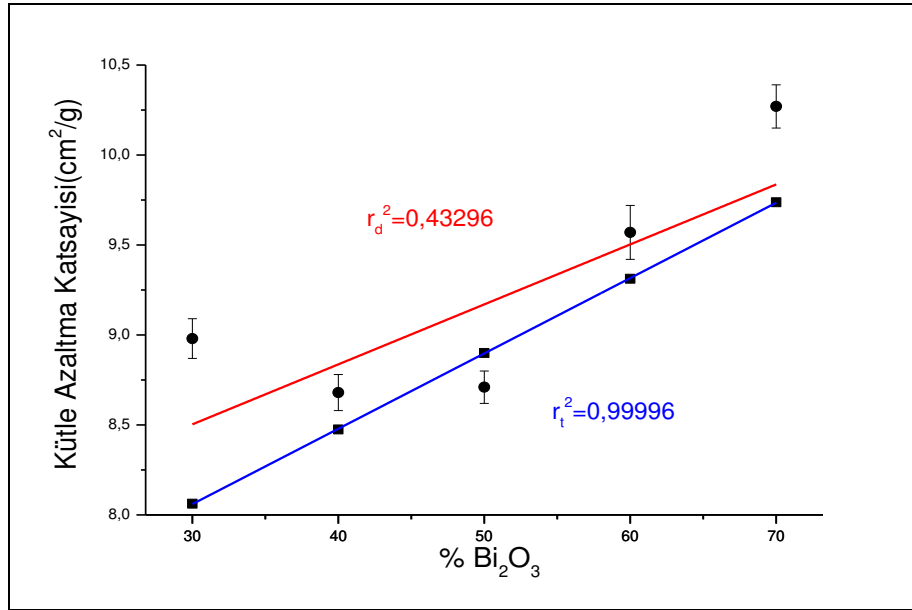
Şekil 5.21 %30-70 PbO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği



Şekil 5.22 %30-70 PbO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği

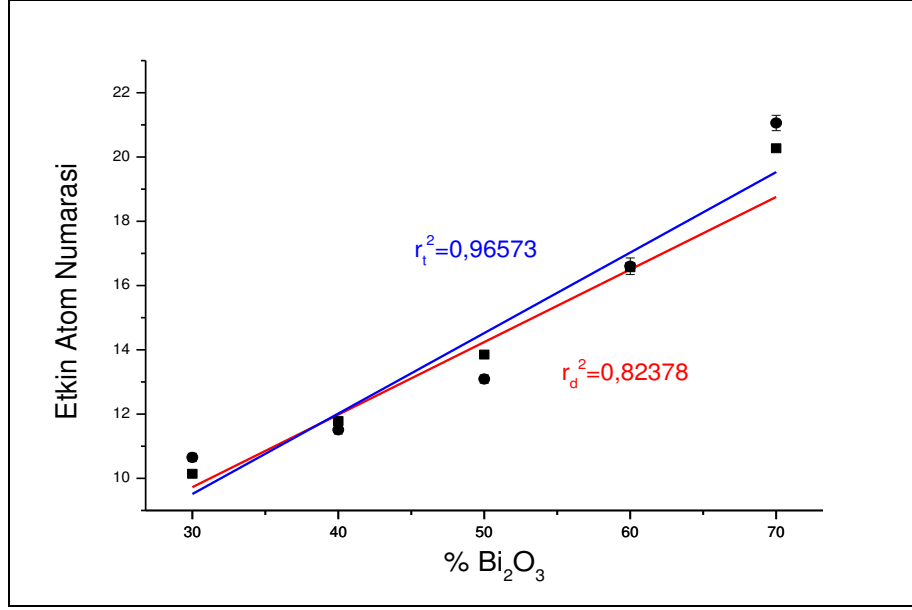


Şekil 5.23 %30-70 PbO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel N_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği

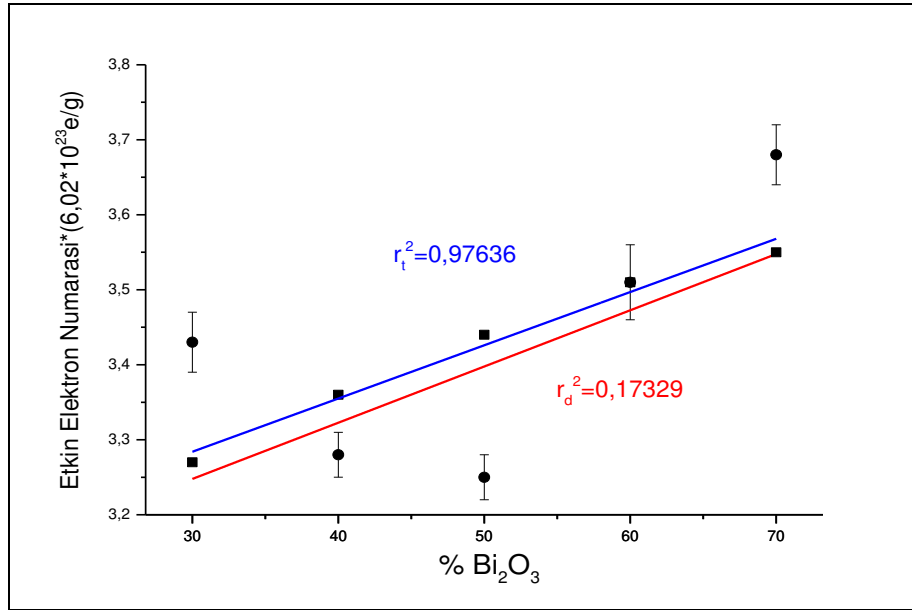


Şekil 5.24 %30-70 Bi_2O_3 içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği

