

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Na₂O, BaO VE WO₃ İÇEREN BORAT CAMLARIN GAMA
RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Lubaba ALJASSEM

Fizik Anabilim Dalı

ARALIK 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Na₂O, BaO VE WO₃ İÇEREN BORAT CAMLARIN GAMA
RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Lubaba ALJASSEM

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr.Üyesi Mohammed Sultan Abdulghaffar AL-BURIAHI

Ortak Danışman: Doç. Dr. Halil ARSLAN

ARALIK 2024

Lubaba ALJASSEM tarafından hazırlanan “Na₂O, BaO VE WO₃ İÇEREN BORAT CAMLARIN GAMA RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI ” adlı tez çalışması 27.12.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof.Dr. Mehmet BEKTAŞOĞLU**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr.Öğr.Üyesi Mohammed AL-BURIAHI (Danışman)**.....
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof.Dr. Fatih ÇALIŞKAN**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Na₂O, BaO VE WO₃ İÇEREN BORAT CAMLARIN GAMA RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.10.2024 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(27/12/2024).

Lubaba Aljassem





Sevgile Aileme



TEŞEKKÜR

Danışman hocam Mohammed AL-BURIAHI'ya teşekkürlerimi iletirim.

Tezim yazma aşamasında boyunca değerli bilgi ve deneyimlerini her aşamada paylaşarak büyük destek olan danışman hocam Halil ARSLAN'a, teşvikleri ve yönlendirmeleriyle araştırmanın başarılı bir şekilde tamamlanmasına katkıda bulunduğu için teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmamda bana sağladığınız destek ve rehberlik için Dr. Elif KEMAH'a teşekkür ederim.

Aileme ve arkadaşlarıma sürekli destekleri için teşekkür ederim.

Özel, kalbimde olan, hayatımda en büyük etkiye sahip olan insana teşekkürlerimi sunmak isterim.

Lubaba Aljassem



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Radyason	5
2.2. Radyasyonun Kısa Tarihçesi	6
2.3. Radyasyon Kaynakları	9
2.4. X-Işınları	11
2.5. Gama Işınları	13
3. RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞİM	15
3.1. Elektromanyetik Radyasyonun Saçılması	15
3.1.1. Koherent saçılma	15
3.1.2. İnkoherent saçılma	16
3.1.2.1. Compton saçılması	16
3.2. Elektromanyetik Radyasyonun Soğrulması	17
3.3. Radyasyon Zırlama Parametreleri	19
3.3.1. Lineer azaltma katsayısı (μ)	20
3.3.2. Kütle azaltma katsayısı (μ_m)	22
3.3.3. Yarı değer kalınlığı (HVL)	22
3.3.4. Ortalama serbest yol (MFP)	23
3.3.5. Etkin atom numarası (Z_{eff})	23
3.3.6. Etkin elektron yoğunluğu (N_{eff})	24
3.3.7. Radyasyondan korunma verimliliğidir (RPE%)	24
3.3.8. İletim faktörleri (TF%)	24
4. MATERYAL VE METOD	25
4.1. Cam Kompozisyonları	25
4.2. Monte Carlo Simülasyonları	26
4.2.1. Geant4 simülasyon programı	26
4.3. XCOM Yazılımı	28
4.4. Phy-X	30
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
5.1. Cam Malzemeler	31
5.2. Kütle Azaltma Katsayısı (MAC)	31
5.3. Lineer Azaltma Katsayısı (LAC)	36

5.4. Geant4 Programı Aracılığıyla İletilen Işının Değeri	39
5.5. Yarı Değer Kalınlığı (HVL)	43
5.6. Ortalama Serbest Yol (MFP).....	45
5.7. Etkin Atom Numarası (Z_{eff}).....	47
5.8. Etkin Elektron Yoğunluğu (N_{eff})	49
5.9. İletim Faktörleri TF%.....	51
5.10. Radyasyondan Korunma Verimliliğidir RPE%.....	56
5.11. Diğer Örneklerle Karşılaştırma	57
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	67



KISALTMALAR

MAC	: Kütle Azaltma Katsayısı
LAC	: Lineer Azaltma Katsayısı
HVL	: Yarı Değer Kalınlığı
MFP	: Ortalama Serbest Yol
RPE%	: Radyasyondan Korunma Verimliliğidir
TF%	: İletim Faktörleri





SİMGELER

E	: Enerji [Joule]
h	: Planck sabiti [$6.62607015 \times 10^{-34}$ Joule saniye (J·s)]
f	: Frekans [hertz]
c	: Işık hızını [299,792,458 m/s]
λ	: Dalga boyu [m]
m_e	: Elektronun durgun kütlesi [$9.10938356 \times 10^{-31}$ kg]
μ	: Lineer azaltma katsayısı [m^{-1}]
I	: İletilen radyasyonun şiddeti [W/m^2]
I_0	: Gelen radyasyonun şiddeti [W/m^2]
x	: Kalınlık [m]
Z	: Atom numarası
τ	: Fotoelektrik soğurma katsayısı
σ	: Saçılma soğurma katsayısı
k	: Çift oluşumu katsayısı
μ_m	: Kütle azaltma katsayısı [cm^2/g]
ρ	: Yoğunluk [g/cm^3]
Z_{eff}	: Etkin atom numarası
N_{eff}	: Etkin elektron yoğunluğu [elektron/g]
N_a	: Avogadro sayısı [$6.022 \times 10^{23} mol^{-1}$]
σ_a	: Toplam atomik tesir kesiti [$cm^2/atom$]
σ_e	: Toplam elektronik tesir kesitidir [$cm^2/ elektron$]
$\langle A \rangle$	: Ortalama atom kütesidir



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Yapısal olarak radyasyon türleri.	6
Tablo 3.1. Elektromanyetik radyasyon etkileşimlerinin sınıflandırılması... ..	15
Tablo 4.1. Hazırlanan camların kimyasal bileşimi.	25
Tablo 5.1. . Kütle Azaltma Katsayısı ($MAC; cm^2 g^{-1}$) aracılığıyla Geant4, XCOM ve Phy-X.	32
Tablo 5.2. MAC değerleri Geant4 ile XCOM arasındaki yüzde hata.	35
Tablo 5.3. S1,S2, ve S3 için lineer azaltma katsayısı (LAC; cm-1).....	38
Tablo 5.4. S1 cam numunesi için farklı kalınlıklarda (0,5, 1 ve 1,5 cm) geçirgenlik ışın değeri.	41
Tablo 5.5. S2 cam numunesi için farklı kalınlıklarda (0,5, 1 ve 1,5 cm) geçirgenlikışın değeri.	42
Tablo 5.6. S3 cam numunesi için farklı kalınlıklarda (0,5, 1 ve 1,5 cm) geçirgenlikışın değeri.	43
Tablo 5.7. S1, S2 ve S3 için Yarı değer kalınlığı (HVL; cm).	44
Tablo 5.8. S1, S2 ve S3 için Ortalama Serbest Yol (MFP; cm).	46
Tablo 5.9. S1, S2 ve S3 için Etkin Atom Numarası (Z_{eff}).	49
Tablo 5.10. Etkin Elektron Yoğunluğu (N_{eff} ; elektron/g).	51
Tablo 5.11. Üç farklı kalınlıkta (0,5, 1 ve 1,5 cm) S1 için İletim faktörleri TF%. ...	53
Tablo 5.12. Üç farklı kalınlıkta (0,5, 1 ve 1,5 cm) S2 için İletim faktörleri TF%. ...	54
Tablo 5.13. Üç farklı kalınlıkta (0,5, 1 ve 1,5 cm) S3 için İletim faktörleri TF%. ...	55
Tablo 5.14. S1, S2 ve S3 için Radyasyondan korunma verimliliğidir RPE%.....	58
Tablo 5.15. Farklı enerjilerdeki farklı cam numuneleri için kütle azaltma katsayısı.59	
Tablo 5.16. Önceki aynı cam numuneleri için farklı enerjilerdeki HVL ve Z_{eff} değerlerinin karşılaştırılması.	61



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrumu.....	5
Şekil 2.2. Wilhelm Röntgen'in karısının elinin röntgen görüntüsü.....	7
Şekil 2.3. Marie Curie laboratuvarında.....	8
Şekil 2.4. Doğal Radyasyon kaynaklardan alınan dozlar.....	9
Şekil 2.5. X-ışını tüpü.....	12
Şekil 2.6. Röntgen cihazı ve bazı röntgen görüntüleri.....	13
Şekil 2.7. Gama ışınının yayınlanması (γ).....	14
Şekil 3.1. Compton saçılması.....	17
Şekil 3.2. Fotoelektrik olay.....	18
Şekil 3.3. Çift oluşumu.....	19
Şekil 3.4. Fotonun madde ile etkileşim türün ile foton enerjisi ve atom numarası arasındaki ilişki.....	20
Şekil 3.5. Fotonların bir maddeden geçerken şiddetinde görülen azalma.....	21
Şekil 3.6. Lineer azaltma katsayısının foton enerjisine göre değişimi.....	22
Şekil 4.1. 2 MeV fotonun 1 cm kurşunla etkileşim simülasyon özeti.....	28
Şekil 4.2. XCOM web sitesinin kullanıcı arayüzü.....	29
Şekil 4.3. Kurşun (Pb) için XCOM yazılımı sonuç ekranı.....	30
Şekil 4.4. Phy-x yazılımı arayüzü.....	30
Şekil 5.1. Enerji ve kütle azaltma katsayısı arasındaki ilişki.....	33
Şekil 5.2. MAC değerleri Geant4 ile XCOM arasındaki yüzde hata.....	36
Şekil 5.3. Çizimden lineer azaltma katsayısını hesaplayın.....	37
Şekil 5.4. Enerji ve lineer azaltma katsayısı arasındaki ilişki.....	39
Şekil 5.5. Enerji ve HVL arasındaki ilişki.....	45
Şekil 5.6. Enerji ve MFP arasındaki ilişki.....	47
Şekil 5.7. Enerji ve (Z_{eff}) arasındaki ilişki.....	50
Şekil 5.8. Enerji ve (N_{eff}) arasındaki ilişki.....	52
Şekil 5.9. S1, S2 ve S3 için TF% değerleri, kalınlık (0,5, 1 ve 1,5 cm).....	56
Şekil 5.10. İncelenen camların iletim faktörleri (TF'ler), farklı cam kalınlıklarında kullanılan radyoizotop enerjisine (MeV) bağlı olarak.....	57
Şekil 5.11. 0,5 MeV'de farklı cam numunelerinin kütle azaltma katsayısı.....	60



Na₂O, BaO VE WO₃ İÇEREN BORAT CAMLARIN GAMA RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasında, B₂O₃, Na₂O, BaO ve WO₃ içeren cam örneklerinin gama ışınlarına karşı koruyucu özelliklerinin ayrıntılı bir incelemesini sunmaktadır. Çalışma, radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak amacıyla malzemelerin radyasyon koruyucu özelliklerini geliştirmeyi hedeflemekte olup, bu kapsamda farklı cam kompozisyonları değerlendirilmiştir. Günümüzde, radyasyondan korunma yalnızca nükleer sanayi ve tıp alanında değil, aynı zamanda enerji, savunma, uzay teknolojisi ve hatta tarım gibi birçok sektörde de büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, cam kompozisyonları gibi malzemelerin etkinliğini belirlemek, pratik ve güvenilir zırhlama materyalleri geliştirmek açısından önem arz etmektedir.

Araştırmada incelenen üç cam numunesi kimyasal bileşimlerine göre farklılık göstermektedir. İlk cam örneği (S1) %75 B₂O₃, %5 Na₂O ve %20 BaO içerirken, ikinci örnek (S2) aynı bileşenlerin yanı sıra %3 WO₃ içermektedir. Üçüncü örnek (S3) ise %10 BaO ve %10 WO₃ içermekte olup, bu numune diğerlerine göre daha yüksek bir tungsten oksit oranına sahiptir. Bu farklı bileşimlerin radyasyonun soğurulma ve yayılatılma kapasitesi üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla, her bir numune çeşitli radyasyon parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, çalışmanın amacı WO₃ içeriğinin radyasyon zırhlama performansı üzerindeki etkisini anlamaktır, çünkü tungsten oksit yüksek atom numarası sayesinde radyasyonu etkili bir şekilde soğurabilir ve bu, radyasyon zırhlama malzemelerinde aranan bir özelliktir.

Çalışmanın temel yöntemleri arasında Monte Carlo simülasyon tekniği yer almaktadır. Monte Carlo yöntemi, rastgele sayı üretimi ve olasılık teorisi kullanarak fiziksel olayların benzetimini yapabilen bir tekniktir. Geant4 yazılımı, bu yöntemi kullanarak malzemelerin radyasyon ile etkileşimlerini modellemek için etkili bir araç olarak tercih edilmiştir. Geant4, parçacıkların maddenin içindeki hareketini, enerjilerini ve yollarını simüle edebilmekte ve bu özellikleri sayesinde özellikle nükleer fizik, uzay bilimi, tıbbi fizik ve malzeme biliminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmada ayrıca XCOM ve Phy-X gibi yazılımlar da kullanılarak sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir, bu da sonuçların doğruluğunu pekiştirmektedir.

Araştırmada radyasyon zırhlama parametrelerinden kütle azaltma katsayısı (MAC), lineer azaltma katsayısı (LAC), yarı değer kalınlığı (HVL) ve ortalama serbest yol (MFP) hesaplanmıştır. Bu parametrelerin her biri, malzemelerin radyasyonla etkileşim özelliklerini açıklayan kritik göstergelerdir. Kütle azaltma katsayısı, bir malzemenin birim kütlesi başına radyasyonu ne kadar absorbe edebileceğini ifade eder. Elde edilen verilere göre S3 numunesinin en yüksek kütle azaltma katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir; bu da S3 numunesinin diğerlerine kıyasla daha etkili bir radyasyon soğurucu olduğunu göstermektedir. Lineer azaltma katsayısı ise, radyasyonun malzeme içerisindeki ilerleme yönünde ne kadar yayılatıldığını gösterir. Bu katsayı arttıkça, malzemenin radyasyon soğurma etkinliği de artmaktadır ve sonuçlara göre S3 numunesi bu alanda da üstün performans sergilemiştir.

Yarı değer kalınlığı (HVL), bir malzemenin radyasyon şiddetini yarıya indirmek için gereken kalınlık değerini ifade eder. Bu değer ne kadar küçükse, malzeme o kadar ince bir tabaka ile etkin radyasyon koruması sağlayabilir. Araştırmanın sonuçları, S3 numunesinin diğer numunelere kıyasla daha düşük bir HVL değerine sahip olduğunu göstermiştir; bu da, S3'ün daha az malzeme kalınlığı ile radyasyondan etkili bir koruma sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu durum, malzeme tasarrufu sağlayarak maliyet avantajı sunarken, özellikle kalınlık sınırlaması olan uygulamalarda tercih edilme sebebi olabilmektedir.

Ortalama serbest yol (MFP), radyasyonun malzeme içerisindeki iki etkileşim noktası arasındaki ortalama mesafeyi ifade eder. Düşük MFP değerleri, radyasyonun malzeme içerisinde daha sık etkileşimlere girdiğini ve dolayısıyla daha iyi absorbe edildiğini gösterir. Bu bağlamda, S3 numunesinin ortalama serbest yol değeri diğerlerine kıyasla daha düşük çıkmıştır, bu da malzemenin radyasyon karşısında daha etkin bir soğurma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Bu tür düşük değerler, özellikle yüksek enerjili gama radyasyonuna karşı koruma sağlamak için önemli avantajlar sunmaktadır.

Çalışmada ayrıca etkin atom numarası (Z_{eff}) ve etkin elektron yoğunluğu (N_{eff}) değerleri incelenmiştir. Etkin atom numarası, çok bileşenli malzemelerin radyasyon soğurma kapasitelerinin ölçülmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Atom numarası yüksek olan elementler, daha fazla radyasyon soğurabilirler ve tungsten, yüksek atom numarasına sahip olması nedeniyle bu alanda avantaj sağlamaktadır. Çalışmada S3 numunesinin etkin atom numarasının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir ve bu da malzemenin radyasyonla etkileşimini artırarak soğurma kapasitesini yükseltmektedir. Benzer şekilde, etkin elektron yoğunluğu (N_{eff}), malzemenin birim kütledeki elektron sayısını ifade eder ve bu değer arttıkça, malzemenin radyasyon soğurma potansiyeli de artar. S3 numunesinin diğer numunelere göre daha yüksek bir N_{eff} değerine sahip olması, bu numunenin radyasyon karşısında daha fazla direnç sunduğunu göstermektedir.

Sonuçların doğruluğunu artırmak ve daha geniş bir bakış açısı sağlamak amacıyla, Geant4 ile elde edilen veriler XCOM ve Phy-X yazılımlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar, sonuçların doğruluğunu pekiştirmiş ve kullanılan yöntemin güvenilirliğini artırmıştır. XCOM ve Phy-X yazılımları, radyasyonun malzemeler üzerindeki soğurma ve saçılma katsayılarını hesaplama konusunda yaygın olarak kullanılmaktadır ve elde edilen sonuçların bu yazılımlarla uyumlu olması, çalışmada kullanılan Geant4 simülasyon tekniğinin güvenilir bir araç olduğunu göstermektedir.

Çalışmada kullanılan Monte Carlo simülasyon yöntemi, maliyet avantajı sağlamasının yanı sıra deneysel olarak gerçekleştirilmesi zor olan süreçleri simüle etme imkanı sunmaktadır. Bu teknik, bilim insanlarına farklı senaryoları yüksek doğrulukla inceleme olanağı tanır ve bu çalışmada da farklı cam bileşimlerinin radyasyonla etkileşimleri başarılı bir şekilde modellenmiştir. Bu da, gelecekteki araştırmalar için güçlü bir temel oluştururken, pratik uygulamalar için güvenilir sonuçlar sunmaktadır.

Sonuç olarak, cam malzemelere eklenen WO_3 oranının artırılması, gama radyasyonuna karşı etkin bir koruma sağlamak için önemli bir katkı sunmaktadır. S3 numunesinin diğerlerine kıyasla daha yüksek WO_3 içeriği, bu numuneyi daha etkili bir radyasyon koruyucu yapmaktadır. Çalışmanın bulguları, bu tür malzemelerin özellikle tıbbi ve endüstriyel radyasyon koruma uygulamalarında kullanılabileceğini ve bu alanlarda güvenliği artıracağını göstermektedir. Gama radyasyonuna karşı koruma sağlamak

için geliştirilen bu cam kompozisyonları, sağlık sektöründen nükleer enerjiye kadar geniş bir yelpazede uygulama bulabilmektedir.





INVESTIGATION OF GAMMA RADIATION SHIELDING PROPERTIES BORATE GLASSES CONTAINING Na_2O , BaO AND WO_3

SUMMARY

This research presents a detailed study of the gamma-ray shielding properties of glass samples composed of B_2O_3 , Na_2O , BaO , and WO_3 . The purpose of this research is to develop materials with improved radiation shielding effectiveness to mitigate the harmful effects of gamma radiation exposure, which poses significant risks in various industries. Radiation shielding is crucial not only in the nuclear and medical fields but also in energy production, defense, aerospace technology, and even agriculture, where radiation sources are increasingly used. Evaluating the effectiveness of materials such as glass compositions is thus essential for designing practical and reliable shielding solutions that ensure both safety and functionality.

The study analyzed three glass samples with distinct chemical compositions to determine the effect of varying levels of WO_3 on the radiation absorption and attenuation capacities of these glasses. The first glass sample, referred to as (S1), contains 75% B_2O_3 , 5% Na_2O , and 20% BaO , while the second sample (S2) contains a similar composition with an additional 3% WO_3 . The third sample (S3) has 10% BaO and 10% WO_3 , giving it the highest concentration of tungsten oxide. Since WO_3 has a high atomic number, its addition is expected to enhance the radiation absorption properties of glass, making it more effective for shielding purposes. The study's goal was to understand how the increased WO_3 content in glass affects gamma radiation shielding, as tungsten oxide, with its high atomic number and density, is well-known for its potential to absorb radiation efficiently—a desirable trait for radiation shielding materials in practical applications.

The research methodology primarily relied on the Monte Carlo simulation technique, which is known for its robust capacity to model complex physical interactions in a virtual environment. Monte Carlo simulations use random number generation and probability theory to replicate physical events, making them highly effective for analyzing the interactions between radiation and materials. In this study, the Geant4 software package, based on the Monte Carlo method, was employed due to its ability to simulate particle interactions within materials accurately. Geant4 is widely used in fields such as nuclear physics, space research, medical physics, and materials science because it can simulate particle trajectories, energy distributions, and scattering phenomena in detail. To enhance the reliability of the results, the study cross-validated the data obtained from Geant4 with findings from other software such as XCOM and Phy-X, which are also specialized in calculating radiation absorption and attenuation coefficients in various materials. This comparative analysis ensured the accuracy and reliability of the results, providing a strong foundation for potential future research.