Şekil 5.24, 25, 26'da bizmut oksit içeriği arttıkça teorik kütle azaltma katsayısının, etkin atom ve elektron numarasının lineer olarak arttığı gözlemlenirken, deneysel veriler arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır.

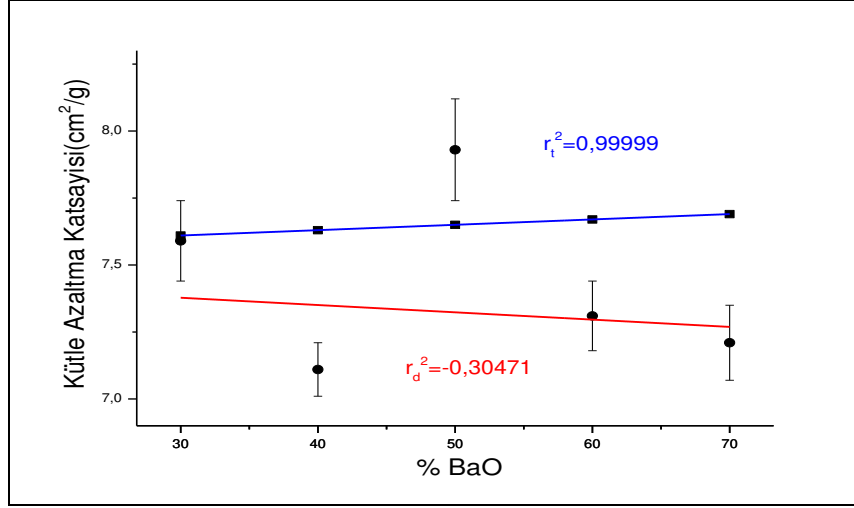


Şekil 5.25 %30-70 Bi₂O₃ içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği

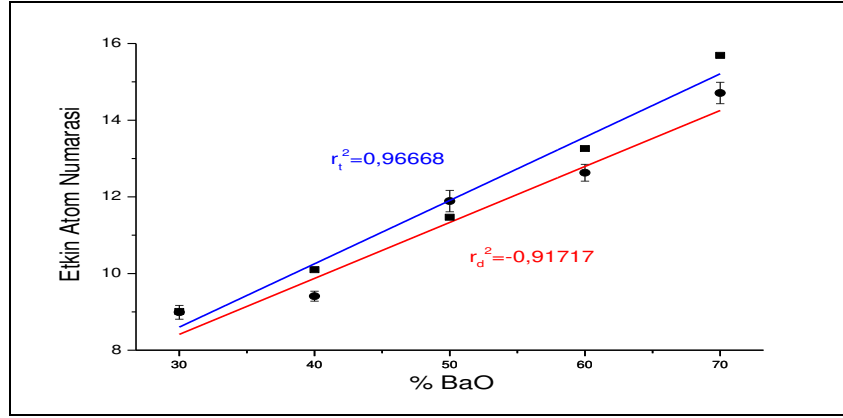


Şekil 5.26 %30-70 Bi₂O₃ içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel $N_{eff}(6,02 \cdot 10^{23} \text{ e/g})$ verilerinin karşılaştırılması grafiği

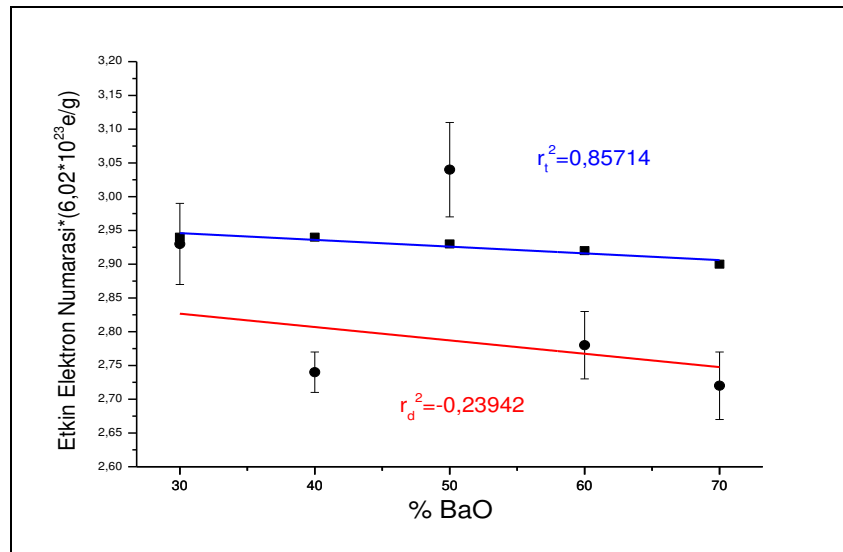
Şekil 5.27’de baryum oksit içeriği arttıkça teorik kütle azaltma katsayısının lineer olarak arttığı gözlemlenirken, deneysel veriler arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır. Şekil 5.28’de kurşun oksit içeriği arttıkça deneysel ve teorik etkin atom numaralarının lineer olarak arttığı gözlemlenirken, Şekil 5.29’da teorik ve deneysel veriler için lineer bir ilişki kurulamamıştır.