The study focused on key radiation shielding parameters, including mass attenuation coefficient (MAC), linear attenuation coefficient (LAC), half-value layer (HVL), and mean free path (MFP). Each of these parameters provides essential insights into how materials interact with radiation. The mass attenuation coefficient is a critical factor

that indicates the amount of radiation absorbed per unit mass of a material. Higher MAC values suggest better radiation absorption capacity. According to the study's findings, sample S3 exhibited the highest MAC value, demonstrating that it absorbs radiation more effectively than the other samples. This property is particularly beneficial for applications that require substantial protection against radiation exposure for both individuals and equipment, as a higher MAC translates to a stronger ability to attenuate gamma rays and reduce exposure.

Another important parameter examined in the study is the linear attenuation coefficient (LAC), which reflects the extent to which radiation intensity is reduced as it passes through a material. Higher LAC values indicate increased effectiveness in attenuating radiation, making the material more suitable for shielding applications. The results show that sample S3, with its higher WO_3 content, had a superior LAC value, meaning it performed better at weakening radiation intensity compared to the other samples. This finding underscores the potential of WO_3 as a key additive in developing high-performance radiation shielding materials.

The half-value layer (HVL) was another parameter analyzed in this study. HVL is defined as the thickness of material required to reduce the intensity of radiation to half its original value. A lower HVL implies that the material can achieve effective radiation shielding with less thickness. The study found that sample S3 had a lower HVL than the other samples, indicating that it can provide the same level of protection with a thinner layer of material. This property not only enhances the material's practicality but also offers economic advantages by reducing the quantity of material needed for effective shielding. This is especially beneficial in applications where space is limited or weight is a concern, such as in aerospace and certain medical equipment.

In addition to these parameters, the study examined the mean free path (MFP), which represents the average distance that radiation travels between interactions within a material. A lower MFP means that radiation is absorbed or scattered more frequently within the material, thereby enhancing its shielding capability. Sample S3 demonstrated a lower MFP compared to the other samples, further substantiating its effectiveness in absorbing gamma rays. This finding is critical in understanding how increased WO_3 content impacts the material's ability to protect against high-energy gamma radiation, making it advantageous for applications requiring high levels of radiation protection.

The research also focused on effective atomic number (Z_{eff}) and effective electron density (N_{eff}), which are vital in evaluating the radiation shielding potential of multi-component materials. The effective atomic number is particularly important in determining a material's capacity to absorb radiation, as elements with a higher atomic number can interact more intensely with gamma rays. Tungsten's high atomic number contributes significantly to this interaction, enhancing the material's radiation absorption capability. The study found that sample S3 had a higher effective atomic number, which strengthens its interaction with radiation and increases its absorption efficiency. Likewise, the effective electron density (N_{eff}) represents the number of electrons per unit mass in the material. A higher N_{eff} translates to improved radiation absorption potential, as it increases the probability of interactions between radiation and the electrons within the material. Sample S3, with its higher N_{eff} value, showed greater resistance against radiation, indicating its suitability as an effective shielding material in environments with high gamma radiation exposure.

To further ensure the accuracy of the findings, the study compared results from Geant4 with data from XCOM and Phy-X software, which are commonly used for calculating absorption and scattering coefficients for materials exposed to radiation. The consistency observed between the software results verified the reliability of the Geant4 simulation technique and confirmed the validity of the results, making the findings a robust basis for further research. This agreement also demonstrated that the methodologies used in this study can be trusted for practical applications in material science and radiation protection.

The Monte Carlo simulation method, employed through Geant4, offers significant advantages in terms of cost-effectiveness and the ability to model complex radiation-material interactions that might be challenging to reproduce experimentally. This approach allows researchers to test various scenarios with high accuracy and provides valuable insights into the radiation shielding performance of different glass compositions. This capability makes Geant4 a valuable tool in evaluating multiple chemical compositions and identifying the most suitable ones for industrial and medical radiation shielding applications.

In conclusion, the study shows that increasing the WO_3 content in glass materials significantly enhances their gamma radiation shielding properties. The S3 sample, with a higher concentration of WO_3 , proved to be the most effective in shielding against gamma radiation, making it the best candidate for applications requiring high levels of radiation protection. These findings offer significant contributions to the development of advanced materials for radiation shielding and have practical implications for improving material design in sectors such as medicine and industry. Gamma radiation shielding materials, such as the glass compositions developed in this study, hold promising applications across a wide spectrum, from healthcare to nuclear energy, providing enhanced safety for personnel and sensitive equipment.



1. GİRİŞ

Radyasyon, elektromanyetik radyasyon veya parçacıklar halinde bir yerden başka bir yere hareket eden enerji olarak tanımlanır. Taşıdıkları enerjiye göre, radyasyon iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki farklı grupta incelenmektedir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, bir atomu iyonlaştırmaya yetecek enerjiye sahip olmayan radyasyondur. İyonlaştırıcı radyasyon ise içinden geçtiği ortamın atomlarıyla etkileşime girerek iyonlaşmalarına yol açan yüksek enerjili radyasyon olarak tanımlanır. Çalışmamızda sadece iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon ele alınmıştır.

Radyasyondan bir malzeme ile etkileşime girdiğinde fotonların bir kısmı maddenin diğer tarafına geçerken bir kısmı da soğurulur. İletilen radyasyon miktarını belirleyen etkiler arasında radyasyonun madde ile yaptığı üç temel etkileşim (Fotoelektrik olay, Compton saçılması, Çift oluşumu) ön plana çıkar. Bu olayların gerçekleşme ihtimali foton enerjisine ve etkileştiği maddenin atom numarasına bağlı olarak değişmekte olur.

Compton saçılması, yüksek enerjili fotonların serbest veya zayıf bağlı elektronlarla etkileşime girerek saçılması fenomeni olur.

Fotoelektrik olay, düşük enerjili bir fotonun, ortam atomlarının iç yörüngesinde bulunan sıkı bağlı elektronlar ile etkileşerek, tüm enerjisini aktararak elektronu koparması olayına denir.

Çift oluşumu, yüksek enerjili bir fotonun bir atom çekirdeğinin yakınında elektron-pozitron çiftine dönüşmesi sürecidir. Bu süreç, elektromanyetik alanın yoğunluğunun yüksek olduğu ortamlarda meydana gelir.

Üç cam numunesinden geçen radyasyon miktarı hesaplandı ve radyasyondan korunma parametreleri ölçülerek özellikleri araştırıldı.

Lineer Azaltma Katsayısı (μ), malzemenin radyasyonu ne kadar etkin bir şekilde zayıflattığını ifade eder.

Kütle Azaltma Katsayısı (μ_m), soğurucu malzemenin bir foton ile birim kütle başına düşen azalma miktarını gösteren bir katsayı olur

Yarı Değer Kalınlığı (HVL), Malzemeyle etkileşime giren radyasyonun şiddetini yarı yarıya azaltmak için gereken malzemenin kalınlığıdır.

Ortalama Serbest Yol (MFP), Foton ve maddenin etkileşimi sırasında madde içerisinde iletilen fotonların birbirini takip eden iki etkileşimi arasındaki ortalama mesafe olarak tanımlanır.

Etkin Atom Numarası (Z_{eff}), soğurulan dozun hesaplanmasında kullanılan ve gelen radyasyonun materyalle etkileşimini gösteren bir radyasyon zırlama parametresidir. (Z_{eff}), maddenin atomik yapısına ve yoğunluğuna bağlı olarak radyasyonu ne kadar iyi soğurduğunu göstermektedir.

Etkin Elektron Yoğunluğu (N_{eff}), birim kütle başına düşen elektron sayısı olarak tanımlanabilmekte olup, etkin atom numarasıyla ilişkilidir.

Malzemeden geçen ışının gelen ışına oranı olan (TF%) hesaplandı ve malzemenin farklı kalınlıkları (0.5, 1 ve 1.5 cm) boyunca hesaplandı.

Son olarak, doğru bir karşılaştırma yapılabilmesi için malzeme kalınlığının tüm numuneler için eşit olmasının önemli olduğu radyasyondan korunma verimliliği (RPE%) hesaplandı.

Bu çalışmada, radyasyon zırlama parametreleri hesaplanan cam sistemlerinin kimyasal bileşimleri ve yoğunlukları

Bu cam numunelerine (S1, S2 ve S3) ait radyasyon zırlama parametreleri Geant4 simülasyon programıyla, 0.015-15 MeV foton enerji aralığı için hesaplanmış ve sonuçlar XCOM ve Phy-X yazılımlarından elde edilenlerle karşılaştırılmıştır.

Geant4, parçacıkların maddenin içindeki etkileşimlerini ve geçişlerini simüle etmek için Monte Carlo yöntemlerini kullanan bir yazılım paketidir. CERN'de (Avrupa Nükleer Araştırma Laboratuvarı) 1993 yılında Geant yazılım paketi temel alınarak ve C++ programlama dili kullanılarak yüksek enerji fiziği deneylerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır.mevcuttur.

XCOM, elektromanyetik radyasyonun, özellikle X-ışınları ve gama ışınlarının soğurma ve saçılma katsayılarını hesaplamak için kullanılan bir yazılımdır. Bu program, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'na (IAEA) bağlı Nükleer Enerji Ajansı tarafından geliştirilmiş olup radyasyon uygulamaları ve nükleer araştırmalar gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır.

Phy-X web sitesi, radyasyon ve malzemeler arasındaki etkileşimle ilgili fiziksel özelliklerin hesaplanması için çevrimiçi hesaplama araçları sunan bir platformdur. Özellikle nükleer fizik ve radyasyon fiziği alanlarında kullanılan yazılım online olarak kullanılabilmekte olur.





2. GENEL BİLGİLER

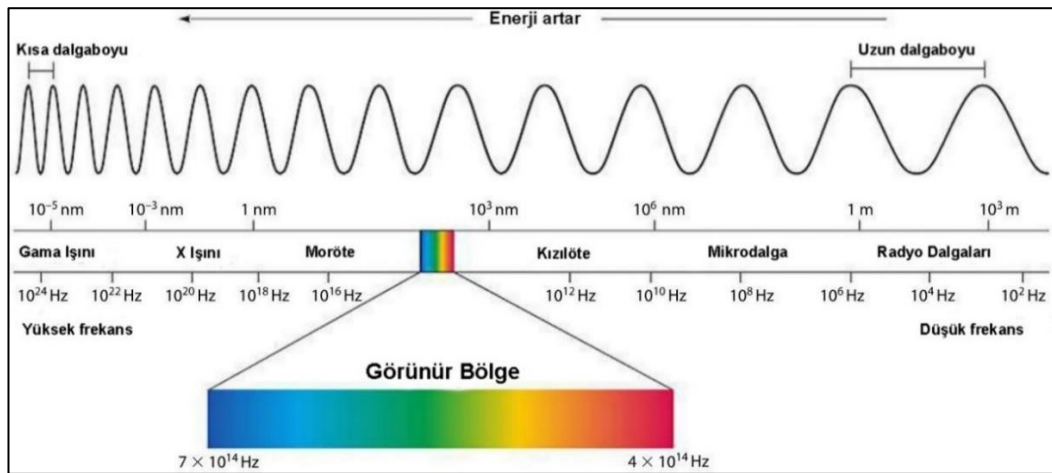
2.1. Radyasyon

Radyasyon, elektromanyetik radyasyon veya parçacıklar halinde bir yerden başka bir yere hareket eden enerjidir. Bu yönüyle, radyasyon doğanın ayrılmaz bir parçasıdır ve insanlar sürekli olarak buna maruz kalmaktadır. Belirli bir kütleye ve enerjiye sahip parçacıkların bir hızla hareketi olarak görülen radyasyon türü parçacık radyasyonu olarak adlandırılmaktadır. Öte yandan dalga tipi radyasyon örnek olarak verebileceğimiz elektromanyetik radyasyon, kütlesi olmayan ve belirli bir enerjiye sahip olan fotonlardır [1,2].

Elektromanyetik dalgalar uzayda ışık hızı ile yayılırlar ve enerjileri frekansları ile doğru, dalga boyları ile ters orantılıdır. Elektromanyetik dalgalara ait frekans, dalga boyu, hız ve enerji nicelikleri arasındaki ilişkiler Denklem 2.1’de verilmiştir [3].

$$E = h \cdot f = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

Şekil 2.1’de verilen elektromanyetik spektrumda elektromanyetik dalgalar frekanslarına, ya da diğer bir deyişle, taşıdığı enerjiye göre sıralanmıştır.



Şekil 2.1 Elektromanyetik spektrumu [5].

Taşıdıkları enerjiye göre, radyasyon iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki farklı grupta incelenmektedir [4]. Radyo dalgaları,

mikrodalgalar, ve görünür ışık gibi düşük enerjiye sahip olanlar, bir atomu iyonlaştırabilecek kadar enerjiye sahip değiller ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılırlar. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, termal görüntüleme, kablosuz iletişim ve kızılötesi ışınlarla ısıtma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu gruptaki elektromanyetik dalgalar, içinden geçtikleri ortam atomlarını titreştirerek ya da döndürerek, etkileştiği maddenin sıcaklığının artmasına neden olurlar.

Öte yandan, iyonlaştırıcı radyasyon, içinden geçtikleri ortam atomlarıyla etkileşerek onların iyonlaşmalarına sebep olabilen yüksek enerjili radyasyondur. Parçacık tipi radyasyonlara ek olarak elektromanyetik spektrumdaki X-ışınları ve gama ışınları iyonize radyasyona örnek olarak gösterilebilir. İyonlaştırıcı radyasyon, kanser tedavisi, radyolojik görüntüleme, malzemelerin sterilizasyonu ve testi gibi birçok alanda kullanılır [5,6].

Tablo 2.1 radyasyonun enerjisine ve türüne göre hangi gruplara ayrıldığını özet bir şekilde göstermektedir.

Tablo 2.1. Yapısal olarak radyasyon türleri.

Parçacık Radyasyon	Elektromanyetik Radyasyon	
İyonlaştırıcı	İyonlaştırıcı	İyonlaştırıcı olmayan
Alfa	X ışınları	Radyo dalgaları
Beta	Gama ışınları	Mikrodalgalar
Hızlı elektronlar	Morötesi	Görünür ışık
		Kızılötesi

2.2. Radyasyonun Kısa Tarihçesi

X-ışınları ilk kez 1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedildi. William Röntgen, iki ucu arasına yüksek elektrik gerilimi uygulanan bir cam tüpün içine bir elektron ışınını tuttu. Bu bir vakum tüpüydü ve içindeki elektronlar negatif elektrottan pozitif elektrota doğru hareket ediyordu. Bu tüpün etrafını, yayılan elektromanyetik alandan korunmak için açık renkli kağıtla çevreledi ve ucuna fosforlu

bir ekran yerleştirdi. Elektron ışını ekrana çarptığında parlamaya başladığı görüldü. Röntgen yanlışlıkla elini tüp ile fosforlu ekranın arasına soktuğunda ekranda el kemiklerinin görüntüsünü gördü. Daha sonra Röntgen'in, aynı işlemi karısının eline de uygulayarak aldığı ve ilk tıbbi röntgen görüntüsü olarak bilinen görüntü şekil 2.1'de verilmiştir [7,8].



şekil 2.2. Wilhelm Röntgen'in karısının elinin röntgen görüntüsü [7].

1896 yılında Becquerel, uranyum tuzlarından birinin etrafına radyasyon yaydığını keşfetmiştir. Becquerel, daha sonra tüm uranyum bileşiklerinden radyasyon yayıldığını ve bu radyasyonun kaynağının uranyum atomu olduğunu ortaya koymuştur. Bu radyasyonun sürekli olarak kendiliğinden meydana geldiği ve basınc ve sıcaklık gibi dış etkenlerden etkilenmediği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle uranyum radyasyonu "aktif radyasyon" olarak adlandırılmıştır [9].

Marie Curie, radyoaktif elementler polonyum ve radyumun keşfinde önemli rol oynamıştır. Marie, kocası Pierre Curie tarafından icat edilen elektrometre cihazını

kullanarak uranyum bileşiklerinin aktivitesinin yalnızca içlerinde bulunan uranyum miktarına bağlı olduğunu doğruladı ve burada radyasyonun uranyumdan kaynaklanmadığı hipotezini kanıtladı. Moleküller arasında meydana gelen, daha ziyade atomun kendisinden gelen etkileşim ve bu isme “radyoaktivite” adını ilk veren de o olmuştur.



Şekil 2.3. Marie Curie laboratuvarında [11].

Marie ve kocası, güçlü aktivitenin bizmut veya baryum içeren fraksiyonlarla geldiğini bulmuştur. Marie bizmut fraksiyonları analizine devam ettiğinde, her bir miktar bizmutu almayı başardığında, daha büyük aktiviteye sahip bir kalıntı kaldığını bulmuştur. Radyoaktivite terimini de ilk kez bu çalışmada kullanmışlar. Birkaç ay daha çalıştıktan sonra Curie’ler, 26 Aralık 1898’de l’Académie des Sciences’a, kimyasal olarak neredeyse saf baryum gibi davranan çok aktif bir maddeye rastlamak için güçlü gerekçeler gösterdiklerini bildirmişler. Yeni elemente radyum adını önermişler [10,11,12]. X ışınlarının geliştirilmesine de katkıda bulunan Curie, Fizik alanında iki ve Kimya alanında bir Nobel Ödülü kazanmıştır.

1900 yılında Alman fizikçi Max Planck, bir kara cisim (üzerine düşen enerjiyi tamamen emen, bir denge sıcaklığına ulaştıktan sonra yeniden yayan varsayımsal bir

cisim) tarafından yayılan radyasyonun spektral enerji dağılımını açıklayan bir matematiksel ifade ortaya koymuştur. Planck, radyasyon kaynaklarının salınım halindeki atomlar olduğunu ve her bir osilatörün titreşim enerjisinin bir dizi ayrık değerden herhangi birine sahip olabileceğini, ancak bunlar arasında asla bir değere sahip olamayacağını varsaymıştır. Planck ayrıca, bir osilatörün (E_1) enerji durumundan daha düşük enerji (E_2) durumuna geçtiğinde, $E_1 - E_2$ enerji miktarının, radyasyon frekansı ile orantılı olduğunu ortaya koymuştur.

$$E_1 - E_2 = h f \quad (2.2)$$

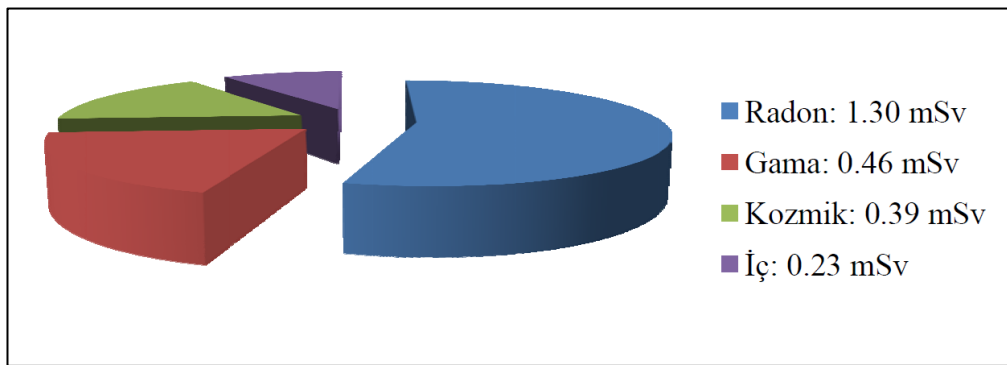
ifadesiyle verilen denklemde (h), Planck sabiti olarak adlandırılır ve 6.62×10^{-34} J.s değerine sahiptir [13,14].

2.3. Radyasyon Kaynakları

Radyasyon kaynakları, doğal ve yapay kaynaklar olmak üzere iki farklı grupta incelenmektedir.

2.3.1. Doğal radyasyon kaynakları

Toprakta ve havada bulunan radyoaktif elementler ve kozmik ışınlar doğal radyasyon kaynaklarının başlıcalarındandır. Şekil 2.4’de başlıca doğal radyasyon kaynakları ve bu kaynaklardan alınan dozlar görülmektedir.



Şekil 2.4. Doğal radyasyon kaynaklardan alınan dozlar [15].

Şekilde görüldüğü gibi doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozun büyük bir kısmı radon gazı sebebiyledir. Yeryüzdeki doğal radyasyon seviyeleri birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir; en önemli faktör, yer kabuğundaki radyoaktivite kompozisyonlarının çevrenin biyolojik ve kimyasal oluşumuna bağlı olarak büyük

ölçüde değişmesidir. Örneğin volkanik kayalardaki radyoaktivite konsantrasyonu tortul kayalara göre daha yüksektir.

Yeryüzü kaynaklı karasal ışınlar, dünyamızın kabuğunda bulunan ve uzun ömürlü radyoaktif elementlerin bozunma ürünleri neden olmaktadır. Gama ışınları, doğal olarak kayalarda ve toprakta bulunan uranyum-238, toryum-232 ve potasyum-40'ın doğal radyoaktif serisindeki radyoaktif izotoplar tarafından yayılır. Bina yapımında kullanılan taş ve topraktan da az miktarda radyasyon yayılabilir.

Bir diğer doğal radyasyon türü olan kozmik ışınlar, uzaydan ve güneşten sürekli olarak dünya atmosferine ulaşan protonların, elektronların, alfa parçacıklarının ve diğer yüksek enerjili parçacıklardır. Kozmik ışınların bir kısmı dünya atmosferiyle etkileşerek soğurulmaktadır. Bunun bir sonucu olarak, radyasyona maruz kalma miktarı deniz yüzeyine yaklaştıkça azalır, aksine yüksek rakımlarda artar.