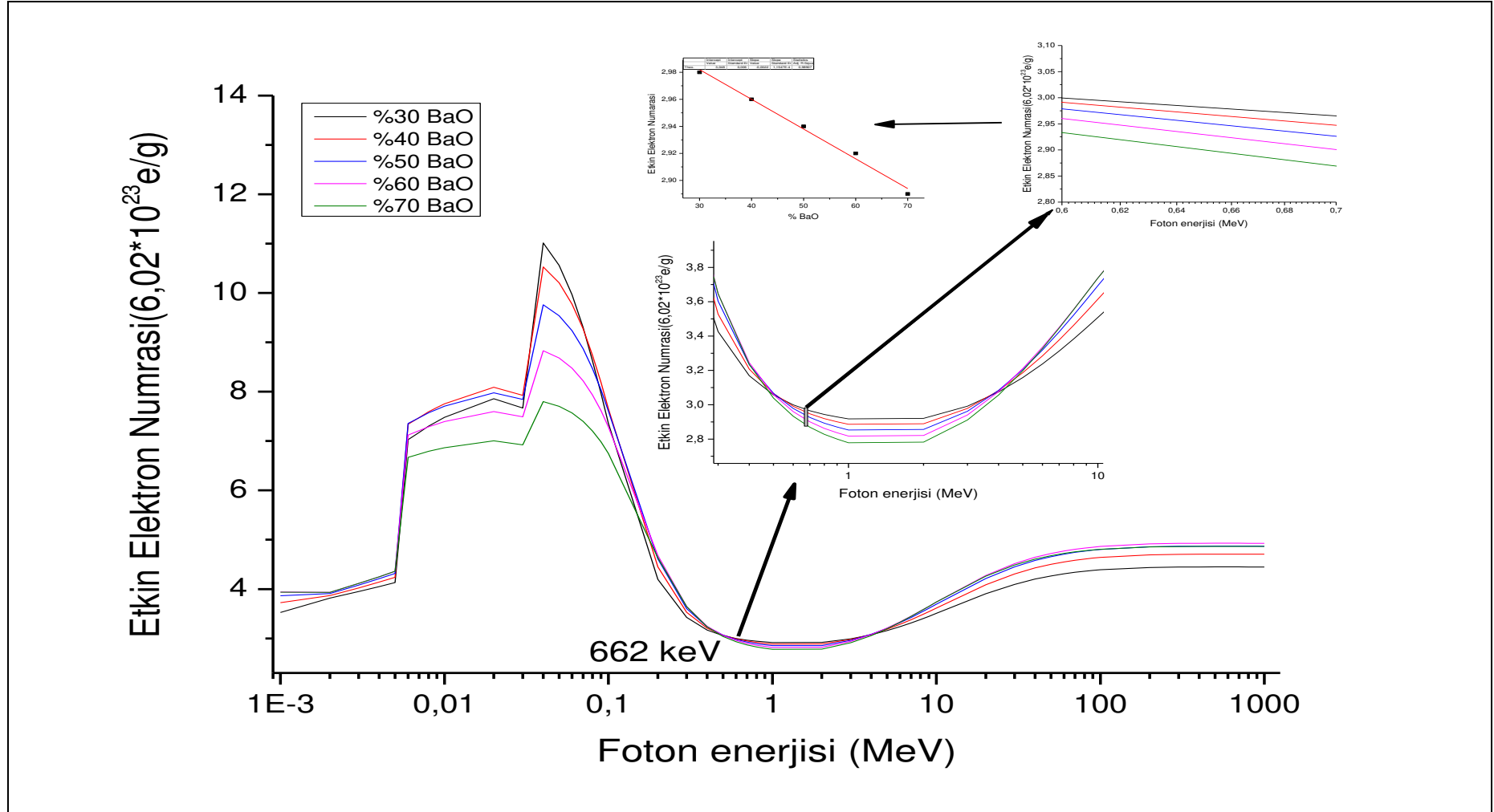
Şekil 5.27 %30-70 BaO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel μ_m verilerinin karşılaştırılması grafiği



Şekil 5.28 %30-70 BaO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel Z_{eff} verilerinin karşılaştırılması grafiği



Şekil 5.29 %30-70 BaO içeren bor camının 662 keV foton enerjisindeki teorik ve deneysel N_{eff} (6,02*10²³ e/g) verilerinin karşılaştırılması grafiği