İnsanların çevredeki doğal radyasyon kaynaklarından etkilenmeleri genel olarak Dış ışınlamalar ve İç ışınlamalar olmak üzere iki şekilde olmaktadır. Dünyadaki radyoaktif izotopların yaydığı gama ışınları nedeniyle vücudumuz dış radyasyona maruz kalmaktadır. Ayrıca, radyoizotopların insan vücuduna alınması ile oluşan iç ışınlamalara maruz kalınmaktadır.

İç ışınlama, vücudumuzda bulunan radyoaktif elementler (özellikle K-40) ile birlikte yeryüzü kaynaklı doğal olarak bulunan radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır. Bu şekilde vücuda alınan maddeler iç ışınlamaya yol açmaktadır. Havada bulunan U-238 ve Th-232 bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Solunum yolu ile iç ışınlamanın en önemli bileşenini radon ürünleri oluşturmaktadır. Yiyecek ve içeceklerde bulunan K-40, U-238 ve Th-232 serileri, sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluşturmaktadır [15,16].

2.3.2. Yapay radyasyon kaynakları

Son yıllarda teknolojinin ilerlemesi ve endüstriyel ekonominin hızla büyümesiyle birlikte, dünya üzerinde doğal olarak bulunmayan çeşitli radyasyon kaynaklarının üretimi ortaya çıkmıştır. Radyasyonun kullanımı endüstriyel ve tarımsal alanların yanı sıra tıp alanında da yaygınlaşmıştır. En önemli avantajı doz miktarının kontrol edilebiliyor olmasıdır.

Yapay radyasyonun ana kaynakları tıp alanında kullanılan kaynaklar, nükleer santrallerden yayılan radyoaktif maddeler, ve nükleer bomba denemelerinden sonra meydana gelen nükleer serpintilerdir. Yapay radyasyon kaynaklarına maruz kalma, doğal kaynaklara kıyasla daha azdır [17].

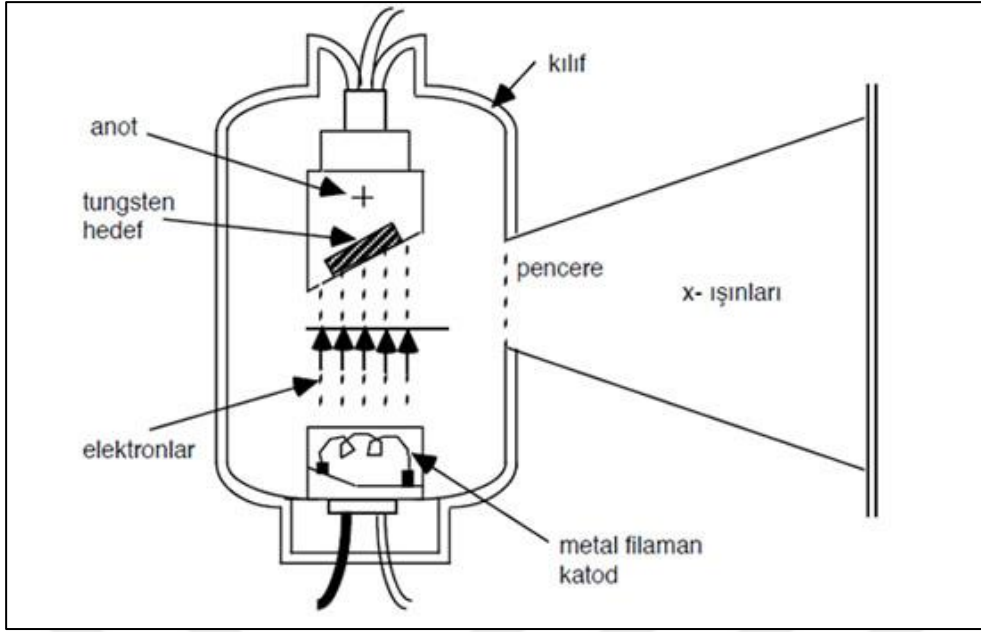
2.4. X-Işınları

Elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile üretebilen X-ışınları yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır. Dalga boyları 0.25 - 25 Å arasında değişen karakteristik aralık yumuşak ve sert X ışınları olarak tanımlanır. Yumuşak X-ışınları yüzlerce eV'den birkaç keV'ye kadar olan aralığı kapsamakta olup, sert X-ışınları birkaç keV'den yaklaşık 100 keV'ye kadar bir enerji aralığına sahiptir.

X-ışınları, 1895 yılında Würzburg Üniversitesi'nde Alman bilim adamı William Roentgen'in katot ışın tüpleri ile yaptığı bir deney sırasında tesadüfen keşfedilmiş. Bu ışınların katı cisimlerin içinden geçerek fotoğraf plakalarında görüntü oluşturabildiğini gözlemledi. Röntgen, bu ışınları gizemli doğası nedeniyle "X ışınları" olarak adlandırmış ve buluşu tıp ve bilim alanlarında devrim yapmıştır, ve 1901'de Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmıştır.

X-ışınları, doğal ve yapay olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir; doğal X-ışınları, alfa bozunması, iç dönüşüm ve beta bozunması yoluyla bir atomun çekirdeği tarafından K enerji kabuğundan elektronların yakalanmasıyla üretilir. Bir atoma dışarıdan giren veya dışarıdan gönderilen yüksek enerjili elektronlar, o atomun ilk halkalarındaki elektronları uzaklaştırır. Bu elektronun atomdan ayrılması yerine elektronlar daha üst bir seviyeden (üst halkalardan) atlayarak kırılan elektronun yerine boşluğu doldurur. İşlem sırasında üretilen fazla enerji X-ışınları şeklinde salınır. Hareketi sırasında çekirdeğin protonlarından biri, atomun ilk halkalarından bir elektronu yakalar ve nötralize edilir. X-ışınları, başka bir halkadaki bir elektronun, yakalanan elektronun halkasındaki boş bir yere atlaması sonucu ortaya çıkabilir.

Yapay x-ışınları ise; elektronlar, protonlar, parçacıklar veya iyonlar gibi hızlandırılmış parçacıkların maddeyle etkileşimden veya bir X-ışını tüpü veya diğer uygun radyoaktif kaynaktan yayılan fotonlarla etkileşimden kaynaklanır. Maddenin fotonlarla etkileşimi karakteristik (doğrusal) X-ışınları üretir, yüklü parçacıklarla etkileşimi ise hem karakteristik hem de sürekli X-ışınları üretir [18,19].



Şekil 2.5. X-ışını tüpü [20].

Şekil 2.5'te verilen X-ışını tüpü, yüksek voltajlı bir katot ışıını tüpüdür. Tüp, içinde yüksek vakumla oluşturulmuş cam bir kılıf kullanılarak yapılmıştır. Bir ucunda pozitif elektrot (anot), diğer ucunda negatif elektrot (katot) bulunur ve her ikisi de sıkıca lehimlenmiştir. Katot, tungsten malzemeden yapılmış bir flaman olup ısıtıldığında elektronlar salar. Anot, kalın bir çubuk ve bu çubuğun ucundaki metal hedeften oluşur. Katot ve anot arasına yüksek voltaj uygulandığında, katotta elektron akımı oluşturacak bir flamanı oluşur. Bu elektronlar yüksek gerilim altında anoda doğru ivmelendirilir ve hedefe çarpmadan önce yüksek hızlara erişir. Yüksek hızdaki elektronlar metal hedefe çarptığında, enerjilerini aktararak bir foton yayınlama eğilimindedir. X-ışını demeti, oluştuğunda, cam zarf içerisindeki ince cam pencereden geçer. Bazı tüplerde, tek dalga boyuna sahip X-ışınlarını elde etmek için filtreler kullanılır.

X ışınları en önemlisi tıp alanı olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır, iç organlar ve kemiklerin görüntülenmesinde için kullanılır. Radyografi, floroskopi ve bilgisayarlı tomografi (BT) gibi farklı teknikler, hastalıkların teşhis ve tedavisinde büyük önem taşır (Şekil 2.6). Radyografi kemik kırıklarını teşhis etmek için yaygın olarak kullanılırken, floroskopi canlı organ hareketlerini izlemek ve BT taramaları da detaylı iç yapı görüntüleri oluşturmak için kullanılır [20].



Şekil 2.6. Röntgen cihazı ve bazı röntgen görüntüleri [22].

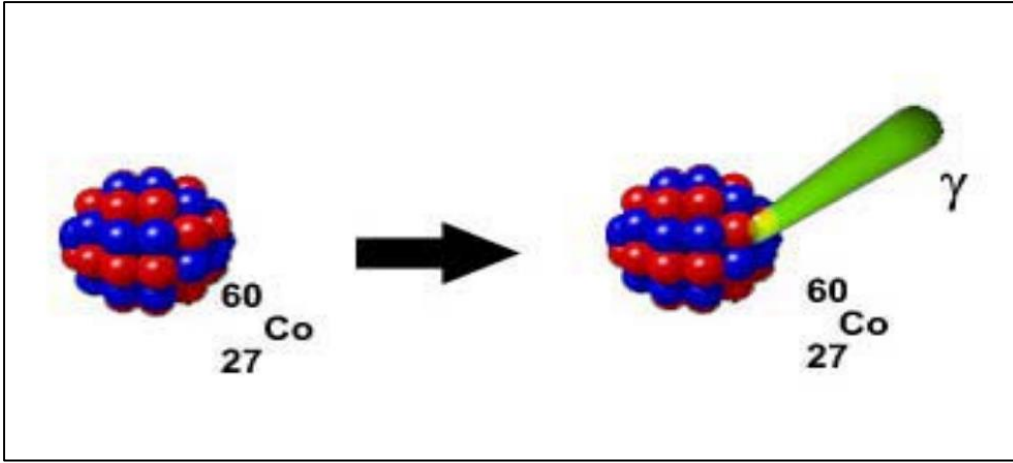
X-ışınları endüstriyel alanda, malzemelerin non-destrüktif muayenesi için kullanılır. Bu yöntem, özellikle havacılık, otomotiv ve imalat sektörlerinde malzeme içerisindeki hataları belirlemek için kullanılır. X-ışınları, ayrıca gıda sterilizasyonu ve malzeme analizlerinde de büyük bir öneme sahiptir.

X-ışınları ayrıca, havaalanlarında ve diğer güvenlik kontrol noktalarında bagaj ve kargo taraması için kullanılır. X-ışınlarının güvenlik sektöründe kullanımı, hem yolcuların hem de personelin güvenliği açısından hayati bir rol oynamaktadır [18,21,23].

2.5. Gama Işınları

Gama ışınları, yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır ve elektromanyetik spektrumdaki en kısa dalga boyuna ve en yüksek frekansa sahiptir. Enerjileri 0,1–10 MeV arasındadır.

Gama ışınları 1900 yılında Fransız fizikçi Paul Villard tarafından keşfedilmiş. Villard, uranyumun ve bozunma ürünlerinin özelliklerini araştırırken, manyetik veya elektrik alanları tarafından saptırılmayan, oldukça nüfuz edici bir radyasyon biçimi gözlemlemiştir. Bu radyasyona Yunan alfabesinin üçüncü harfinden dolayı "gamma ışınları" adı verilmiştir. gama ışınları nüfuz etme güçleri ve maddeyi iyonlaştırma yetenekleri nedeniyle çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.



şekil 2.7. Gama ışınının yayınlanması (γ) [24]

Birçok radyoaktif izotop, bozunma süreci sırasında gama ışınları yayarlar. Şekil 2.7’de Kobalt-60 izotopundan gama ışınının yayınlanması gösterilmiştir. Doğal olanlara ek olarak, sentetik olarak üretilen izotoplar da gama radyasyonu kaynağı olarak kullanılır. Parçacık hızlandırıcılar, Siklotronlar ve senkrotronlar dahil olmak üzere yüksek enerjili parçacık hızlandırıcılar, hızlandırılmış parçacıklar ve hedef malzemeler arasındaki etkileşimler yoluyla gama ışınları üretebilir. Nükleer reaksiyonlar, Nükleer reaktörlerde ve parçacık hızlandırıcılarda fisyon ve füzyon gibi nükleer reaksiyonlar sırasında gama ışınları yayılır.

Gama ışınları tıp alanında, tıbbi ve terapötik görüntülemede yaygın olarak kullanılmaktadır. gama kamera taraması, pozitron emisyon tomografisi (PET) ve gama bıçağı radyocerrahisi gibi tanısal görüntüleme tekniklerinde kullanılır. Endüstriyel uygulamalarda ise, endüstriyel radyografide malzemelerin tahribatsız muayenesi, kaynaklardaki kusurların tespiti ve havacılık, otomotiv ve imalat endüstrilerindeki kritik bileşenlerin bütünlüğünü sağlamak için kullanılır. Bunların yanı sıra, nükleer enerji üretiminde, nükleer reaktörleri izlemek ve kontrol etmek ve ayrıca nükleer fisyon yoluyla elektrik üretmek için kullanılırlar [3,25,26].

3. RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞİM

Fotonlar, geçtikleri ortamdaki atomlarla etkileşime girerek soğurulabilir veya saçılabilirler. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşiminde Tablo 3.1’de de verilen üç temel etkileşim (Fotoelektrik olay, Compton saçılması, Çift oluşumu) öne çıkar. Bu etkileşimlerden Fotoelektrik olay ve çift oluşumunda foton tamamen soğurulurken, Compton saçılmasında enerjisinin bir kısmını kaybeder. Bir diğer saçılma türü olan Rayleigh saçılmasında ise foton enerjisinde bir değişiklik olmamaktadır [27].

Tablo 3.1. Elektromanyetik radyasyon etkileşimlerinin sınıflandırılması.

Etkileşimin tipi	Soğurma	Saçılma	
		Koherent	İnkoherent
Elektronla etkileşme	Fotoelektrik olay	Rayleigh Saçılması (düşük enerji)	Compton Saçılması
Atom çekirdeği ile etkileşme	Çift oluşumu		

3.1. Elektromanyetik Radyasyonun Saçılması

Elektromanyetik radyasyonun maddelerle etkileşimi sonucu saçılması, koherent ve enkoherent saçılma olmak üzere iki grupta incelenebilir.

3.1.1. Koherent saçılma

Koherent saçılma, aynı zamanda Rayleigh veya elastik saçılma olarak da bilinir. Gelen fotonun enerjisi düşük olduğundan (genellikle 10 keV’nin altında), bu etkileşim atomu iyonize etmez. Foton, atom tarafından soğrulur, atomu uyarır ve ardından enerji yeni

bir yönde serbest bırakılır. Bu saçılan foton, başlangıçtaki fotonla aynı enerjiye sahip olur ancak yeni bir yönde ilerler [28].

Rayleigh saçılması, ışığın bir ortamda hareket ederken, ortamdaki küçük parçacıklarla etkileşime girerek yayılmasını sağlayan bir süreçtir. Bu süreç, ışığın dalga boyu boyunca değişen elektrik alanının, küçük parçacıkların yüzeyinde yükselmesi ve parçacıkları titreştirerek ışığın saçılmasına neden olmasıyla gerçekleşir. Bu süreçte, ışık dalga boyuna bağlı olarak farklı derecelerde bükülür ve yayılır. Daha kısa dalga boylarına sahip mavi ve mor ışık, daha fazla saçılırken, daha uzun dalga boylarına sahip kırmızı ve turuncu ışık daha az saçılır.

Rayleigh saçılması, meteoroloji, atmosfer bilimi, optik ve iletişim gibi birçok alanda önemli uygulamalara sahiptir. Örneğin, meteorologlar hava kalitesini değerlendirmek ve hava kirliliğini izlemek için Rayleigh saçılmasını kullanabilirler [29].

3.1.2. İnkoherent saçılma

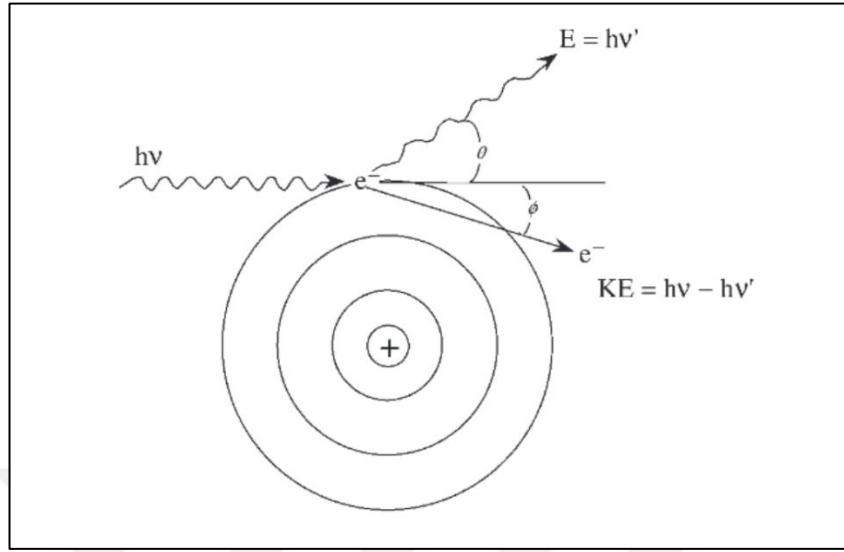
Gelen foton ile saçılan foton arasında enerji farkı olan, yani dalga boyları arasında farklılıklar bulunan saçılma türüdür. İnkoherent saçılma olarak bilinen üç farklı saçılma türü bulunmaktadır, bunlar; Compton saçılması, Nükleer saçılma ve Raman saçılmasıdır. Bunlar arasında en etkili olanı Compton saçılmasıdır [30].

3.1.2.1. Compton saçılması

Compton saçılması, X-ışınları veya gama ışınları gibi yüksek enerjili fotonların serbest veya zayıf bağlı elektronlarla etkileşime girerek saçılması fenomeni olup, 1923 yılında Arthur Compton tarafından keşfedilmiştir. Foton, atomun yüzey elektronlarından biriyle etkileşerek, enerjisinin bir kısmını atomdan uzaklaştırmaya yetecek kadar verir. Bu tepki olabilmesi için, elektronun atomun dışında, düşük enerji bağları olan yerlerde yayılması gerekiyor, yani fotonun elektronla etkileşiminde elektronun tüm enerjisi absorbe etmemesi gerekir. Foton kalan enerjisiyle yoluna devam ederken yolundan değişir. Gelen ve saçılan fotonların hareket doğrultuları arasındaki açı saçılma açısı olarak adlandırılır.

Compton saçılması, düzgün olmayan saçılmanın bir örneğidir, çünkü saçılan ışığın dalga boyu, gelen ışığın dalga boyundan farklıdır. Yüksek enerjili fotonların bir maddeyle etkileşime girerek fotonun enerjisini ve momentumunu kısmen elektrona aktararak fotonun dalga boyunu uzatma işlemidir. saçılan fotonun enerjisi gelen

fotonun enerjisinden daha azdır. Compton saçılmasını gösteren diyagram Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Compton saçılması [32].

Compton saçılmasında gelen ve saçılan fotonların dalga boyları arasındaki fark;

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) \quad (3.1)$$

Eşitliğiyle hesaplanır. Burada $\Delta\lambda = \lambda_f - \lambda_i$ olup, (λ_f) Saçılan fotonun dalga boyu ve (λ_i) Gelen fotonun dalga boyu, (h) Plank sabiti, (c) ışık hızı, (θ) Fotonun saçılma açısı, (m_e) elektronun durgun kütlesidir.

Compton saçılması, atom numarasına bağlı olmayıp, enerji seviyesinin yükselmesi durumunda madde ile etkileşiminde domine edici bir azalma görülür. Foton enerjisi, 0,1 MeV ile 10 MeV arasında baskın bir özellik sergiler [3,31,32,33].

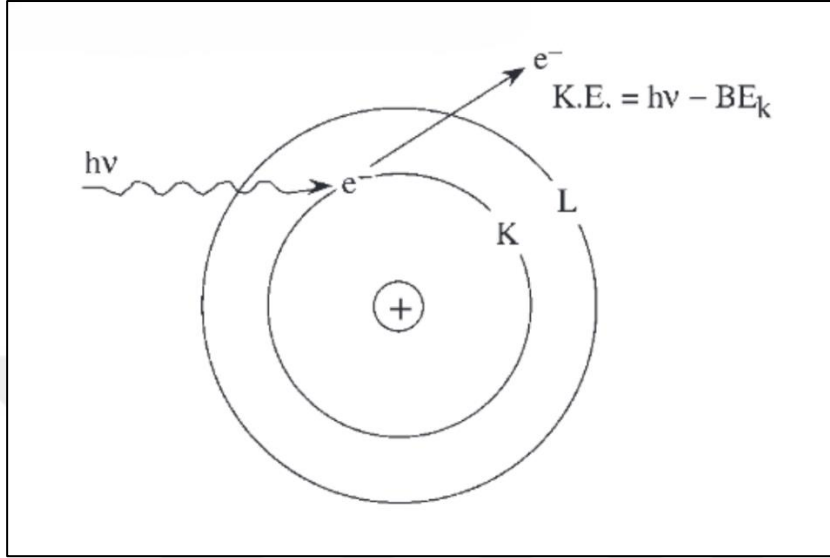
3.2. Elektromanyetik Radyasyonun Soğurulması

Elektromanyetik radyasyonunun soğurulması çeşitli olaylar sonucu gerçekleşebilmekte olup bu olaylardan en etkili olanlar fotoelektrik olay ve çift oluşumdur.

3.2.1. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olay, düşük enerjili bir fotonun, ortam atomlarının iç yörüngesinde bulunan sıkı bağlı elektronlar ile etkileşerek, tüm enerjisini aktararak elektronu koparması

olayına denir. Daha sonra atomun elektronları yeniden düzenlenir ve bir elektron, iç boşluğu doldurmak için daha yüksek bir yörüngeden hareket eder. Bu harekete, atomun karakteristik ışınlar adı verilen x-ışınlarını salması eşlik eder. Bütün bu süreci özetleyen görsel Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Fotoelektrik olay [32].

Fotoelektrik olay, 0,5 MeV’den düşük enerjili fotonlarda sıkça gözlenmektedir. Fotonlar, atomun K, L, M, N yörüngelerinde bulunan sıkı bağlı elektronlarla etkileşime girer. Fotoelektrik olayın gerçekleşebilmesi için, fotonun enerjisinin, elektronun atomdan koparılması için gereken bağlanma enerjisinden yüksek olması gerekmektedir.

Fotoelektrik etki, metal yüzeyindeki elektronların, metal atomlarına gelen fotonlar tarafından etkilenecek serbest bırakılmasıyla gerçekleşir. Eğer fotonun enerjisi, metal yüzeyinden bir elektronu serbest bırakmak için gerekli olan çalışma fonksiyonundan büyük ise, bu elektron metal yüzeyinden ayrılır.

Fotoelektrik etki, Albert Einstein tarafından, ışığın enerjisinin kuantumlar halinde yayıldığı ve enerjinin frekansta değişen belirli miktarlarda paketlenildiği kabul edilerek açıklanmıştır. Einstein, ışığın parçacık karakterini vurgulayan fotoelektrik etkisi için Nobel Fizik Ödülü’nü kazanmıştır [3,33,34].

3.2.2. Çift oluşumu

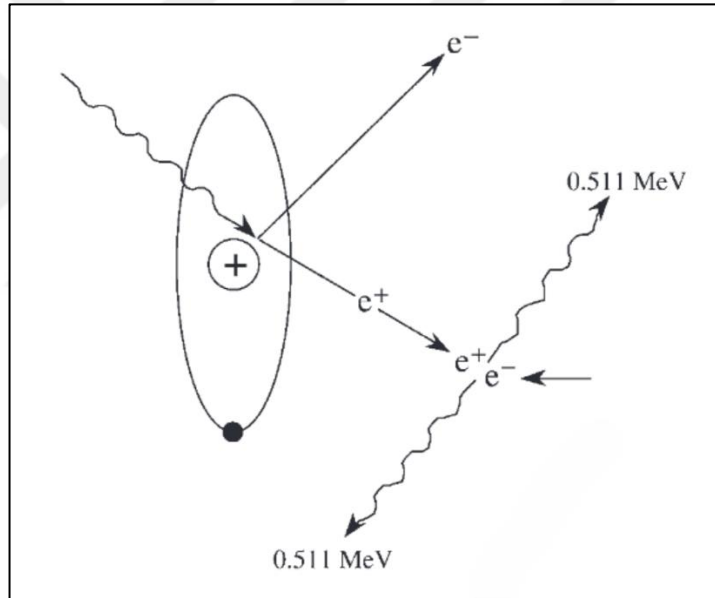
Çift oluşumu, yüksek enerjili bir fotonun bir atom çekirdeğinin yakınında elektron-pozitron çiftine dönüşmesi sürecidir. Bu süreç, elektromanyetik alanın yoğunluğunun

yüksek olduğu ortamlarda meydana gelir, genellikle yüksek enerjili parçacıkların çarpışması sonucunda ortaya çıkar.

Bir elektronun (ve bir pozitronun) durgun kütle enerjisi 0.51 MeV olduğu için, elektron pozitron çiftinin oluşabilmesi için foton enerjisinin 1.02 MeV'den daha büyük olması gerekmektedir. Aradaki fark elektron ve pozitronun kinetik enerjisi olarak paylaşılmaktadır.

$$h f \geq 2 m_e c^2 \quad (3.2)$$

Burda ($h f$) gelen fotonun enerjisi, (m_e) elektron ve pozitronun durgun kütlesi ve (c) ışık hızıdır. Çift oluşumu ve daha sonrasında pozitronun ortam elektronlarından biriyle etkileşerek yok olması (çift yok olma) Şekil 3.3'de verilmiştir.



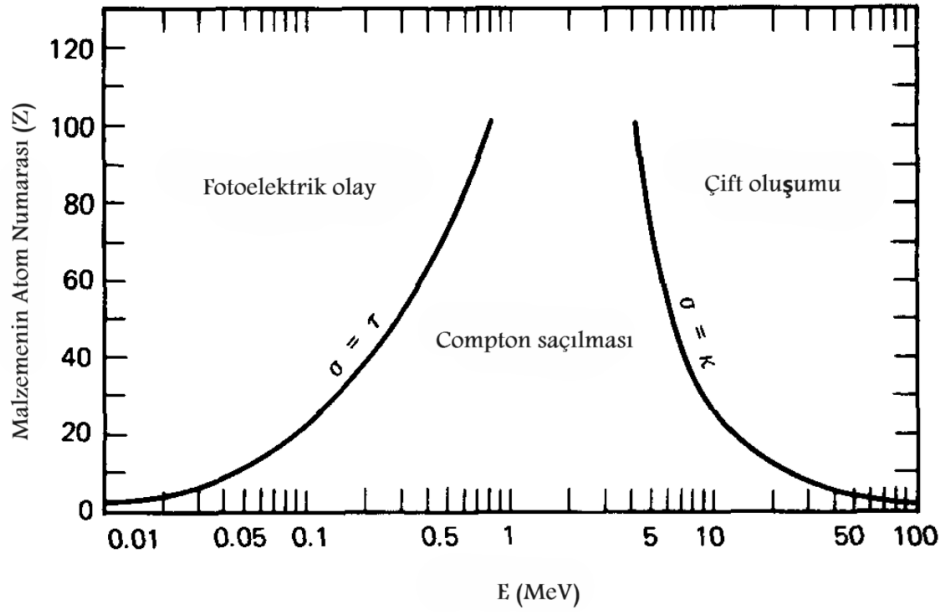
Şekil 3.3. Çift oluşumu [32].

Çift oluşumu sürecinde, yüksek enerjili bir foton, atom çekirdeği yakınında yer alan elektronlardan biri ile etkileşime girer. Bu etkileşim sonucunda, foton enerjisinin bir kısmı kullanılarak bir elektron-pozitron çifti oluşturulur. Fotonun enerjisi, çiftin kütleli enerjisine dönüştürülür [3,34,35].

3.3. Radyasyon Zırlama Parametreleri

Radyasyondan bir malzeme ile etkileşime girdiğinde fotonların bir kısmı maddenin diğer tarafına geçerken bir kısmı da soğurulur. İletilen radyasyon miktarını belirleyen

etkiler arasında radyasyonun madde ile yaptığı üç temel etkileşim (Fotoelektrik olay, Compton saçılması, Çift oluşumu) ön plana çıkar. Bu olayların gerçekleşme ihtimali foton enerjisine ve etkileştiği maddenin atom numarasına bağlı olarak değişmekte olup bu ilişki Şekil 3.4’de verilmiştir.

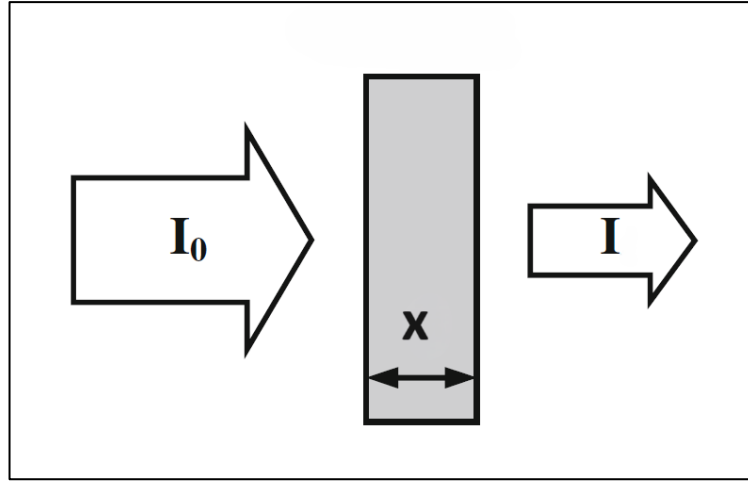


Şekil 3.4. Fotonun madde ile etkileşim türünün foton enerjisi ve atom numarası arasındaki ilişki [37].

Düşük foton enerjilerinde (0 – 0,5 MeV) daha çok fotoelektrik olay görülürken, görece daha yüksek enerjilerde (0,5 – 1) MeV Compton saçılması daha baskın olarak görülmektedir. Çok daha yüksek enerjili fotonlar için ise, çift oluşumunun görülme olasılığı çok daha baskındır. Ortam atomlarının atom numarasındaki değişme, bu etkileşimlerin baskın olduğu enerji aralıklarını değiştirmektedir [36,37,38].

3.3.1. Lineer azaltma katsayısı (μ)

Lineer azaltma katsayısı (μ), bir malzemenin üzerine düşen radyasyonun birim yüzey ve birim kalınlık başına azalma miktarı olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle (μ), malzemenin radyasyonu ne kadar etkin bir şekilde zayıflatıldığını ifade eder.



Şekil 3.5. Fotonların bir maddeden geçerken şiddetinde görülen azalma [39].

(I_0) şiddetli radyasyonun (X-ışını, gama ışını, vs.) bir malzemenin (x) kalınlığındaki tabakasından geçerken şiddetinde bir azalma olur ve iletilen radyasyonun şiddeti (I) malzemenin kalınlığı ile orantılıdır (Şekil 3.5). Gelen ve iletilen radyasyon şiddetleri arasındaki ilişki, Lambert Beer yasası olarak da bilinen;

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.3)$$

denklemleri ile ifade edilir. Buna göre, (μ) (cm^{-1}) lineer azaltma katsayısı olup,

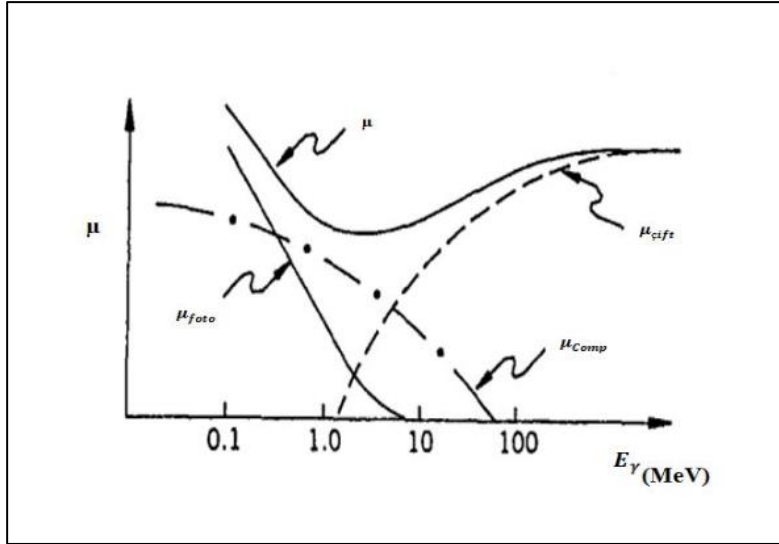
$$\mu = \frac{1}{x} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (3.4)$$

olarak bulunur [45].

Lineer azaltma katsayısı, malzemenin atom numarası (Z) ve gelen fotonun enerjisinin yanı sıra malzemenin yoğunluğu ile ilişkilidir. Lineer azaltma katsayısı, Fotoelektrik olay, Compton saçılması, Çift oluşumu etkileşimlerinin sağladığı katkıların toplamı şeklinde de ifade edilebilir.

$$\mu = \tau + \sigma + k \quad (3.5)$$

Burada (τ) fotoelektrik soğurma katsayısı iken, (σ) ise saçılma soğurma katsayısı ve (k) ise çift oluşumu katsayısıdır [42].



Şekil 3.6. Lineer azaltma katsayısının foton enerjisine göre değişimi [40].

Şekil 3.6'da yüksek atom numaralı bir madde için lineer azaltma katsayısının foton enerjisine göre değişimi ve Fotoelektrik olay, Compton saçılması, Çift oluşumu etkileşimlerinin sağladığı katkılar temsili olarak verilmiştir. Buna göre, lineer azaltma katsayısı için, düşük enerji bölgesinde fotoelektrik olay baskın bir etkiye sahipken orta enerjilerde Compton saçılması, yüksek enerji bölgesinde ise çift oluşumu belirleyici olmaktadır.

3.3.2. Kütle azaltma katsayısı (μ_m)

Kütle azaltma katsayısı, soğurucu malzemenin bir foton ile birim kütle başına düşen azalma miktarını gösteren bir katsayı olup lineer azaltma katsayısının malzemenin yoğunluğuna bölünmesiyle bulunur.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (3.6)$$

Burada (μ_m) kütle azaltma katsayısı (cm^2/g) olup, (ρ) ise malzemenin yoğunluğunu (g/cm^3) ifade etmektedir. Bu yönüyle, kütle azaltma katsayısı, gelen fotonun enerjisine ve soğurucu malzemenin yapısına bağlıyken yoğunluktan bağımsızdır.

3.3.3. Yarı değer kalınlığı (HVL)

Malzeme ile etkileşime giren radyasyonun şiddetini yarı yarıya düşürmek için gerekli olan malzemenin kalınlığı Yarı Değer Kalınlığı (HVL) olarak adlandırılmaktadır. Radyasyon uygulamalarında, malzemenin zırhlama özelliğinin belirlenmesi önemli bir parametredir, Yarı değer kalınlığını veren ifade;

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu} \quad (3.7)$$

şeklinde olup, burda (μ) lineer azaltma katsayısıdır.

3.3.4. Ortalama serbest yol (MFP)

Ortalama serbest yol (MFP), Foton ve maddenin etkileşimi sırasında madde içerisinden iletilen fotonların birbirini takip eden iki etkileşimi arasındaki ortalama mesafe olarak tanımlanır. Bu mesafe, malzemenin radyasyonu ne kadar geçirdiğini ve fotonların malzemeyle ne sıklıkta etkileşime girdiğini anlamak için kullanılır. MFP, lineer azaltma katsayısı (μ) ile ters orantılıdır. Yani, (μ) büyük olduğunda, fotonlar malzeme içinde daha sık etkileşime girer ve ortalama serbest yol kısa olur. Küçük (μ) değerlerinde ise, fotonlar daha az sıklıkta etkileşime girer ve ortalama serbest yol daha uzun olur.

$$MFP = \frac{1}{\mu} \quad (3.8)$$

3.3.5. Etkin atom numarası (Z_{eff})

Etkin atom numarası (Z_{eff}), soğurulan dozun hesaplanmasında kullanılan ve gelen radyasyonun materyalle etkileşimini gösteren bir radyasyon zırlama parametresidir. Birden fazla elementten oluşan malzemeler için etkin atom numarasının belirlenmesi önemlidir. (Z_{eff}), maddenin atomik yapısına ve yoğunluğuna bağlı olarak radyasyonu ne kadar iyi soğurduğunu göstermektedir. Daha yüksek (Z_{eff}) değerleri, maddenin daha fazla radyasyon enerjisi soğurabileceği anlamına gelir.

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e} \quad (3.9)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada, (σ_a) toplam atomik tesir kesiti (cm^2/atom), (σ_e) toplam elektronik tesir kesitidir.

$$\sigma_a = N_a \sum_i f_i A_i \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i \quad (3.10)$$

$$\sigma_e = N_a \sum_j f_j \frac{A_j}{Z_j} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_j \quad (3.11)$$

burada, (N_a) Avogadro sayısı.

$$Z_{eff} = \frac{\sum_i f_i A_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i}{\sum_j f_j \frac{A_j}{Z_j} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_j} \quad (3.12)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. (f) sağlandığında her bir bileşen elementin mol cinsinden kesridir ($\sum_i f_i = 1$), (A) atom ağırlığıdır, (Z) atom numarasıdır, ve $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$ kütle azaltma katsayısıdır.

3.3.6. Etkin elektron yoğunluğu (N_{eff})

Etkin elektron yoğunluğu (N_{eff}) (elektron/g), birim kütle başına düşen elektron sayısı olarak tanımlanan bilmekte olup, etkin atom numarasıyla ilişkilidir.

$$N_{eff} = \frac{\mu_m}{\sigma_e} \quad (3.13)$$

$$N_{eff} = N_a \frac{Z_{eff}}{\langle A \rangle} \quad (3.14)$$

eşitliğiyle hesaplanabilir, burada $\langle A \rangle$, malzemelerin ortalama atom kütlesidir.

3.3.7. Radyasyondan korunma verimliliğidir (RPE%)

Bir malzemenin gelen foton şiddetini yüzdesel azaltma kesri olarak tanımlanır, RPE değerleri doğrudan malzemenin kalınlığına bağlıdır, RPE% değerleri aşağıdaki ilişki ile hesaplanır.

$$RPE\% = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \times 100 \quad (3.15)$$

şeklinde olur

3.3.8. İletim faktörleri (TF%)

İletim Faktörleri (TF%), bir malzemenin üzerine düşen radyasyonu ne kadar iletebildiğini ifade eden bir ölçüttür [39–44].

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Cam Kompozisyonları

Cam sistemleri, sahip oldukları %100 geri dönüştürülebilirliğe sahip olma, görünür ışığa karşı şeffaf olma ve yapısına metal oksitler eklenerek özelliklerinin iyileştirilebilmesi gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Literatürde, yapısına ağır metal oksitler eklenmiş cam sistemlerinin radyasyon zırhlama özelliklerinin araştırıldığı son zamanlarda yapılmış çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür [45-48].

Bu çalışmada, radyasyon zırhlama parametreleri hesaplanan cam sistemlerinin kimyasal bileşimleri ve yoğunlukları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Hazırlanan camların kimyasal bileşimi.

Örnek kodu	Hazırlanan camların kimyasal bileşimi						Yoğunluk (g/cm ³)
	mol%	wt%					
		B	O	Na	Ba	W	
S1	75B ₂ O ₃ -5Na ₂ O-20BaO	18.8590	46.5224	2.6739	31.9446	-	5.34
S2	75B ₂ O ₃ -5Na ₂ O-17BaO-3WO ₃	18.3562	46.3688	2.6026	26.4290	6.2435	5.52
S3	75B ₂ O ₃ -5Na ₂ O-10BaO-10WO ₃	17.2811	46.0402	2.4501	14.6359	19.5927	5.63

Bu cam numunelerine (S1, S2 ve S3) ait radyasyon zırhlama parametreleri Geant4 simülasyon programıyla, (0.015-15) MeV foton enerji aralığı için hesaplanmış ve sonuçlar XCOM ve Phy-X yazılımlarından elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Monte Carlo tekniği, Geant4 simülasyon programı, XCOM ve Phy-X ile ilgili bilgilere aşağıda yer verilmiştir.

4.2. Monte Carlo Simülasyonları

Monte Carlo yöntemi, geniş anlamıyla, bir matematiksel modeli rastgele sayılar kullanarak çözmek için kullanılan sayısal yöntemdir. Monte Carlo terimi genel olarak olasılık dağılımları tablosundan değerlerin rastgele bir şekilde seçilmesi sürecini ifade eder. Bu yöntem, olasılık dağılımına dayalı rastgele sayılar üreterek karmaşık problemleri çözmek için sıklıkla kullanılır. Mühendislik, eğitimde ölçme ve değerlendirme, askeri savunma teknolojisi, fen ve mühendislik alanında, nükleer teknoloji ve uzay sistemleri, istatistiksel analiz ve sosyoekonomik sahalarda, riski daha iyi temsil etmesi nedeniyle diğer metodlarla karşılaştırıldığında sıkça başvurulan bir yöntemdir.

Monte Carlo simülasyonunun temel avantajlarından biri, çoklu değişkenlere ve ara bağlantılara sahip karmaşık sistemlerle baş edebilme yeteneğidir. Farklı faktörler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri ve etkileşimleri yakalamamıza olanak tanıyarak incelenen sistemin daha kapsamlı anlaşılmasını sağlar.

Monte Carlo Simülasyonu, ilk kez atom bombası üzerinde çalışan bilim adamları tarafından kullanılmıştır. Monako'da bulunan ve kumarhaneleriyle ünlü olan tatil beldesi Monte Carlo'nun adı buradan gelmektedir. Monte Carlo Simülasyonu, ikinci Dünya Savaşı'ndan bu yana tanıtımından beri çeşitli fiziksel ve kavramsal sistemleri modellemek için kullanılmıştır.