Şekil 5.30 %30-70 BaO içeren silisyum camının 662 keV foton enerjisindeki teorik $N_{eff}(6,02 \times 10^{23} \text{ e/g})$ değerinin lineer azalış grafiği

Cam bileşimindeki PbO ve Bi₂O₃ artışıyla etkin elektron numarası lineer olmasa da artış göstermektedir. Fakat Şekil 5.30'da de görüldüğü gibi 662 keV foton enerjisinde BaO artışıyla etkin elektron numarası lineer olarak azalmaktadır. Bunun sebebi, camın içeriğindeki BaO oranının artmasıyla kütle azaltma katsayısında küçük artışlar olmasına karşın elektronik tesir kesitin daha büyük artışlar göstermesinden kaynaklanmaktadır. Baryum elementinin periyodik tabloda 2A grubunda olmasının da bu duruma neden olduğu düşünülmektedir. Baryum elementinin son kabuktaki elektronları sadece s orbitalinde iken kurşun ve bizmut elementlerinin sp orbitalinde olmasının etkisinin olduğu düşünülmektedir .

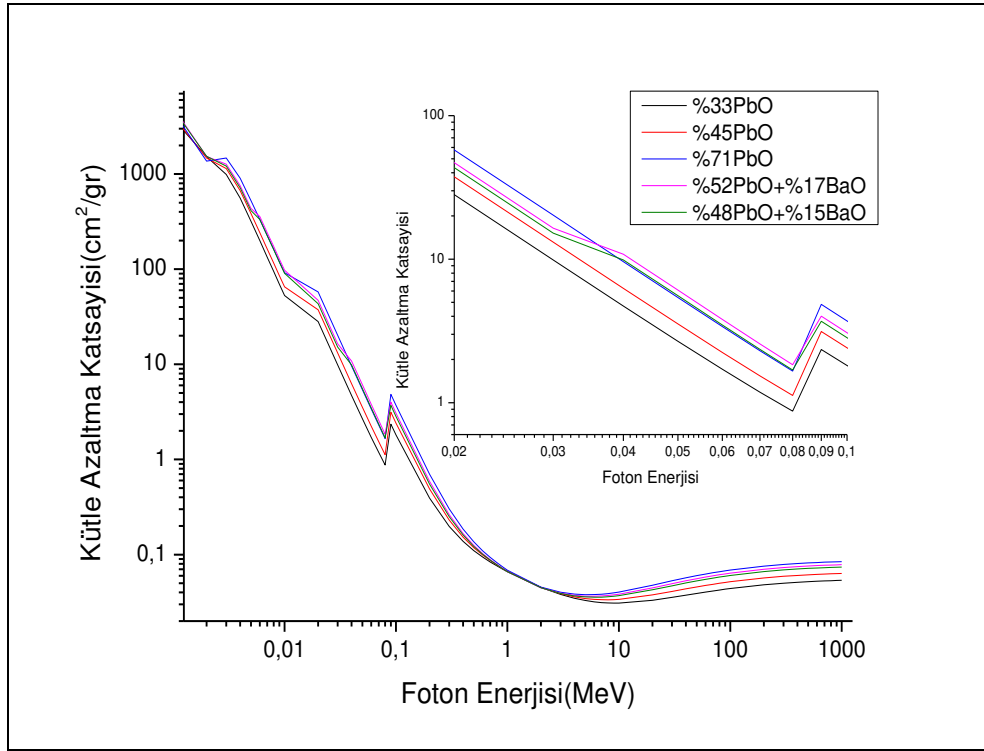
5.3 Piyasadaki Radrasyon Zırhlama Özellikli Bazı Camların İncelenmesi

Üçüncü bölümde %33 PbO-%67 SiO₂, %45 PbO-%55 SiO₂, %71 PbO-%29 SiO₂, (%48 PbO+%15 BaO)-%37 SiO₂, (%52 PbO+%17 BaO)-%30 SiO₂ camlarının 1 keV-1 GeV enerji aralığındaki μ_m , Z_{eff} ve N_{eff} değerleri aşağıdaki gibi grafikler halinde sunulmuştur.