Monte Carlo simülasyonu bilimsel araştırmalarda sıkça kullanılan bir yöntemdir, zira bazı problemler analitik olarak çözülmesi zor olduğu gibi, deney yapmak da zaman ve maliyet açısından zorlayıcı olabilmektedir veya pratik bir çözüm getirmemektedir. Araştırmacılar, karmaşık sistemleri keşfeder, deneylerde bulunan gizli nicelikleri inceler ve deneyleri kolayca tekrarlayabilir veya değiştirebilir. Bu şekilde, bilimsel yöntemler kullanarak bilgi ve anlayışlarını genişletirler [46-48]. Bu çalışmada kullanılan Geant4 simülasyon programı da Monte Carlo tekniğini kullanarak sonuç vermektedir.

4.2.1. Geant4 simülasyon programı

DeneySEL ortamların maliyet hesaplaması, risk analizi, fiziksel imkansızlıklar veya diğer nedenlerle oluşturulamaması durumlarında, bilgisayar ortamında gerçekleştirilen benzetim çalışmaları son derece yaygın ve sık kullanılan bir

yöntemdir. Çeşitli gereksinimlere yönelik olarak geliştirilmiş birçok benzetim programı mevcuttur.

Geant4, parçacıkların maddenin içindeki etkileşimlerini ve geçişlerini simüle etmek için Monte Carlo yöntemlerini kullanan bir yazılım paketidir [49]. CERN’de (Avrupa Nükleer Araştırma Laboratuvarı) 1993 yılında GEANT yazılım paketi temel alınarak ve C++ programlama dili kullanılarak yüksek enerji fiziği deneylerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Geant4, nükleer ve parçacık fiziğinde, parçacık çarpışma deneylerini ve bunların dedektörlerle etkileşimlerini simüle ederek kullanılabildiği gibi medikal fizik alanında, dedektör tasarımı ve radyoterapinin modellenmesinde de kullanılmaktadır. Ayrıca, uzay kaynaklı radyasyonunun uzay araçları ve astronotlar üzerindeki etkisini incelemek için de kullanılmaktadır.

Geant4 kullanıcısının simülasyon çalışmasında yapması gereken üç temel işlemi şu şekilde sıralamak mümkündür: ilk olarak dedektörlerin ve ortamdaki tüm elemanların şeklinin, boyutunun ve malzemesinin tanımlanması gerekmektedir. İkincisi, radyasyona ait (parçacık türü, enerji, yön) ve kaynağına ait (konum vs) gibi özelliklerin tanımlanması. Son olarak, parçacıklar ve madde arasındaki fiziksel etkileşimlerin modellenmesi için uygun kütüphanelerin seçilmesi.

Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra kullanıcı tarafından belirlenen sayıda parçacık (foton) için kod çalıştırıldığında, terminalde simülasyon sonucu özet olarak görünmektedir. Örnek olarak, 2 MeV enerjili fotonun 1 cm kalınlıklı kurşun tabakasıyla etkileşimine ait simülasyon sonucu Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekilde tesir kesitine ek olarak kütle azaltma katsayısı da ($4.5269 \text{ mm}^2/\text{g}$) görünmektedir [50-55].

```
shatha@shatha-VirtualBox: ~/g4work/TestEm13/build
===== run summary =====
The run is: 100000 gamma of 2 MeV through 1 cm of Lead (density: 11.35 g/cm3 )
Process calls frequency --> Transportation = 60230 compt = 30888 conv = 4577 phot = 4305
Nb of Incident particles unaltered after 1 cm of Lead : 60230 over 100000 incident particles. Ratio = 60.23 %
--> CrossSection per volume: 0.507 cm^-1 CrossSection per mass: 4.467 mm2/g
Verification from G4EmCalculator:
compt= 3.5897 mm2/g conv= 524.64 um2/mg phot= 493.62 um2/mg total= 4.5269 mm2/g
Expected ratio of transmitted particles= 59.821 %
----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1355378277, 1227586339
-----
G4 kernel has come to Quit state.
UserDetectorConstruction deleted.
UserPhysicsList deleted.
UserActionInitialization deleted.
UserRunAction deleted.
UserPrimaryGenerator deleted.
RunManager is deleting RunManagerKernel.
EventManager deleted.
Units table cleared.
TransportationManager deleted.
Total navigation history collections cleaned: 6
===== Deleting memory pools =====
Pool ID '28G4NavigationLevelRep', size : 0.00673 MB
Pool ID '24G4ReferenceCountedHandleIVE', size : 0.000961 MB
Pool ID '7G4Event', size : 0.000961 MB
Pool ID '15G4PrimaryVertex', size : 0.000961 MB
Pool ID '17G4PrimaryParticle', size : 0.000961 MB
Pool ID '17G4DynamicParticle', size : 0.000961 MB
Pool ID '7G4Track', size : 0.000961 MB
Pool ID '18G4TouchableHistory', size : 0.000961 MB
Pool ID '15G4CountedObjectIVE', size : 0.000961 MB
Number of memory pools allocated: 9; of which, static: 0
Dynamic pools deleted: 0 / Total memory freed: 0.014 MB
```

Şekil 4.1. 2 MeV fotonun 1 cm kurşunla etkileşim simülasyon özeti.

Şekil 4.1' de, Terminaldeki "The run is: 100000 gamma of E=2 MeV" ifadesi, simülasyonun 2 Mega Elektron Volt (MeV) enerjiye sahip 100.000 fotonun kurşun (lead) materyali üzerinden geçişini simüle ettiğini belirtmektedir. Ayrıca, kurşunun yoğunluğu 11.35 g/cm³ olarak verilmiştir.

"Nb of Incident particles unaltered" kısmında, 100.000 parçacıktan 6.020'sinin (%6.023) etkileşime girmeden geçtiğini belirtmektedir. "Cross section per volume" bölümü, toplam tesir kesiti değerini (cm²/g cinsinden) göstermektedir.

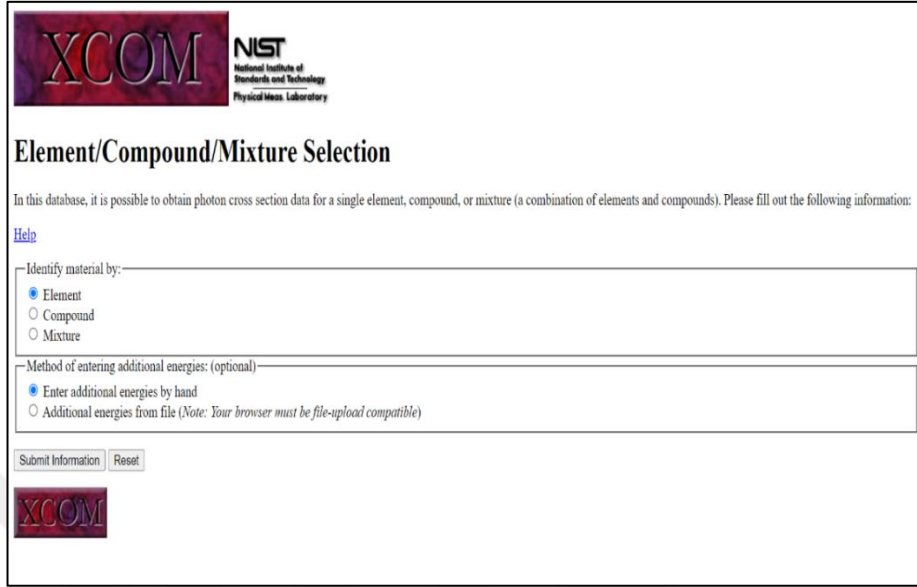
4.3. XCOM Yazılımı

XCOM, elektromanyetik radyasyonun, özellikle X-ışınları ve gama ışınlarının soğurma ve saçılma katsayılarını hesaplamak için kullanılan bir yazılımdır. Bu program, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'na (IAEA) bağlı Nükleer Enerji Ajansı tarafından geliştirilmiş olup radyasyon uygulamaları ve nükleer araştırmalar gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır [56].

XCOM, çeşitli malzemeler için lineer ve kütle soğurma katsayılarını hesaplamak amacıyla deneysel ve teorik verilere dayanır. Kullanıcılar, belirli foton enerjilerinde elementlerin, bileşiklerin veya karışımların elektromanyetik ışınlarla nasıl etkileşime gireceğini belirlemek için bu yazılımı kullanabilirler.

Kullanıcılar, belirli bir malzeme veya enerji aralığı için kesit değerlerini çevrimiçi olarak hesaplayabilir veya XCOM'un sunduğu veritabanını kullanarak yerel analizler

yapabilirler [57]. WinXCOM veri tabanı, çeşitli malzemelerin kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamak amacıyla kullanılabilmekte olup, herhangi bir deneysel kurulum veya simulasyon kodu gerektirmemektedir[58-60].



XCOM NIST National Institute of Standards and Technology Physical Mass Laboratory

Element/Compound/Mixture Selection

In this database, it is possible to obtain photon cross section data for a single element, compound, or mixture (a combination of elements and compounds). Please fill out the following information:

[Help](#)

Identify material by:

☒ Element
☐ Compound
☐ Mixture

Method of entering additional energies: (optional)

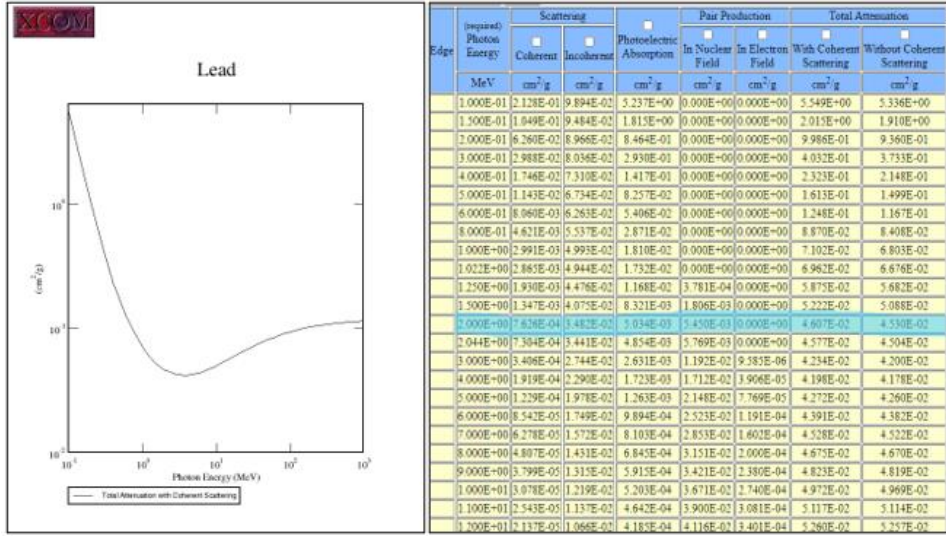
☒ Enter additional energies by hand
☐ Additional energies from file (Note: Your browser must be file-upload compatible)

Şekil 4.2. XCOM web sitesinin kullanıcı arayüzü.

XCOM yazılımının web sayfasındaki kullanıcı arayüzü Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu arayüzde kullanıcının, kütle azaltma katsayısını hesaplamak istediği malzeme türünü (Element, Bileşik veya Karışım) seçmesi hesaplanılacak enerji aralığının ne şekilde sisteme girileceğinin (elle veya dosyadan) belirtilmesi gerekmektedir. Malzeme ve enerji girme yöntemi seçildikten sonra, kullanıcı "Submit Information" düğmesine tıklayarak bilgileri gönderebilir veya "Reset" düğmesine basarak seçenekleri sıfırlayabilir.

Sonraki ekranda element ya da bileşiğe ait bilgilerin girilebileceği arayüz kullanıcının karşısına çıkmaktadır. Elementler sembolleri ile, bileşikler ise kimyasal formülleri veya elementlerin kütlece oranları esas alınarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca, kütle azaltma katsayısının belirleneceği enerji aralığının da bu aşamada belirtilmesi gerekmektedir.

Sonuç ekranında kütle azaltma katsayısı ve her bir etkileşim türünün (Fotoelektrik olay, Compton Saçılması ve Çift oluşumu) bu parametreye katkısının seçilen enerji aralığı için tablo halinde verildiği ve aynı zamanda grafik görülmektedir. Örnek olarak kurşun için XCOM yazılımı sonuç ekranı Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Kurşun (Pb) için XCOM yazılımı sonuç ekranı.

4.4. Phy-X

Phy-X web sitesi, radyasyon ve malzemeler arasındaki etkileşimle ilgili fiziksel özelliklerin hesaplanması için çevrimiçi hesaplama araçları sunan bir platformdur [61,62]. Özellikle nükleer fizik ve radyasyon fiziği alanlarında kullanılan yazılım online olarak kullanılabilmekte olup, XCOM gibi basit bir arayüze sahiptir (Şekil 4.4) [63].

Şekil 4.4. Phy-X yazılımı arayüzü.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Cam Malzemeler

Bu çalışmanın amacı radyasyondan korunma özelliklerinin incelenmesidir $75\%B_2O_3 - 5\% Na_2O - (20-x)BaO - xWO_3$ where ($x = 00; 03; 10$ mol%), Bora oksit ve sodyum oksitin her birinin sabit bir yüzdesi ile üç cam numune incelendi. Değerler Geant4 programında, (0.015-15) MeV arasında değişen enerjilerde hesaplandı ve sonuçlar XCOM ve Phy-X web sitesi ile karşılaştırıldı. Geant4 programıyla ilgili malzemelerin kütle azaltma katsayısı, ve her malzemedan geçen radyasyon miktarı hesapladım, bu bilgileri kullanarak Lineer azaltma katsayıları, yarı değer kalınlığı, ortalama serbest yol ve diğer parametreleri değerleri (0.015- 15) MeV aralığı için hesaplanmıştır.

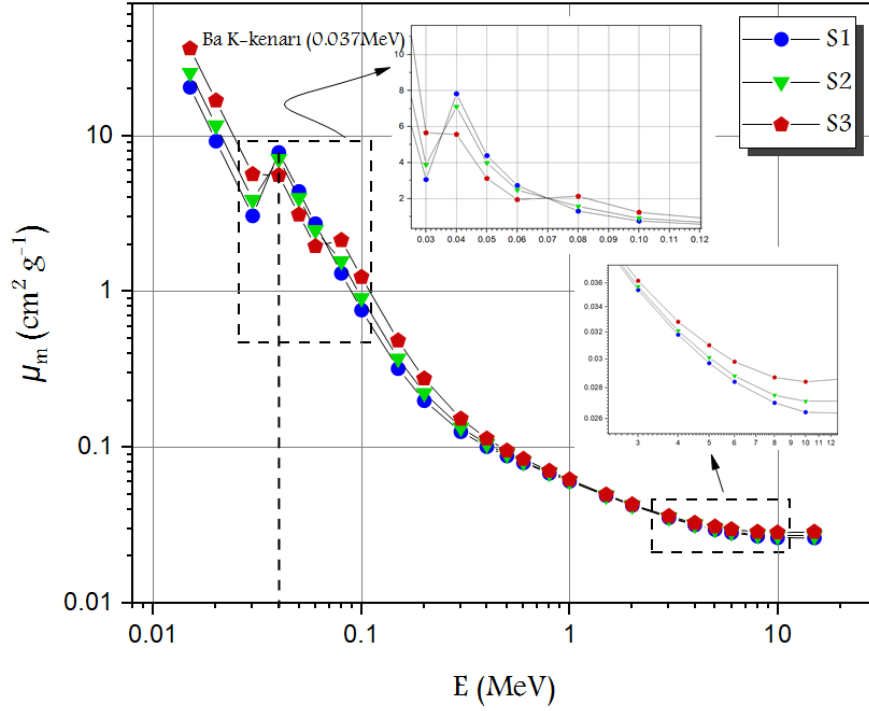
5.2. Kütle Azaltma Katsayısı (MAC)

Tablo 5.1’de MAC değerleri göstermiştir.

Tablo 5.1. Kütle azaltma katsayısı (MAC; $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) aracılığıyla Geant4, XCOM ve Phy-X.

Kütle azaltma katsayısı (MAC; $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)									
E (MeV)	S1			S2			S3		
	Geant4	XCOM	Phy-X	Geant4	XCOM	Phy-X	Geant4	XCOM	Phy-X
0.015	20.4400	20.6400	21.3424	25.4580	25.7300	26.5048	36.2080	36.6100	37.5426
0.02	9.2220	9.4020	9.8984	11.6360	11.8300	12.3771	16.8050	17.0200	17.6766
0.03	3.0640	3.1150	3.3974	3.8900	3.9540	4.2682	5.6600	5.7490	6.1299
0.04	7.8230	7.8310	8.0138	7.1060	7.1190	7.3231	5.5690	5.5970	5.8462
0.05	4.3900	4.4130	4.5426	3.9860	4.0080	4.1522	3.1210	3.1420	3.3176
0.06	2.7320	2.7470	2.8434	2.4830	2.4970	2.6045	1.9510	1.9620	2.0937
0.08	1.3089	1.3170	1.3766	1.5710	1.5780	1.6445	2.1350	2.1350	2.2171
0.1	0.7605	0.7639	0.8039	0.9109	0.9138	0.9588	1.2410	1.2340	1.2900
0.15	0.3202	0.3210	0.3404	0.3724	0.3731	0.3950	0.4844	0.4847	0.5118
0.2	0.1995	0.1999	0.2114	0.2239	0.2243	0.2372	0.2762	0.2763	0.2924
0.3	0.1261	0.1262	0.1315	0.1345	0.1345	0.1406	0.1525	0.1524	0.1599
0.4	0.1012	0.1010	0.1040	0.1052	0.1049	0.1084	0.1138	0.1134	0.1178
0.5	0.0882	0.0878	0.0898	0.0905	0.0900	0.0923	0.0954	0.0949	0.0977
0.6	0.0797	0.0792	0.0805	0.0811	0.0806	0.0822	0.0843	0.0837	0.0857
0.8	0.0684	0.0679	0.0687	0.0691	0.0686	0.0695	0.0707	0.0701	0.0713
1	0.0608	0.0604	0.0609	0.0612	0.0608	0.0614	0.0622	0.0617	0.0625
1.5	0.0491	0.0489	0.0492	0.0493	0.0491	0.0494	0.0498	0.0496	0.0499
2	0.0425	0.0425	0.0427	0.0427	0.0427	0.0429	0.0431	0.0432	0.0433
3	0.0354	0.0356	0.0357	0.0357	0.0359	0.0359	0.0362	0.0364	0.0365
4	0.0318	0.0320	0.0320	0.0321	0.0323	0.0323	0.0328	0.0330	0.0330
5	0.0297	0.0298	0.0299	0.0301	0.0302	0.0302	0.0310	0.0310	0.0311
6	0.0284	0.0285	0.0285	0.0288	0.0289	0.0290	0.0298	0.0299	0.0299
8	0.0270	0.0271	0.0271	0.0275	0.0276	0.0276	0.0287	0.0287	0.0287
10	0.0264	0.0265	0.0265	0.0271	0.0271	0.0271	0.0284	0.0284	0.0284
15	0.0263	0.0265	0.0265	0.0271	0.0272	0.0272	0.0287	0.0288	0.0288

Tablo 5.1'den Geant4 ile XCOM ve Phy-X tabanı arasında çok yakın değerler elde ettik. Şekil 5.1'de Geant4 programından alınan kütle azaltma katsayısı ile enerji arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

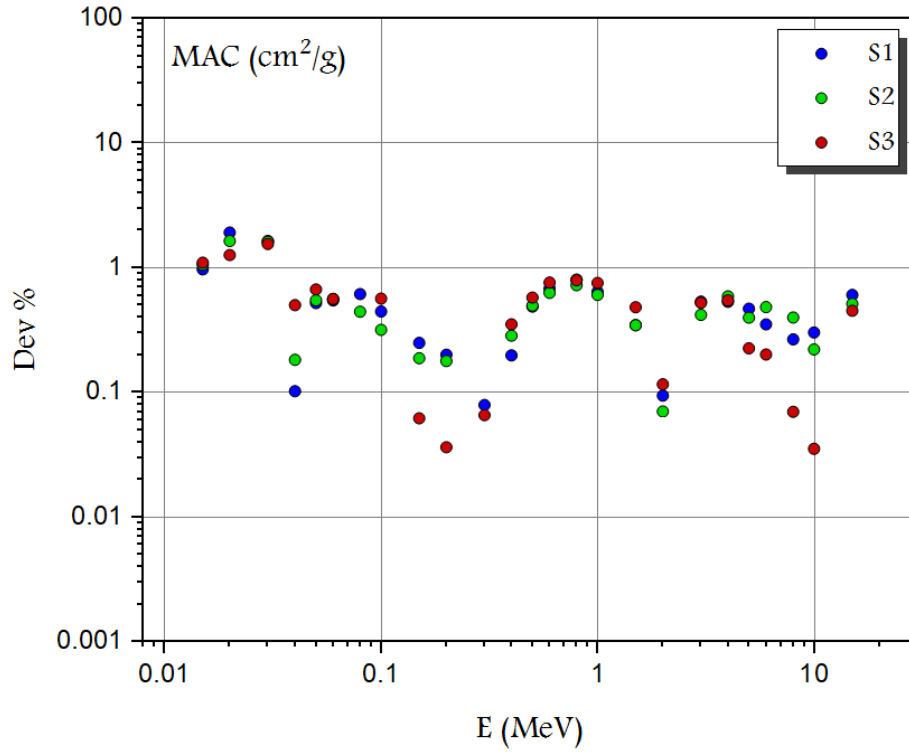


Şekil 5.1. Enerji ve kütle azaltma katsayısı arasındaki ilişki.

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi en yüksek soğurma değerini düşük enerjilerde elde ederiz ve bunun tersi de geçerlidir. 0,037 MeV'de baryum (Ba) için K kenarı soğurma zirvesi, Bu bölgede diğer numunelerle karşılaştırıldığında S1 numunesi için önemli ölçüde daha yüksek bir soğurma katsayısı fark ediyoruz; bu da bu numunenin daha yüksek oranda baryum içerdiğini gösteriyor. 0,069 MeV'de tungsten (W) için K kenarı soğurma zirvesi, S3 numunesinin bu enerjide soğurmada önemli bir artış gösterdiğini not ettik; bu da bu numunenin diğer numunelerle karşılaştırıldığında daha yüksek oranda tungsten içerdiğini gösterir. Dolayısıyla, S1 numunesinin düşük enerjide (yaklaşık 0,037 MeV) en iyi soğurmasını gösterdiği sonucuna varıyoruz çünkü yüksek oranda baryum içeriyor. Numune S3, yüksek tungsten içeriği nedeniyle yüksek enerji aralığında (0,069 MeV ve üzeri enerjiler) en iyi soğurmayı gösterir ve bu, onu bu enerjilerde daha yüksek soğurmayı gerektiren uygulamalar için uygun kılar.

Tablo 5.2. MAC değerleri Geant4 ile XCOM arasındakiki yüzde hata.

MAC değerleri Geant4 ile XCOM arasındakiki yüzde hata									
E (MeV)	S1			S2			S3		
	Geant4	XCOM	Dev.%	Geant4	XCOM	Dev.%	Geant4	XCOM	Dev.%
0.015	20.4400	20.6400	0.9690	25.4580	25.7300	1.0571	36.2080	36.6100	1.0981
0.02	9.2220	9.4020	1.9145	11.6360	11.8300	1.6399	16.8050	17.0200	1.2632
0.03	3.0640	3.1150	1.6372	3.8900	3.9540	1.6186	5.6600	5.7490	1.5481
0.04	7.8230	7.8310	0.1022	7.1060	7.1190	0.1826	5.5690	5.5970	0.5003
0.05	4.3900	4.4130	0.5212	3.9860	4.0080	0.5489	3.1210	3.1420	0.6684
0.06	2.7320	2.7470	0.5461	2.4830	2.4970	0.5607	1.9510	1.9620	0.5607
0.08	1.3089	1.3170	0.6150	1.5710	1.5780	0.4436	2.1350	2.1350	0.0000
0.1	0.7605	0.7639	0.4451	0.9109	0.9138	0.3174	1.2410	1.2340	0.5641
0.15	0.3202	0.3210	0.2492	0.3724	0.3731	0.1876	0.4844	0.4847	0.0619
0.2	0.1995	0.1999	0.2001	0.2239	0.2243	0.1783	0.2762	0.2763	0.0362
0.3	0.1261	0.1262	0.0792	0.1345	0.1345	0.0000	0.1525	0.1524	0.0656
0.4	0.1012	0.1010	0.1976	0.1052	0.1049	0.2852	0.1138	0.1134	0.3515
0.5	0.0882	0.0878	0.4875	0.0905	0.0900	0.4974	0.0954	0.0949	0.5765
0.6	0.0797	0.0792	0.6776	0.0811	0.0806	0.6289	0.0843	0.0837	0.7592
0.8	0.0684	0.0679	0.8037	0.0691	0.0686	0.7236	0.0707	0.0701	0.7921
1	0.0608	0.0604	0.6414	0.0612	0.0608	0.6046	0.0622	0.0617	0.7556
1.5	0.0491	0.0489	0.3462	0.0493	0.0491	0.3448	0.0498	0.0496	0.4819
2	0.0425	0.0425	0.0940	0.0427	0.0427	0.0702	0.0431	0.0432	0.1159
3	0.0354	0.0356	0.5339	0.0357	0.0359	0.4184	0.0362	0.0364	0.5221
4	0.0318	0.0320	0.5317	0.0321	0.0323	0.5884	0.0328	0.0330	0.5458
5	0.0297	0.0298	0.4692	0.0301	0.0302	0.3971	0.0310	0.0310	0.2255
6	0.0284	0.0285	0.3509	0.0288	0.0289	0.4838	0.0298	0.0299	0.2009
8	0.0270	0.0271	0.2658	0.0275	0.0276	0.3984	0.0287	0.0287	0.0696
10	0.0264	0.0265	0.3017	0.0271	0.0271	0.2212	0.0284	0.0284	0.0352
15	0.0263	0.0265	0.6045	0.0271	0.0272	0.5143	0.0287	0.0288	0.4509



Şekil 5.2. MAC değerleri Geant4 ile XCOM arasındaki yüzde hata.

Tablo 5.2’de kütle azaltma katsayısı değerleri Geant4 ile XCOM arasındaki yüzde hata göstermektedir.

Şekil 5.2’de, Geant4 ve XCOM yazılımlarından elde edilen kütle azaltma katsayısı (MAC) değerleri arasındaki hata yüzdesi gösterilmiştir. (S1, S2, S3) için hesaplanan değerler, enerjiye (E) bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Genel olarak, hata yüzdesi %1’in altında kalmaktadır, bu da Geant4 ve XCOM sonuçlarının oldukça uyumlu olduğunu gösterir.

Enerji seviyesi düşük olduğunda (0.1 MeV’den düşük), hata yüzdesinin bazı noktalarda %1’in biraz üzerine çıktığı görülmektedir. Bu, iki yöntemin düşük enerji aralığında farklı sonuçlar verdiğini gösterir. Bu fark, düşük enerjilerde fotonlarla madde arasındaki etkileşimlerin her iki yazılım tarafından farklı şekilde ele alınmasından kaynaklanıyor olabilir. Enerji seviyesi arttıkça, hata yüzdesi genellikle %1’in altında kalmaktadır ve oldukça düşük seviyelerde (yaklaşık 0.1%) seyretmektedir. Bu durum, Geant4 ve XCOM’un bu enerji aralıklarında daha uyumlu sonuçlar verdiğini gösterir.

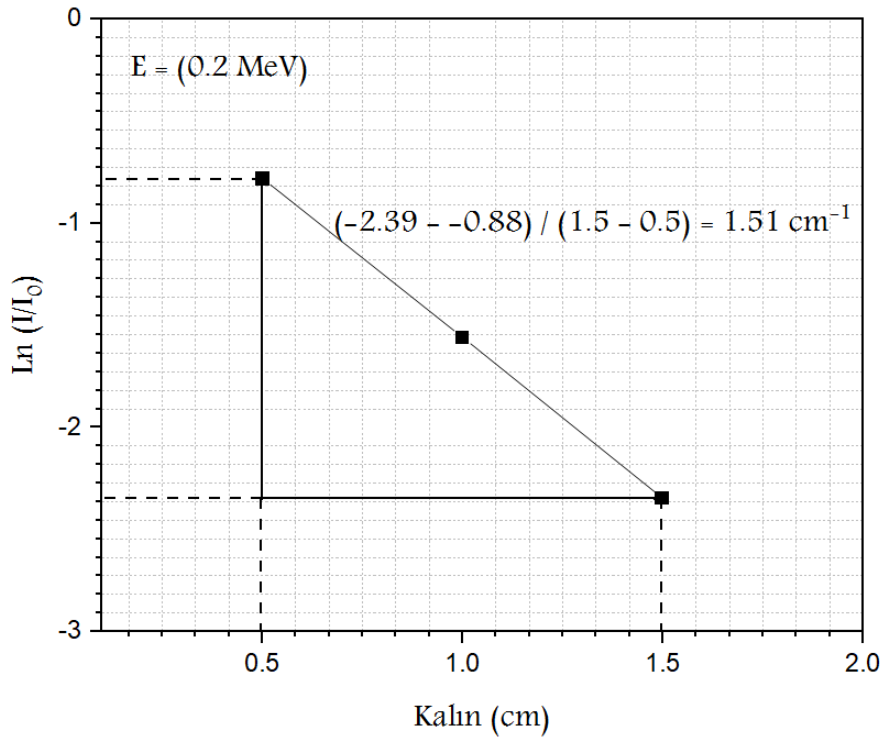
Pratik uygulamalarda, bu kadar küçük hata oranları genellikle oldukça kabul edilebilirdir, özellikle kütle azaltma katsayılarının hesaplanmasında yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda. Bu nedenle, Geant4'ün bu tür camlar için XCOM ile oldukça tutarlı sonuçlar sağladığını söyleyebiliriz. Bu nedenle, bu küçük hata oranının, iki yöntem arasındaki güçlü bir uyumu ifade ettiğini ve bu bağlamda Geant4'ün güvenilir bir araç olarak kullanılmasını desteklediğini vurgulayabilirsiniz.

5.3. Lineer Azaltma Katsayısı (LAC)

Enerji sabit tutulduğunda ($E = 0.2 \text{ MeV}$), lineer azaltma katsayısını (μ) hesaplamak için bir grafik oluşturulmuştur Şekil 5.3.gösterir.

- Y eksenini ($\ln I/I_0$) olarak tanımlanmış,
- X eksenini ise malzemenin kalınlığı (x) olarak alınmıştır.

Eğim, grafikte gösterildiği gibi hesaplanmıştır ve bu hesaplama sonucunda lineer azaltma katsayısı elde edilmiştir. Elde edilen değer, daha önce hesapladığımız değere oldukça yakın bir sonuç vermektedir. Elde ettiğimiz değer 1.51 cm^{-1} , matematiksel olarak hesapladığımız değer ise 1.55 cm^{-1} 'dir.

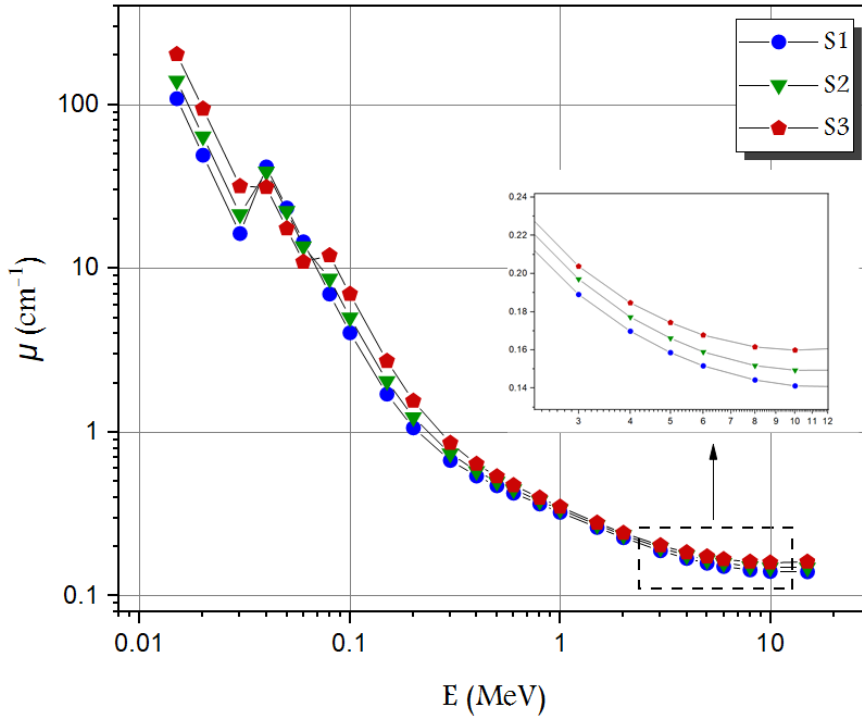


Şekil 5.3. Çizimden lineer azaltma katsayısını hesaplayın.

Lineer azaltma katsayısı değerleri (Geant4'ten alınan değerler esas alınarak) kütle azaltma katsayısı değerlerinin yoğunluk ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 5.3'ta olduğu gibi.

Tablo 5.3. S1, S2, ve S3 için lineer azaltma katsayısı (LAC; cm^{-1}).

Lineer azaltma katsayısı (cm^{-1})			
E (MeV)	S1	S2	S3
0.015	109.1496	140.5282	203.8510
0.02	49.2455	64.2307	94.6122
0.03	16.3618	21.4728	31.8658
0.04	41.7748	39.2251	31.3535
0.05	23.4426	22.4412	17.5712
0.06	14.5889	13.7062	10.9841
0.08	6.9895	8.6719	12.0201
0.1	4.0611	5.0282	6.9868
0.15	1.7099	2.0556	2.7272
0.2	1.0653	1.2359	1.5550
0.3	0.6734	0.7424	0.8586
0.4	0.5404	0.5807	0.6407
0.5	0.4710	0.4994	0.5371
0.6	0.4255	0.4477	0.4746
0.8	0.3654	0.3814	0.3980
1	0.3247	0.3378	0.3502
1.5	0.2622	0.2721	0.2804
2	0.2270	0.2357	0.2427
3	0.1890	0.1971	0.2038
4	0.1698	0.1772	0.1847
5	0.1586	0.1662	0.1744
6	0.1517	0.1590	0.1678
8	0.1443	0.1518	0.1616
10	0.1412	0.1494	0.1599
15	0.1405	0.1495	0.1616



Şekil 5.4. Enerji ve lineer azaltma katsayısı arasındaki ilişki.

Şekil 5.4'ta lineer azaltma katsayısı ile enerji arasındaki ilişki gösterilmektedir. Lineer azaltma katsayısı şekili, Maddenin kalınlığına ve yoğunluğuna göre radyasyonu nasıl soğurduğu hakkında bilgi verir. Genel olarak, enerji arttıkça lineer azaltma katsayısının (μ) önemli ölçüde azaldığı görülür. Düşük enerjilerde (0.1 MeV'den düşük), fotonlar çoğunlukla fotoelektrik etki yoluyla tamamen soğurur (Birinci Zirve). Bu etki sırasında foton, atomdaki bir elektron tarafından tamamen soğurur ve bu enerji aralığında azaltma katsayısının yüksek olmasına neden olur.

Enerji arttıkça, ana etkileşim mekanizması Compton saçılması olur (İkinci Zirve). Bu durumda, foton enerjisinin bir kısmını kaybederek saçılır ve tamamen soğurmez. Bu da lineer azaltma katsayısının enerji arttıkça kademeli olarak azalmasını açıklar. Daha yüksek enerjilerde (1 MeV'den büyük), çift oluşumu etkisi baskın hale gelir ve fotonlar daha etkin bir şekilde madde ile etkileşime girdiği için azaltma katsayısı düşmeye devam eder. S3, daha yüksek oranda ağır elementler (örneğin, tungsten (W)) içerdiği için, özellikle düşük ve orta enerjilerde daha yüksek lineer azaltma katsayısına (μ) sahiptir. Bu, madde yoğunluğunun artmasıyla fotonlar ile maddenin etkileşim olasılığının artmasından kaynaklanır.

S2 ve S1: S3'e kıyasla daha az ağır element içerir ve dolayısıyla daha düşük azaltma katsayısı gösterir. Kimyasal bileşimlerdeki farklılıklar, fotonların madde ile nasıl etkileştiğini etkiler; daha yüksek atom numarasına sahip elementler, fotonları fotoelektrik olayı ve Compton saçılması yoluyla daha iyi soğurur.

5.4. Geant4 Programı Aracılığıyla İletilen Işının Değeri

S1, S2 ve S3 olmak üzere üç numune için iletilen gama radyasyonu değerleri Geant4 uygulamasından alınmıştır. Gelen radyasyon sabit bir değerdir ve 100.000 eşittir, Enerji arttıkça camdan geçen radyasyon arttığını fark ediyoruz.

İletilen radyasyon değerleri, farklı kalınlıklarda (0,5, 1, 1,5) cm'deki S1, S2 ve S3 örnekleri için sırasıyla Tablo 5.4, 5.5 ve 5.6'da hesaplandı, camın kalınlığı ne kadar büyükse, içine iletilen radyasyonun o kadar az olduğunu görebiliriz.

Tablo 5.4. S1 cam numunesi için farklı kalınlıklarda (0,5, 1 ve 1,5 cm) geçirgenlik radyasyon değerleri.

S1 için farklı kalınlıklarda (0,5, 1 ve 1,5 cm) geçirgenlik radyasyon değerleri.						
E (MeV)	0.5 cm		1 cm		1.5 cm	
	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
0.015						
0.02						
0.03						
0.04						
0.05						
0.06	53	0.0005				
0.08	3104	0.0310	78	0.0007	1	0.00001
0.1	13246	0.1324	1762	0.0176	245	0.0024
0.15	42490	0.4249	18000	0.18	7536	0.0753
0.2	58803	0.5880	34357	0.3435	20280	0.2028
0.3	71425	0.7142	50955	0.5095	36207	0.3620
0.4	76184	0.7618	58395	0.5839	44539	0.4453
0.5	78973	0.7897	62753	0.6275	49312	0.4931
0.6	80864	0.8086	65537	0.6553	52797	0.5279
0.8	83281	0.8328	69598	0.6959	57767	0.5776
1	84931	0.8493	72267	0.7226	61719	0.6171
1.5	87819	0.8781	76937	0.7693	67602	0.6760
2	89260	0.8926	79933	0.7993	71126	0.7112
3	91057	0.9105	82918	0.8291	75570	0.7557
4	91895	0.9189	84508	0.8450	77667	0.7766
5	92478	0.9247	85371	0.8537	79026	0.7902
6	92883	0.9288	85940	0.8594	79934	0.7993
8	93235	0.9323	86618	0.8661	80728	0.8072
10	93311	0.9331	87025	0.8702	81143	0.8114
15	93393	0.9339	87144	0.8714	81199	0.8119

Tablo 5.5. S2 cam numunesi için farklı kalınlıklarda (0,5, 1 ve 1,5 cm) geçirgenlik radyasyon değerleri.

S2 için farklı kalınlıklarda (0,5, 1 ve 1,5 cm) geçirgenlik radyasyon değerleri.						
E (MeV)	0.5 cm		1 cm		1.5 cm	
	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
0.015						
0.02						
0.03						
0.04						
0.05						
0.06	92	0.0009				
0.08	1361	0.0136	11	0.0001		
0.1	8240	0.0824	703	0.0070	48	0.0004
0.15	35764	0.3576	12720	0.1272	4469	0.0446
0.2	53871	0.5387	28962	0.2896	15649	0.1564
0.3	68938	0.6893	47370	0.4737	32668	0.3266
0.4	74795	0.7479	56028	0.5602	41898	0.4189
0.5	77859	0.7785	60854	0.6085	47242	0.4724
0.6	79904	0.7990	64003	0.6400	51022	0.5102
0.8	82628	0.8262	68372	0.6837	56393	0.5639
1	84493	0.8449	71357	0.7135	60303	0.6030
1.5	87444	0.8744	76132	0.7613	66680	0.6668
2	88866	0.8886	79200	0.7920	70337	0.7033
3	90711	0.9071	82370	0.8237	74590	0.7459
4	91481	0.9148	83869	0.8386	76846	0.7684
5	92129	0.9212	84735	0.8473	78207	0.7820
6	92444	0.9244	85314	0.8531	79114	0.7911
8	92826	0.9282	85988	0.8598	79837	0.7983
10	92904	0.9290	86384	0.8638	79941	0.7994
15	92926	0.9292	86405	0.8640	79919	0.7991

Tablo 5.6. S3 cam numunesi için farklı kalınlıklarda (0,5, 1 ve 1,5 cm) geçirgenlik radyasyon değerleri.

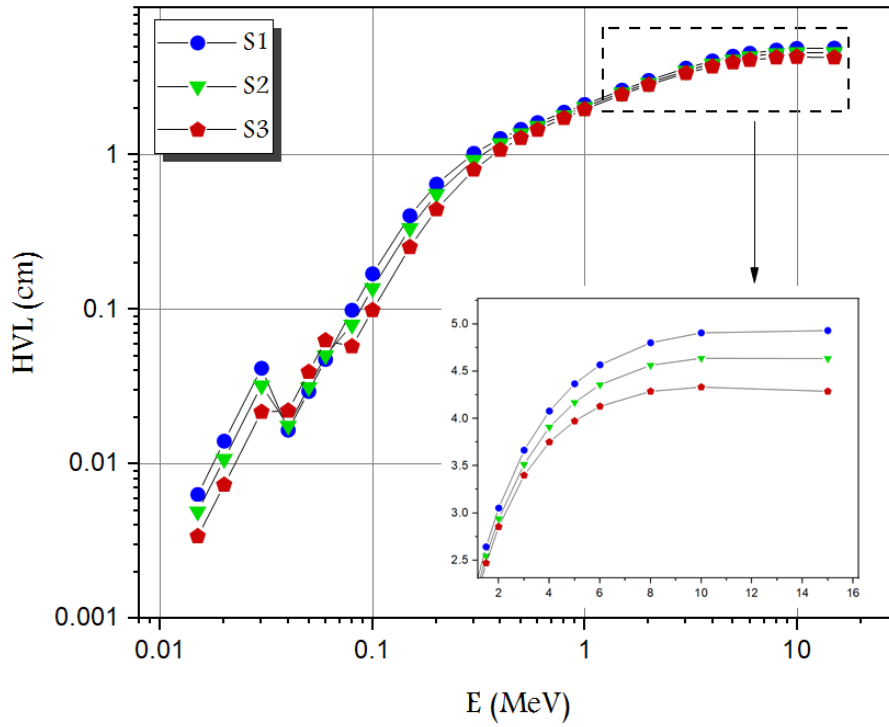
S3 için farklı kalınlıklarda (0,5, 1 ve 1,5 cm) geçirgenlik radyasyon değerleri.						
E (MeV)	0.5 cm		1 cm		1.5 cm	
	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
0.015						
0.02						
0.03						
0.04						
0.05	9	0.00009				
0.06	439	0.0043				
0.08	244	0.0024				
0.1	3186	0.0318	92	0.0009	1	0.00001
0.15	25619	0.2561	6477	0.0647	1560	0.0156
0.2	45862	0.4586	21039	0.2103	9571	0.0957
0.3	65205	0.6520	42260	0.4226	27333	0.2733
0.4	72807	0.7280	52806	0.5280	38374	0.3837
0.5	76255	0.7625	58582	0.5858	44749	0.4474
0.6	78825	0.7882	62307	0.6230	48929	0.4892
0.8	81967	0.8196	67266	0.6726	54995	0.5499
1	83939	0.8393	70413	0.7041	59260	0.5926
1.5	86958	0.8695	75602	0.7560	66028	0.6602
2	88606	0.8860	78652	0.7865	69787	0.6978
3	90512	0.9051	81834	0.8183	73787	0.7378
4	91200	0.9120	83259	0.8325	76176	0.7617
5	91777	0.9177	84097	0.8409	77199	0.7719
6	92205	0.9220	84668	0.8466	78028	0.7802
8	92365	0.9236	85219	0.8521	78821	0.7882
10	92478	0.9247	85517	0.8551	78823	0.7882
15	92420	0.9242	85275	0.8527	78360	0.7836

5.5. Yarı Değer Kalınlığı (HVL)

Yarı değer kalınlığı (HVL) değerleri Tablo 5.7’de hesaplandı.