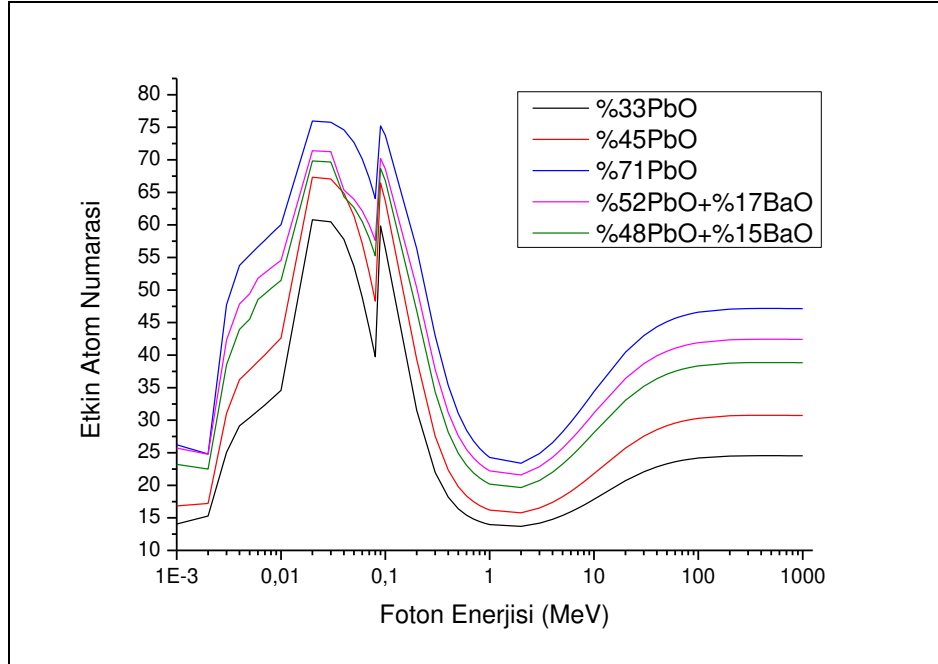
Şekil5.31'de sırasıyla %71 PbO, %52 PbO+%17 BaO, %48 PbO+%15 BaO, %45 PbO ve %33 PbO içeren camların genellikle kütle azaltma katsayılarının daha yüksek olduğu görülmektedir. İstisnai olarak 40-75 keV arasında %52 PbO+%17 BaO içerikli camın en yüksek kütle azaltma katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Bunu sebebi daha önceki grafiklerden de görüldüğü gibi BaO içeriğinden kaynaklanmaktadır. Şekil 5.32'de görüldüğü üzere etkin atom numarası azalan sırayla %71 PbO, %52 PbO+%17 BaO, %48 PbO+%15 BaO, %45 PbO ve %33 PbO şeklindedir ve kütle azaltma katsayısı sırasıyla aynıdır.

Bu sonuçlardan anlaşılaacağı üzere kütle azaltma katsayısıyla etkin atom numarasının birbirine uyumlu neticeler verdiği görülmektedir. Fotoelektrik olayın baskın olduğu 0,01-0,2 MeV enerji aralığında etkin atom numarasının en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir. Bu enerji aralığında sadece K soğurma kıyısında ani bir düşüş olmaktadır. Fakat Şekil5.33'te etkin elektron numarası incelendiğinde bu sıralamanın değiştiği gözlemlenmektedir. 0,01-0,2 MeV enerji aralığında etkin elektron numarasının en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir. Bu enerji aralığında sadece K soğurma kıyısında ani bir düşüş olmaktadır. 0,01-0,2 MeV enerji aralığında ağır metal oksit oranları arttıkça etkin elektron numarasının düştüğü görülmektedir. Bu

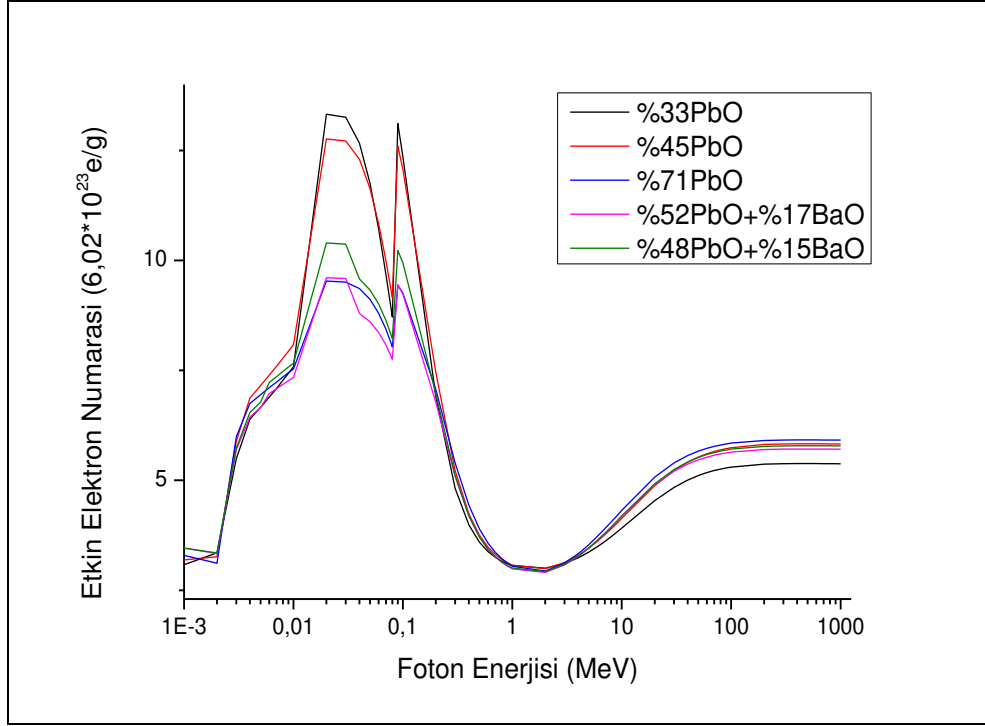
enerji aralığındaki en yüksek etkin elektron numarasına sahip cam %33 PbO içeren camdır.



Şekil 5.31 Yüksek enerjili foton radyasyonu soğuran çeşitli camların kütle azaltma katsayıları grafiği



Şekil 5.32 Yüksek enerjili foton radyasyonu soğuran çeşitli camların etkin atom numaraları grafiği



Şekil 5.33 Yüksek enerjili foton radyasyonu soğuran çeşitli camların etkin elektron numaraları grafiği

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hem bor hem de silisyum camlarda ağır metal oksit içeriğini arttırmak kütle azaltma katsayısının ve dolayısıyla etkin atom numarasının artmasına neden olmaktadır. Yani camın içeriğindeki ağır metal oksit oranını arttırmak camın radyasyon soğurganlığını arttırmaktadır.

Ağır metal oksitlerden PbO ve Bi₂O₃ içeren camların hemen hemen aynı kütle azaltma katsayısına, etkin atom ve elektron numarasına sahip olduğu görülmüştür. Kurşun oksitin zehirlilik özelliğinden dolayı kullanılmasında çevre ve sağlık açısından sakıncasından dolayı PbO yerine Bi₂O₃ kullanılabilir. Fakat Bi₂O₃ kullanımının maliyeti çok arttırdığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

BaO içeren camların radyasyon soğurganlığı genellikle PbO ve Bi₂O₃ içeren camlara göre oldukça düşüktür. Fakat 40-70 keV enerji aralığında BaO içeren camların kütle azaltma katsayısı ve etkin atom numarası aynı oranda PbO ve Bi₂O₃ içeren camlara göre biraz yüksektir. Bu nedenle 40-70 keV enerji aralığında ve daha düşük seviyelerinde enerji yayan radyoaktif kaynakların bulunduğu ortamlarda radyasyon zırlamak için PbO veya Bi₂O₃ yerine BaO kullanılabilir. Hem toksik PbO kullanılmamış olur hem de maliyet oldukça düşer. Daha yüksek enerji seviyelerinde (100 keV-3 MeV) daha yüksek oranda BaO içeren camların bile kütle azaltma katsayısı, daha düşük oranda PbO veya Bi₂O₃ içeren camlara göre çok düşük olduğundan bu enerji aralığında sadece BaO kullanmamak daha uygun olacaktır. PbO veya Bi₂O₃ ile BaO karışımlarını kullanmak her iki enerji aralığındaki radyasyon zırlamalar için tercih sebebi olabilir.

Fotoelektrik olayın baskın olduğu enerji bölgesinde etkin atom numarası en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Sadece bu bölge içindeki K soğurma kıyısında ani düşüş ve yükselişler görülmektedir. Ağır metal oksit oranını arttırmak kütle azaltma katsayısını arttırdığı gibi etkin atom numarasını da arttırmaktadır fakat etkin elektron numarasını bazı enerji bölgelerinde arttırırken bazılarının da ise düşürmektedir. Aynı oranda ağır metal içeren silisyum ve bor camlarını karşılaştıracak olursak; düşük enerjilerde bor camlarının yüksek enerjilerde ise silisyum camlarının daha yüksek etkin atom numarasına sahip olduğu görülmektedir. Bor camlarının tüm enerjilerde

silisyum camına göre daha yüksek etkin elektron numarasına sahip olması bor elementinden kaynaklanmaktadır.

662keV'ta aynı oranda ağır metal oksit içeren silisyum ve bor camlarının kütle azaltma katsayısı ve etkin elektron numarası değerlerinde pek farklılık olmamasına karşın etkin atom numaralarında çok önemli değişiklikler olmaktadır. 662 keV'ta bor camları silisyum camlarına göre oldukça düşük etkin elektron numarasına sahiptir. Etkin atom numarasının önemli olduğu durumlarda mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

662keV'ta camın etkin atom numarası ile cam içerisindeki ağır metal oksit oranı sadece teorikte değil pratikte de lineer ilişkilidir. Kütle azaltma katsayısı ve etkin elektron numarasının teorik ve deneysel verileri arasındaki doğrusallık farkı camın amorfliğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Teorik veriler düzenli yapıya istinaden lineer sonuçlar verirken, deneysel veriler camın amorf yapısından dolayı doğrusal sonuçlar vermemektedir. Bu çalışmada kütle azaltma katsayısına ve etkin elektron numarasına istinaden maddenin düzenli yapıda olup olmadığının bir nevi ispatı da yapılmış olduğu düşünülmektedir.

PbO ve BaO karışım camları geniş enerji bölgesinde radyasyon zırhlama amacıyla kullanıldığında cam firmaları tarafından üretilmektedir. Yüksek enerjili radyoaktif kaynakların kullanıldığı işletmeler için ise yüksek oranda PbO içeren camlar tercih edilmektedir. Bi₂O₃ cevheri maliyeti çok yükselttiğinden dolayı cam üretim firmaları tarafından pek kullanılmamaktadır.