Tablo 5.7. S1, S2 ve S3 için yarı değer kalınlığı (HVL; cm).

Yarı değer kalınlığı (HVL; cm)			
E (MeV)	S1	S2	S3
0.015	0.0063	0.0049	0.0034
0.02	0.0141	0.0108	0.0073
0.03	0.0417	0.0323	0.0217
0.04	0.0166	0.0177	0.0221
0.05	0.0296	0.0315	0.0394
0.06	0.0475	0.0506	0.0631
0.08	0.0991	0.0799	0.0577
0.1	0.1706	0.1378	0.0992
0.15	0.4053	0.3371	0.2541
0.2	0.6505	0.5607	0.4457
0.3	1.0291	0.9334	0.8072
0.4	1.2824	1.1934	1.0816
0.5	1.4714	1.3877	1.2903
0.6	1.6285	1.5480	1.4601
0.8	1.8965	1.8168	1.7410
1	2.1345	2.0514	1.9789
1.5	2.6431	2.5465	2.4717
2	3.0535	2.9401	2.8559
3	3.6660	3.5166	3.4003
4	4.0810	3.9110	3.7528
5	4.3695	4.1709	3.9745
6	4.5696	4.3591	4.1306
8	4.8033	4.5652	4.2889
10	4.9083	4.6394	4.3342
15	4.9325	4.6360	4.2889



Şekil 5.5. Enerji ve HVL arasındaki ilişki.

Yarı değer kalınlığı (HVL), radyasyon şiddeti yarı yarıya azaltmak için gereken malzemenin kalınlığıdır. Normalde HVL değeri radyasyon enerjisi değiştikçe değişir.

Düşük enerjilerde, HVL değerleri genellikle küçüktür çünkü madde bu enerjilerde radyasyonu soğurmada daha etkilidir. Bu, radyasyonun maddede enerjisini daha hızlı kaybettiği anlamına gelir.

Orta enerjilerde, Enerji arttıkça, yarı değer kalınlığı (HVL) artmaya başlar. Bu, maddenin radyasyonu soğurmada daha az etkili olduğu ve radyasyonun 50% oranında soğurması için daha kalın bir maddeye ihtiyacı olduğu anlamına gelir.

Yüksek enerjilerde, Enerji arttıkça HVL değerleri artmaya devam eder. Bu enerji aralığında, radyasyon soğurmadan veya saçılmadan önce maddeden daha fazla geçebilir, bu da HVL değerlerini artırır.

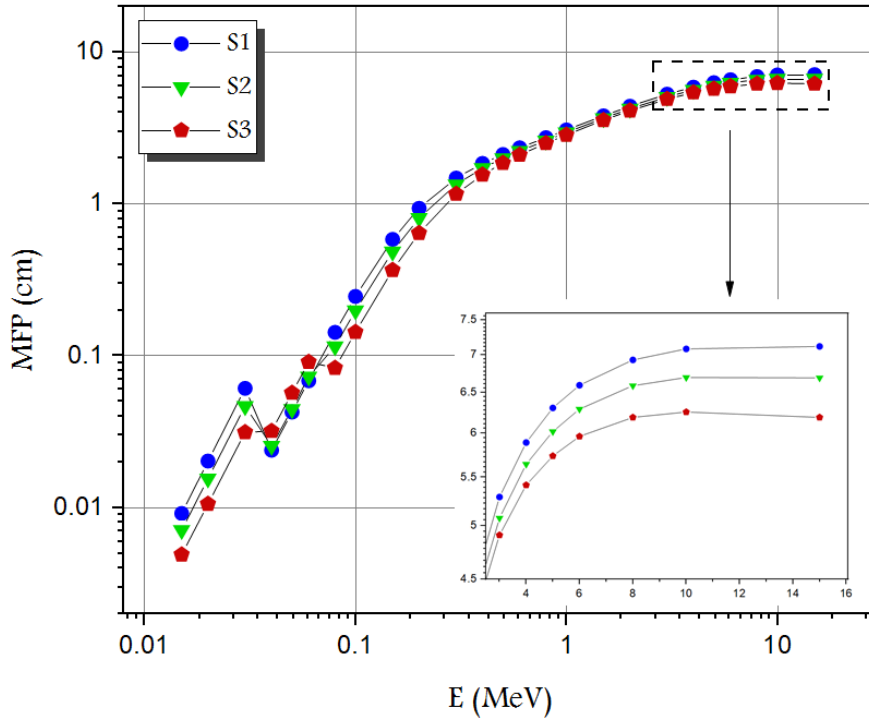
Verilen Şekil 5.5'te bu soğurmayı net bir şekilde görebiliriz, Düşük enerjilerde (0.1 MeV'den az) tüm bileşikler için HVL değerleri küçüktür. Enerji 1 MeV civarına çıktıkça HVL değerleri belirgin şekilde artar. Daha yüksek enerjilerde (1 MeV'den büyük), HVL değerleri artmaya devam eder ancak daha yavaş bir oranda.

5.6. Ortalama Serbest Yol (MFP)

Ortalama serbest yol (MFP) değerleri aşağıdaki Tablo 5.8’de hesaplandı.

Tablo 5.8. S1, S2 ve S3 için ortalama serbest yol (MFP; cm).

Ortalama serbest yol (MFP; cm)			
E (MeV)	S1	S2	S3
0.015	0.0092	0.0071	0.0049
0.02	0.0203	0.0156	0.0106
0.03	0.0611	0.0466	0.0314
0.04	0.0239	0.0255	0.0319
0.05	0.0427	0.0446	0.0569
0.06	0.0685	0.0730	0.0910
0.08	0.1431	0.1153	0.0832
0.1	0.2462	0.1989	0.1431
0.15	0.5848	0.4865	0.3667
0.2	0.9387	0.8091	0.6431
0.3	1.4851	1.3469	1.1647
0.4	1.8505	1.7220	1.5608
0.5	2.1232	2.0024	1.8618
0.6	2.3499	2.2338	2.1070
0.8	2.7366	2.6217	2.5123
1	3.0800	2.9601	2.8556
1.5	3.8140	3.6746	3.5667
2	4.4063	4.2426	4.1211
3	5.2900	5.0745	4.9066
4	5.8889	5.6436	5.4152
5	6.3052	6.0186	5.7352
6	6.5939	6.2903	5.9604
8	6.9312	6.5876	6.1888
10	7.0827	6.6947	6.2542
15	7.1177	6.6898	6.1888



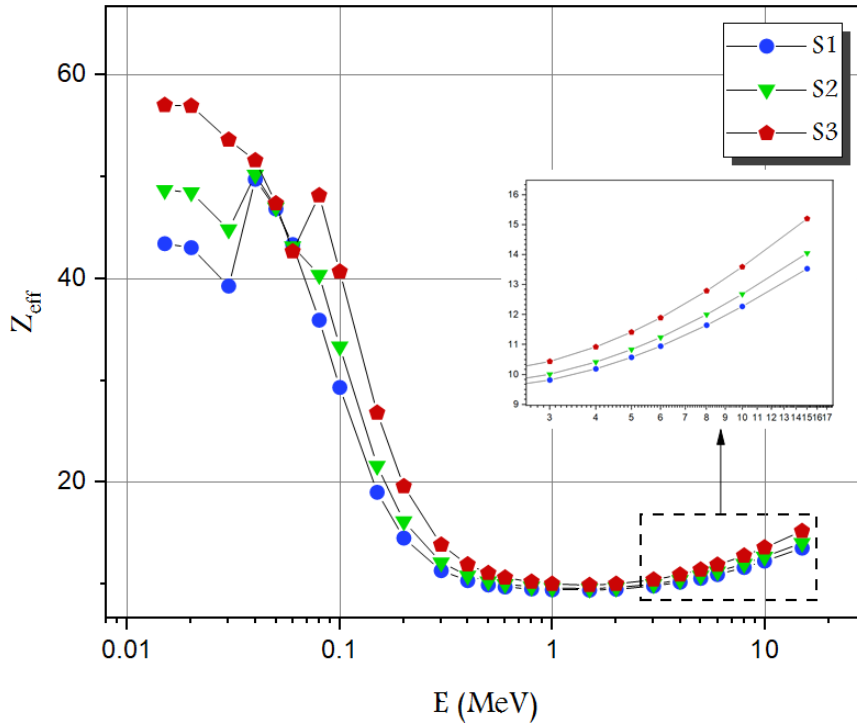
Şekil 5.6. Enerji ve MFP arasındaki ilişki.

Şekil 5.6.'tan, enerji arttıkça MFP'nin arttığı sonucuna varılabilir. S3, yüksek enerjilerde parçacıklarla etkileşimde en etkili olanıdır (daha düşük MFP değerleri), ardından S2 ve sonra S1 gelir. S1, yüksek enerjilerde en az etkili olanıdır (daha yüksek MFP değerleri). Bu ilişki, üç bileşiğin düşük enerjilerde radyasyonu soğurmada etkili olacağını, ancak yüksek enerjilerde S3 bileşiğinin radyasyonu soğurmada en iyi performansı göstereceğini işaret eder. (MFP), doğrudan lineer azaltma katsayısı (μ) ile ilişkilidir. Enerji arttıkça, fotoelektrik etkinin etkisi azalır (fotoelektrik etki giderek azalır). Orta enerji aralığında, Compton Saçılması etkisi baskın hale gelir ve (MFP) artmaya başlar çünkü fotonlar daha geçirgen hale gelir ve malzeme ile daha az etkileşime girer. Çok yüksek enerjilerde ise, çift üretimi etkisi baskın hale gelir. Bu durumda (MFP) artmaya devam eder ancak daha yavaş bir hızla. Grafikte S1, S2 ve S3 arasındaki farklar, bu camların kimyasal bileşimlerinden ve yoğunluklarından kaynaklanmaktadır. S1 camı, en düşük yoğunluğa sahip (5.34 g/cm^3) ve en düşük ortalama serbest yola sahiptir. S2 ve S3'te tungsten (W) konsantrasyonunun artmasıyla birlikte yoğunluk artar ve malzemenin fotonları geçirme yeteneği azalır (yani lineer azaltma katsayısı μ artar), bu da (MFP)'nin azalmasına neden olur.

5.7. Etkin Atom Numarası (Z_{eff})

Tablo 5.9. S1, S2 ve S3 için etkin atom numarası (Z_{eff}).

Etkin atom numarası (Z_{eff})						
E (MeV)	S1		S2		S3	
	Phy-X	hesaplama	Phy-X	hesaplama	Phy-X	hesaplama
0.015	42.8247	43.4210	48.0248	48.6871	56.3401	57.0247
0.02	42.2541	43.0322	47.5725	48.4600	56.0138	56.9444
0.03	38.6074	39.2664	43.9583	44.8221	52.5970	53.6078
0.04	49.1868	49.7414	49.6578	50.1911	51.0919	51.5863
0.05	46.3462	46.8438	46.5352	46.9726	47.0975	47.3636
0.06	42.9742	43.3464	42.9050	43.1716	42.7052	42.6568
0.08	35.8891	35.9214	40.2551	40.3433	48.0087	48.1627
0.1	29.5811	29.3183	33.5501	33.3246	40.8545	40.6813
0.15	19.5678	19.0329	22.1936	21.6309	27.4270	26.8145
0.2	15.0170	14.5241	16.7114	16.1671	20.2417	19.5967
0.3	11.6703	11.3407	12.5175	12.1390	14.3491	13.8678
0.4	10.5731	10.3480	11.1034	10.8413	12.2650	11.9233
0.5	10.0986	9.9335	10.4834	10.2903	11.3315	11.0773
0.6	9.8531	9.7262	10.1597	10.0107	10.8377	10.6403
0.8	9.6171	9.5338	9.8467	9.7485	10.3561	10.2251
1	9.5089	9.4490	9.7022	9.6314	10.1316	10.0367
1.5	9.4433	9.4103	9.6069	9.5677	9.9708	9.91792
2	9.5245	9.5031	9.6919	9.6664	10.0643	10.0298
3	9.8331	9.8213	10.0277	10.0138	10.4604	10.4417
4	10.2010	10.1934	10.4296	10.4206	10.9372	10.9252
5	10.5822	10.5777	10.8446	10.8391	11.4272	11.4192
6	10.9526	10.9495	11.2482	11.2442	11.9037	11.8979
8	11.6523	11.6496	12.0091	12.0059	12.7992	12.7951
10	12.2777	12.2763	12.6888	12.6872	13.5979	13.5958
15	13.5360	13.5355	14.0567	14.0560	15.2051	15.2037



Şekil 5.7. Enerji ve (Z_{eff}) arasındaki ilişki.

Tablo 5.9’da Phy-X’ten alınan ve benim hesapladığım etkin atom numarası değerlerini göstermektedir. Sonuçlar birbirine yakındı.

Şekil 5.7’de (Z_{eff}), bir maddenin radyasyonu soğurma yeteneğini temsil eder. Daha yüksek değerler, daha iyi radyasyon soğurucu anlamına gelir, bu da radyasyondan korunmada önemlidir.

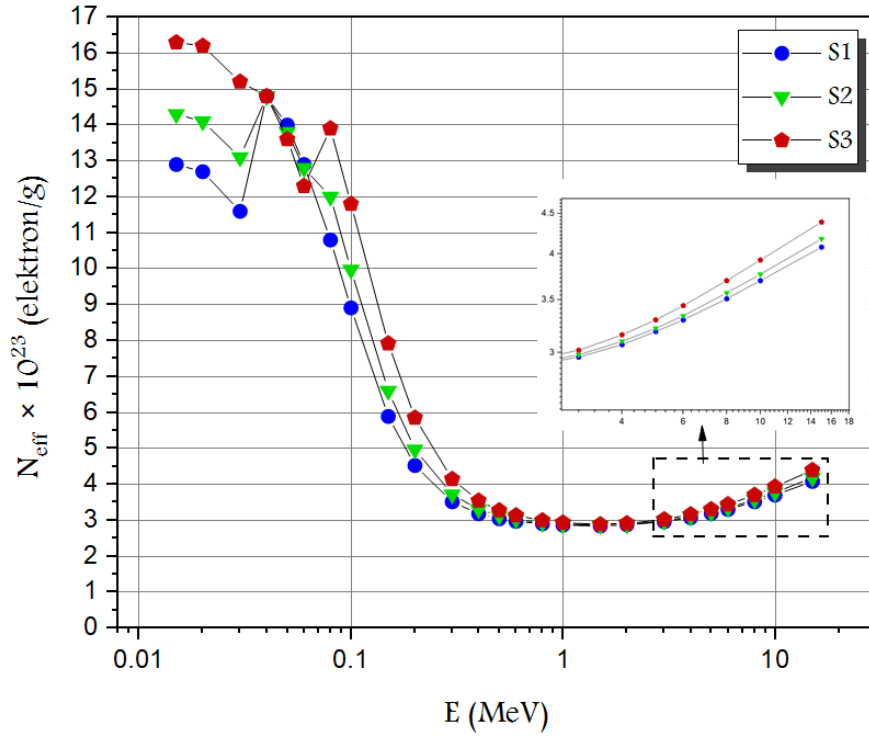
Tungsten ve baryum içeren camlar, özellikle yüksek enerjilerde radyasyonu soğurda daha verimlidir, bu da onları radyasyondan korunma için uygun hale getirir.

Şekilde görüldüğü gibi, cam numunelerindeki farklı element bileşimleri ve yoğunluklar, (Z_{eff}) değerlerini etkileyerek farklı enerji aralıklarında değişen radyasyon soğurmu sağlar. Bu şekilde, yüksek (Z_{eff}) değerine sahip malzemeler, radyasyondan korunma amacıyla tercih edilir ve kullanılır. Tungsten (W) ve baryum (Ba) gibi ağır elementler içeren camlar, yüksek (Z_{eff}) değerlerine sahip oldukları için radyasyonu soğuruma daha etkilidir.

5.8. Etkin Elektron Yoğunluğu (N_{eff})

Tablo 5.10. Etkin elektron yoğunluğu (N_{eff} ; elektron/g).

Etkin elektron yoğunluğu (N_{eff}) değerleri $\times 10^{23}$			
E (MeV)	S1	S2	S3
0.015	12.9	14.3	16.3
0.02	12.7	14.1	16.2
0.03	11.6	13.1	15.2
0.04	14.8	14.8	14.8
0.05	14.0	13.8	13.6
0.06	12.9	12.8	12.3
0.08	10.8	12.0	13.9
0.1	8.91	9.97	11.8
0.15	5.89	6.60	7.92
0.2	4.52	4.97	5.85
0.3	3.51	3.72	4.14
0.4	3.18	3.30	3.54
0.5	3.04	3.12	3.27
0.6	2.97	3.02	3.13
0.8	2.90	2.93	2.99
1	2.86	2.88	2.93
1.5	2.84	2.86	2.88
2	2.87	2.88	2.91
3	2.96	2.98	3.02
4	3.07	3.10	3.16
5	3.19	3.22	3.30
6	3.30	3.34	3.44
8	3.51	3.57	3.70
10	3.70	3.77	3.93
15	4.08	4.18	4.39



Şekil 5.8. Enerji ve (N_{eff}) arasındaki ilişki.

(N_{eff}) değerleri Tablo 5.10’da gösterildiği gibi Phy-X veritabanından alınmıştır.

Şekil 5.8’de, Tungsten ve Baryum içeren camlar, yüksek (N_{eff}) değerlerine sahip olduklarından, yüksek enerjili radyasyonu daha iyi soğurar. Bu, tür malzemeleri tıbbi ve endüstriyel radyasyondan korunma uygulamaları için ideal hale getirir.

Belirli bir sürece katılan veya çekirdekle veya radyasyonla etkileşime giren elektronların gerçek sayısını ifade eder. Her iki kavram da (Z_{eff} , N_{eff}), elektronların çekirdek etrafındaki dağılımına dayanır, ancak bir atom veya maddedeki elektronların davranışının farklı yönlerini tanımlarlar.

5.9. İletim Faktörleri TF%

Tablo 5.12. S1 için üç farklı kalınlıkta (0,5, 1 ve 1,5 cm) iletim faktörleri TF%.