Bu tez çalışmasında camların sadece radyasyon soğurma ölçüsüyle alakalı olarak kütle azaltma katsayısı, etkin atom numarası ve etkin elektron numarası parametreleri hesaplanmıştır ve değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında camların fiziksel özelliklerine, bağ yapısına, radyasyona maruziyet sonucu renk değişimine, renk değişimini engellemek için kullanılan seryum, vanadyum gibi elementlere, radyasyonun camın yapısal değişime değinilmemiştir ve bunlar farklı bir tez çalışmasına konu olabilir.

KAYNAKLAR

- [1]Corning firması,
<http://www.corning.com/RadiationShielding/Products/NuclearBlock/index.aspx>
- [2]Schott firması,
http://www.schott.com/advanced_optics/english/download/schott-radiation-shielding-glass-may-2013-eng.pdf
- [3]Glass-Solutions firması,
<http://www.sovis-optique.com/en/sovis-optique-caracteristiques-glass-characteristics.html>
- [4]Mayco firması,
http://www.maycoindustries.com/pdf_files/glass2.pdf
- [5]RPP firması,
http://www.radiationproducts.com/pdf/leaded_glass_submittal.pdf
- [6]Corning firması,
<http://www.corning.com/RadiationShielding/Products/MedX/index.aspx>
- [7]I. Han, L. Demir, Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients in Ti_xCo_{1-x} and Co_xCu_{1-x} alloys, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 267, **2009**, 3505–3510
- [8]S.R. Manohara, S.M. Hanagodimath, Studies on effective atomic numbers and electron densities of essential amino acids in the energy range 1 keV–100 GeV, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 258, **2007**, 321–328.
- [9]Gowda S., Krishnaveni S., Gowna R., 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, **2005**, 239:361–9.
- [10]M.P. Singh, B.S. Sandhu, Bhajan Singh, Measurement of effective atomic number of composite materials using scattering of γ -rays, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 580, **2007**, 50–53
- [11]I. Han, L. Demir, Mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers of Ti and Ni alloys, Radiation Measurements 44, **2009**, 289–294.
- [12]Nayak N.G., Vijaya M.G., Siddappa K., Effective atomic numbers of some polymers and the materials for photo electric process at 59.54 keV, Radiat. Phys. Chem., **2001**, 61:559–61.
- [13]Icelli O., Erzeneoglu S., Karahan I.H., Cankaya G., Effective atomic numbers for CoCuNi alloys using transmission experiments, J. of Quant. &Radiative Transfer, **2005**, 91:485–91.
- [14]U. Cevik, E. Bacaksiz, N. Damla, A. Celik, Effective atomic numbers and electron densities for CdSe and CdTe semiconductors, Radiation Measurements 43, **2008**, 1437 – 1442
- [15]I. Han, L. Demir, Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for Cr, Fe and Ni alloys at different energies,, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 267, **2009**, 3–8.
- [16]Özdemir Y., Kurudirek M., A study of total mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and electron densities for various organic and inorganic compounds at 59.54 keV, Annals of Nuclear Energy 36, **2009**, 1769–1773
- [17]Kaewkhao J., Laopaiboon J., Chewpraditkul W., Determination of effective atomic numbers and effective electron densities for Cu/Zn alloy, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Trans., **2008**, 109, 1260–1265.

- [18]H. Baltas, U. Cevik, Determination of the effective atomic numbers and electron densities for YBaCuO superconductor in the range 59.5–136 keV, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 266, **2008**, 1127–1131.
- [19]A.Un, F. Demir, Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron numbers for heavy-weight and normal weight concretes, Applied Rad. and Isotopes 80, **2013**, 73-77
- [20]M.J. Berger and J.H. Hubbell, J.H.. XCOM: Photon Cross Sections Database, Web Version 1.2, available at <http://physics.nist.gov/xcom>. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA, 1999. Originally published as NBSIR 87-3597 (1987): “XCOM: Photon Cross Sections on a Personal Computer”
- [21] Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B., Levring, H., X-ray absorption in matter Reengineering XCOM. Radiat. Phys. Chem., **2001**, 60, 23–24..
- [22] Gerward L., Guilbert, N. Jensen, K.B. Levring, WinXCom-a program for calculating X-ray attenuation coefficients; Radiat. Phys. Chem. , **2004**, 71, 653–654.
- [23] Singh N., Singh K.J., Singh K., Singh H., Comparative study of lead borate and bismuth lead borate glass system as gamma-radiation shielding materials. Nucl. Instr. Meth. B, **2004**, 225, 305–309
- [24] Singh N., Singh R., Singh K.J., Gamma-ray shielding properties of lead and bismuth borosilicate glasses, Glass Technology, **2005**, 46, 4; 311-314
- [25] Arbuzov V.I., Andreeva N.Z., Leko N.A.; Optical, spectral, and radiation-shielding properties of high-lead phosphate glasses, Glass Physics and Chemistry, **2005**, 31, 5; 583-590
- [26] Singh N., Singh K.J., Singh K., Singh H., Gamma-ray attenuation studies of PbO–BaO–B₂O₃ glass system, Radiat. Meas., **2006**, 41 (1), 84–88.
- [27] Singh K.J., Singh N., Kaundal R.S., Singh, K., Gamma-ray shielding and structural properties of PbO–SiO₂ glass, Nucl. Instr. Meth. B, **2008**, 266 (6), 944–948
- [28] Kirdsiri K., Kaewkhao J., Chewpraditkul W., Photon interaction in borate glass system containing Bi₂O₃, PbO and BaO at 60 keV theoretical calculation, Functionalized and Sensing Materials, **2010**, 93-94; 9-12
- [29] Chanthima N., Kaewkhao J., Chewpraditkul W., Gamma-rays absorption studies of PbO–SiO₂ glass system, Functionalized and Sensing Materials, **2010**, 93-94; 71-74
- [30]J. Kaewkhao, A. Pokaipisit, P. Limsuwan, Study on borate glass system containing with Bi₂O₃ and BaO for gamma-rays shielding materials comparison with PbO, Journal of Nuclear Materials; **2010**, 399, 38–40.
- [31] Singh H., Singh K., Gerward L., Singh K., Sahota H.S., Nathuram R., ZnO–PbO–B₂O₃ glasses as gamma-ray shielding materials, Nucl. Instr. Meth. B, 2003, 207(3), 257–262.
- [32]S. Singh, A. Kumar, D. Singh, K.T. Singh, G.S. Mudahar; Barium–borate–flyash glasses: as radiation shielding materials, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 266 , **2008**, 140–146
- [33]K. Kirdsiri, J. Kaewkhao, N. Chanthima, P. Limsuwan, Comparative study of silicate glasses containing Bi₂O₃, PbO and BaO, Radiation shielding and optical properties, Annals of Nuclear Energy 38, **2011**, 1438–1441
- [34]J. Kaewkhao, P. Limsuwan, Mass attenuation coefficients and effective atomic numbers in phosphate glass containing Bi₂O₃, PbO and BaO at 662 keV, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 619, **2010**, 295-297

- [35]Singh K., Singh H., Sharma G., Gerward L., Khanna A., Kumar R., Nathuram R.,Sahota H.S., Gamma-ray shielding properties of CaO–SrO–B₂O₃ glasses, Radiat. Phys. Chem., **2005**, 72, 225–228.
- [36]Kirdsiri K., Kaewkhao J., Pokaipisit A., Chewpraditkul W., Limsuwan P., Gamma-rays shielding properties of xPbO: (100-x) B₂O₃ glasses system at 662 keV, Ann. Nucl. Energy, **2009**, 36, 1360–1365.
- [37]P. Limkitjaroenporn, W. Chewpraditkul, J. Kaewkhao, S. Tuscharoen; Effective atomic number of lead sodium borate glass system at 662 keV; Energy Research Journal, **2011**, 2: 29-33
- [38] Singh H.; Singh K.; Sharma G.; Gerward Leif; Nathuram R.; Lark B. S.; Sahota H. S.; Khanna A., Barium and calcium borate glasses as shielding materials for x-rays and gamma rays, Physics and Chemistry of Glasses, **2003**, Vol. 44, No. 1, 5-8.
- [39] <http://www.electrosense.com.tr/genel-bilgiler/elektromanyetik-radyasyon-nedir->
- [40] Demir F., Bor ve Barit Agregalı Bazı Ağır Betonların Nötron Parçacıkları, X ve γ Işınları için Radyasyon Soğurganlıklarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2009
- [41] Kurudirek M., Bazı Çoklu Element Yapıdaki Maddelerin Foton Etkileşimi, Foton Enerji Soğurması, Foton Kuvvetlendirme Faktörü ve Hızlı Nötron Azaltma Tesir Kesitleri Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2011
- [42]<https://www.flickr.com/photos/mitopencourseware/3775045843/in/photostream/>
- [43]<http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/Physics/attenuation.htm>
- [44]http://kaynak.home.uludag.edu.tr/images/tesir_kesiti.pdf
- [45]Hine G.J., The effective atomic numbers of materials for various gamma ray interactions, Phys. Rev. **1952**, 85, 725
- [46] Kurudirek M., Özdemir Y., Imek O., Durak R., Comparison of some lead and non-lead based glass systems, standard shielding concretes and commercial window glasses in terms of shielding parameters in the energy region of 1 keV-100 GeV: A comparative study, Journal of Nuclear Materials, **2010**, 407 (2) , pp. 110-115
- [47]Un A, Caner T; The Direct-Z_{eff} software for direct calculation of mass attenuation coefficient , effective atomic number and effective electron number; Annals of Nuclear Energy, 65, **2014**, 158-165

ÖZGEÇMİŞ

Adı SOYADI : Şerif Ermiş

Doğum Tarihi ve Yeri : 1981 Gediz

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : serifermis@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Üniversite/Bölüm : Yıldız Teknik Üniversitesi/ Kimya Mühendisliği

Mezuniyet Yılı : 2005

İŞ TECRÜBESİ

Adli Tıp Kurumu – Kimya Mühendisi (2005-)

BİLİMSEL ÇALIŞMALARI

- **Bildiri**

1. Calculation of Photon Radiation Attenuation of Special Glasses by WinXCom, Iats, 2013, İstanbul