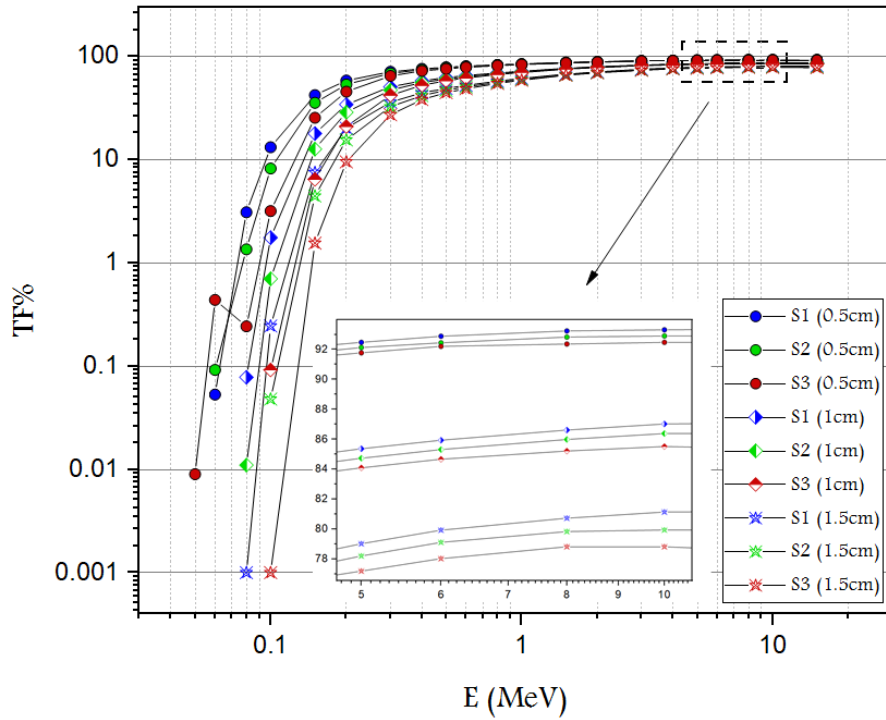
S1 için üç farklı kalınlıkta (0,5, 1 ve 1,5 cm) iletim faktörleri TF%.			
E (MeV)	0.5 cm	1 cm	1.5 cm
0.015			
0.02			
0.03			
0.04			
0.05			
0.06	0.0530		
0.08	3.1040	0.0780	0.0010
0.1	13.2460	1.7620	0.2450
0.15	42.4900	18.0000	7.5360
0.2	58.8030	34.3570	20.2800
0.3	71.4250	50.9550	36.2070
0.4	76.1840	58.3950	44.5390
0.5	78.9730	62.7530	49.3120
0.6	80.8640	65.5370	52.7970
0.8	83.2810	69.5980	57.7670
1	84.9310	72.2670	61.7190
1.5	87.8190	76.9370	67.6020
2	89.2600	79.9330	71.1260
3	91.0570	82.9180	75.5700
4	91.8950	84.5080	77.6670
5	92.4780	85.3710	79.0260
6	92.8830	85.9400	79.9340
8	93.2350	86.6180	80.7280
10	93.3110	87.0250	81.1430
15	93.3930	87.1440	81.1990

Tablo 5.12. S2 için üç farklı kalınlıkta (0,5, 1 ve 1,5 cm) iletim faktörleri TF%.

S2 için üç farklı kalınlıkta (0,5, 1 ve 1,5 cm) iletim faktörleri TF%.			
E (MeV)	0.5 cm	1 cm	1.5 cm
0.015			
0.02			
0.03			
0.04			
0.05			
0.06	0.0920		
0.08	1.3610	0.0110	
0.1	8.2400	0.7030	0.0480
0.15	35.7640	12.7200	4.4690
0.2	53.8710	28.9620	15.6490
0.3	68.9380	47.3700	32.6680
0.4	74.7950	56.0280	41.8980
0.5	77.8590	60.8540	47.2420
0.6	79.9040	64.0030	51.0220
0.8	82.6280	68.3720	56.3930
1	84.4930	71.3570	60.3030
1.5	87.4440	76.1320	66.6800
2	88.8660	79.2000	70.3370
3	90.7110	82.3700	74.5900
4	91.4810	83.8690	76.8460
5	92.1290	84.7350	78.2070
6	92.4440	85.3140	79.1140
8	92.8260	85.9880	79.8370
10	92.9040	86.3840	79.9410
15	92.9260	86.4050	79.9190

Tablo 5.33. S3 için üç farklı kalınlıkta (0,5, 1 ve 1,5 cm) iletim faktörleri TF%.

S3 için üç farklı kalınlıkta (0,5, 1 ve 1,5 cm) iletim faktörleri TF%.			
E (MeV)	0.5 cm	1 cm	1.5 cm
0.015			
0.02			
0.03			
0.04			
0.05	0.0090		
0.06	0.4390		
0.08	0.2440		
0.1	3.1860	0.0920	0.0010
0.15	25.6190	6.4770	1.5600
0.2	45.8620	21.0390	9.5710
0.3	65.2050	42.2600	27.3330
0.4	72.8070	52.8060	38.3740
0.5	76.2550	58.5820	44.7490
0.6	78.8250	62.3070	48.9290
0.8	81.9670	67.2660	54.9950
1	83.9390	70.4130	59.2600
1.5	86.9580	75.6020	66.0280
2	88.6060	78.6520	69.7870
3	90.5120	81.8340	73.7870
4	91.2000	83.2590	76.1760
5	91.7770	84.0970	77.1990
6	92.2050	84.6680	78.0280
8	92.3650	85.2190	78.8210
10	92.4780	85.5170	78.8230
15	92.4200	85.2750	78.3600

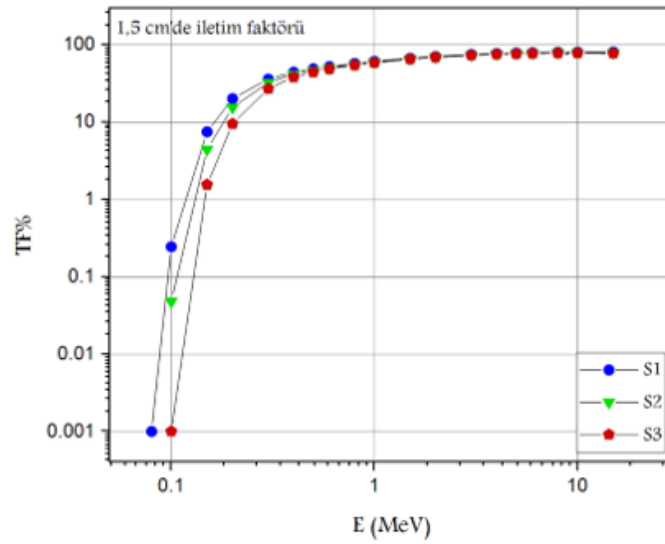
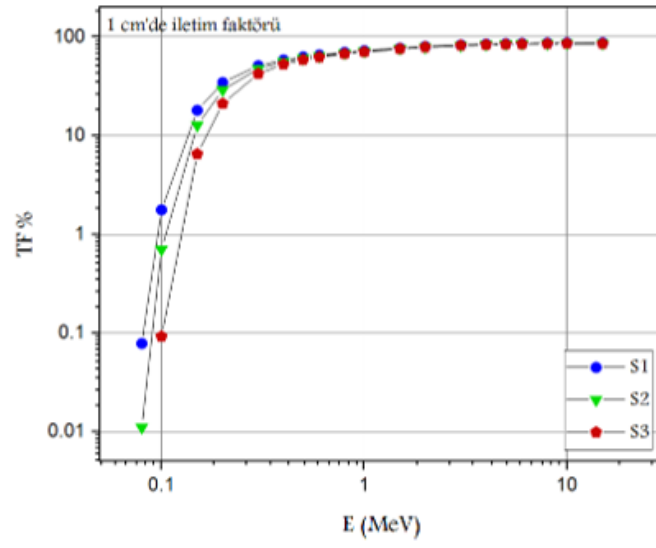
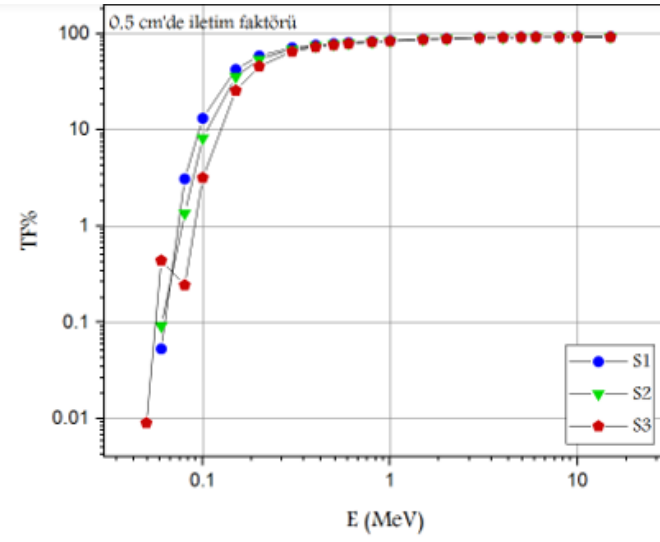


Şekil 5.9. S1, S2 ve S3 için TF% değerleri, kalınlık (0,5, 1 ve 1,5 cm).

Üç numune S1, S2 ve S3 için %TF değerleri, Tablo 5.11, 5.12 ve 5.13'ta gösterildiği gibi üç kalınlık (0,5, 1 ve 1,5 cm) için Tablo 5.4, 5.5 ve 5.6'dan hesaplandı.

Her cam numunesinin TF'leri, radyoizotop enerjilerinin bir fonksiyonu olarak 0,5, 1 ve 1,5 cm gibi farklı kalınlıklar için hesaplanmıştır. Şekil 5.9'da görüldüğü gibi, radyasyon enerjileri düşük olduğunda tüm cam numunelerinin düşük TF değerleri vardır. cam kalınlığı arttıkça, iletilen birincil radyasyon şiddeti azaldı ve iletilen birincil radyasyonun çoğu en büyük cam kalınlığına sahip numunede emildi. Bu, aynı tipteki kalkanlama malzemesinin kalınlığının artırılmasının kalkanlama nitelikleri üzerindeki yararlı etkisiyle açıklanabilir.

Şekil 5.10'da, çeşitli cam kalınlıkları için iletim faktörlerinin (TF'ler) kullanılan radyoizotop enerjisine (MeV) bağlı olarak karşılaştırılmasını göstermektedir. S3 örneği, analiz edilen her kalınlık değeri için izin verilen en düşük radyasyon oranlarına sahiptir ve bu da TF değerini mümkün olan en düşük değer yapar.



Şekil 5.10. İncelenen camların iletim faktörleri (TF'ler), farklı cam kalınlıklarında kullanılan radyoizotop enerjisine (MeV) bağlı olarak.

5.10. Radyasyondan Korunma Verimliliğidir RPE%

Tablo 5.44. S1, S2 ve S3 için radyasyondan korunma verimliliğidir RPE%.

Radyasyondan korunma verimliliğidir RPE%						
E (MeV)	S1		S2		S3	
	I	RPE%	I	RPE%	I	RPE%
0.015						
0.02						
0.03						
0.04						
0.05						
0.06						
0.08	78	99.9220	11	99.9890		
0.1	1762	98.2380	703	99.2970	92	99.9080
0.15	18000	82	12720	87.2800	6477	93.5230
0.2	34357	65.6430	28962	71.0380	21039	78.9610
0.3	50955	49.0450	47370	52.6300	42260	57.7400
0.4	58395	41.6050	56028	43.9720	52806	47.1940
0.5	62753	37.2470	60854	39.1460	58582	41.4180
0.6	65537	34.4630	64003	35.9970	62307	37.6930
0.8	69598	30.4020	68372	31.6280	67266	32.7340
1	72267	27.7330	71357	28.6430	70413	29.5870
1.5	76937	23.0630	76132	23.8680	75602	24.3980
2	79933	20.0670	79200	20.8000	78652	21.3480
3	82918	17.0820	82370	17.6300	81834	18.1660
4	84508	15.4920	83869	16.1310	83259	16.7410
5	85371	14.6290	84735	15.2650	84097	15.9030
6	85940	14.0600	85314	14.6860	84668	15.3320
8	86618	13.3820	85988	14.0120	85219	14.7810
10	87025	12.9750	86384	13.6160	85517	14.4830
15	87144	12.8560	86405	13.5950	85275	14.7250

Radyasyon verimlilik değeri, Tablo 5.14'ta gösterildiği gibi, gelen radyasyonun şiddeti sabit ve 100.000'e eşit olduğunda ve malzeme kalınlığı 1 cm'ye eşit olduğunda hesaplandı. Numune S3 en iyi radyasyon verimliliğini gösterdi, artan radyasyon enerjisiyle gösterdi.

5.11. Diğer Örneklerle Karşılaştırma

Diğer çalışmalardan elde edilen radyasyondan koruyucu cam bileşikler ile karşılaştırma.

Tablo 5.55. Farklı enerjilerdeki farklı cam numuneleri için kütle azaltma katsayısı.

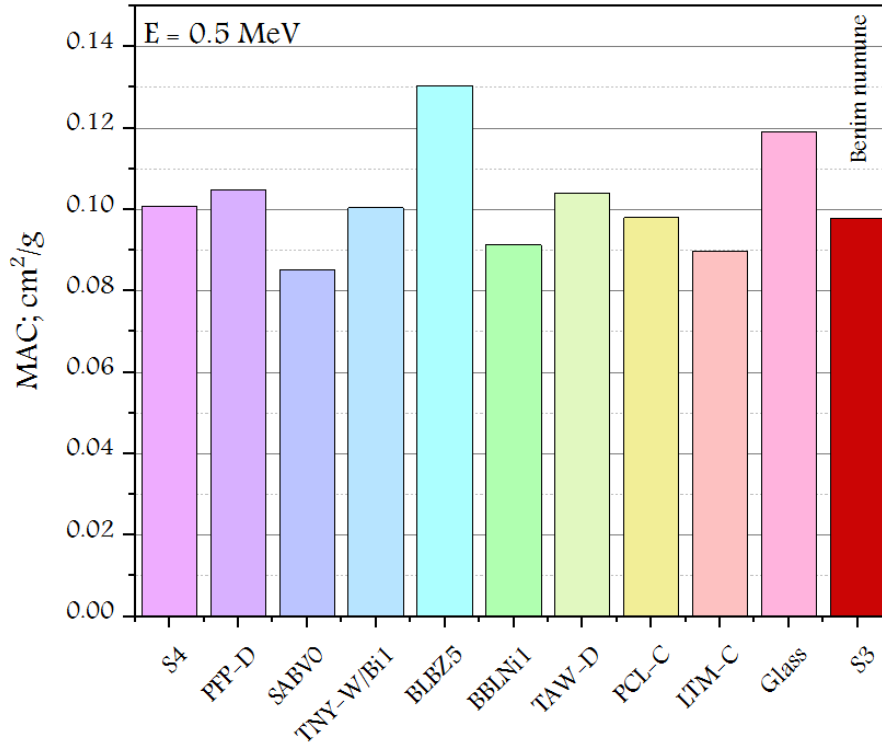
Kütle azaltma katsayısı MAC (cm ² /g)						
Enerji(MeV)	0.015	0.2	0.5	1	15	[Ref.]
Örnek Kod						
S4	52.974	0.357	0.101	0.061	0.037	[64]
PFP-D	44.422	0.350	0.105	0.064	0.032	[65]
SABV0	7.803	0.144	0.085	0.061	0.023	[66]
TNY-W/Bi1	56.487	0.377	0.10046	0.060	0.039	[67]
BLBZ5	71.114	0.637	0.130	0.068	0.041	[68]
BBLNi1	27.376	0.240	0.091	0.061	0.029	[69]
TAW-D	63.563	0.414	0.104	0.061	0.042	[70]
PCL-C	50.007	0.342	0.098	0.060	0.039	[71]
LTM-C	29.452	0.247	0.090	0.059	0.035	[72]
Glass 1	50.601	0.501	0.119	0.067	0.036	[73]
S3	37.5426	0.2924	0.0977	0.0625	0.0288	Benim çalışma

Tablo 5.15'te, farklı cam numuneleri için çeşitli enerjilerde (0,015 MeV ile 15 MeV arasında) kütle azaltma katsayısı (MAC) değerlerini göstermektedir.

Örneğin, (0.2 MeV)de "BLBZ5" numunesi, en etkili numune olarak öne çıkmaktadır. "SABV0" numunesi, en düşük etkinliğe sahip numune olarak dikkat çekmektedir. benim cam numunenim "S3", ortalama bir etkinlik göstermektedir, bu da onu genel radyasyon koruması için iyi bir seçenek yapar. Bu analiz, "S3" numunesinin özellikle orta enerji düzeylerinde yeterli koruma sağlamaktadır.

Örneğimi karşılaştırdığım örneklerin bileşimi şöyle, (**S4**) için (50BaO – 35P₂O₅ – 15WO₃) ve yoğunlunu (4.45 g/cm³), (**PFP-D**).için (35Fe₂O₃ – 45P₂O₅ – 20PbO) ve yoğunlunu (4.022 g/cm³), (**SABV0**).için (25SrO – 5Al₂O₃ – 68B₂O₃ – 2V₂O₅) ve yoğunlunu (2.716 g/cm³), (**TNY-W/Bi1**).için (64TeO₂ – 15Na₂O – 5BaO – 15WO₃ –

1Yb₂O₃) ve yoğunlunu (5.42 g/cm³), (**BLBZ5**).için (60B₂O₃ – 15ZnO – 5Li₂O – 20Bi₂O₃) ve yoğunlunu (4.503 g/cm³), (**BBLNi1**).için (50B₂O₃ – 20BaCO₃ – 30Li₂O₃) ve yoğunlunu (3.2249 g/cm³), (**TAW-D**).için (40TeO₂ – 30Ag₂O – 30WO₃) ve yoğunlunu (6.593 g/cm³), (**PCL-C**).için (75P₂O₅ – 15Ce₂O₃ – 10La₂O₃) ve yoğunlunu (3.078 g/cm³), (**LTM-C**).için (20Li₂O – 40TeO₂ – 40MoO₃) ve yoğunlunu (4.49 g/cm³), (**Glass 1**).için (10PbO – 20B₂O₃ – 65SiO₂ – 5Bi₂O₃) ve yoğunlunu (3.6125 g/cm³), şeklindedir.



Şekil 5.11. 0,5 MeV'ta farklı cam numunelerinin kütle azaltma katsayısı.

Şekil 5.11'de, belirli bir enerjide (0,5 MeV) tablo verilerini görsel olarak gösterir. Dikey eksen (Y eksen), kütle azaltma katsayısı (MAC) değerlerini (cm²/g) biriminde gösterirken, yatay eksen (X eksen) cam numunelerinin adlarını içerir. "BLBZ5" numunesinin (0,5 MeV) enerjisinde en yüksek kütle azaltma katsayısına (yaklaşık 0,13 cm²/g) sahip olduğunu gösteriyor, bu da bu enerji seviyesinde radyasyonu soğurma konusunda en etkili olduğunu gösterir. Diğer taraftan, "SABV0" numunesi en düşük kütle azaltma katsayısına (yaklaşık 0,08 cm²/g) sahiptir, bu da radyasyonu soğurma konusunda en az etkili olduğunu gösterir. Benim cam numuneniz olan "S3" yaklaşık 0,0977 cm²/g değeriyle grafikte ortalama bir yerde bulunmaktadır.

Tablo 5.66. Önceki aynı cam numuneleri için farklı enerjilerdeki HVL ve Z_{eff} değerlerinin karşılaştırılması.

Örnek Kod	Enerji (MeV)	HVL (cm)		Z_{eff}	
		0.2	1	0.2	1
S4		0.437	2.534	35.10	18.71
PFP-D		0.493	2.679	31.55	15.40
SABV0		1.778	4.192	10.53	9.11
TNY-W/Bi1		0.339	2.126	40.35	23.04
BLBZ5		0.242	2.273	46.04	17.09
BBLNi1		0.897	3.544	17.72	10.36
TAW-D		0.254	1.718	46.00	28.13
PCL-C		0.659	3.729	36.49	21.54
LTM-C		0.625	2.612	26.20	17.10
Glass 1		0.383	2.872	37.71	14.84
S3		0.4456	1.9789	19.5967	10.0368

Tablo 5.16’da önceki aynı cam numuneleri için farklı enerjilerdeki yarı değer kalınlığı (HVL) ve etkin atom numarası (Z_{eff}) değerlerinin karşılaştırılması göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kilinçarslan, Ş. (2004). Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırlamasındaki Özellikleri Ve Optimal Karışımlarının Araştırılması.
- [2] Kollayan, B.Y. (2024). Düşük Doz İyonize Radyasyonun Zebra Balığı Embriyolarının Gelişimi Üzerine Etkileri, doktora tezi.
- [3] Yülek, G. G. (1992). Radyasyon Fiziği Ve Radyasondan Korunma.
- [4] Bor, D. (2016). Radyasyon Sağlık Riskleri Ve Tanısal İncelemelerde Korunma.
- [5] Sunar, B. (2022). Bazı Grafen Katkılı Betonların Gama Işınlarnı Soğurma Özellikleri.
- [6] Erdoğan, M. E. H. M. E. T. (2017). İyonlaştırıcı Radyasyon Ve Korunma Yöntemleri. Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi, 43(2), 139-147.
- [7] Glasser, O. (1993). Wilhelm Conrad Röntgen And The Early History Of The Roentgen Rays (No. 1). Norman Publishing.
- [8] Gunderman, R. B. (2013). X-Ray Vision: The Evolution of Medical Imaging and Its Human Significance. United Kingdom: OUP USA.
- [9] Ünlü, A. (2018). Fotoaktivitasyon Analizi Yöntemi İle Dış Numunelerindeki Element Çeşitliliğinin Tespit Edilmesi.
- [10] Esin A, Özşahin Y, Erkalp K, Salihoğlu Z. Anestezistler İçin Radyasyon Güvenliği. Phnx Med J. 2023;5(1):1-5.
- [11] Rockwell, S. (2003). The life and legacy of Marie Curie. The Yale Journal of Biology and Medicine, 76(4-6), 167.
- [12] Curie, M. S., Rays Emitted By Compounds of Uranium and of Thorium, Resonance, 6(3):94-96, 2001.
- [13] Furuncu, S. (2019). Kuantum Teorisinin Farklı Yorumlarının Değerlendirilmesi (Master's thesis, Necmettin Erbakan University (Turkey)).
- [14] Yıldız, A. (2019). Planck Sabiti Ve Kuantum Fiziği İçin Önemi. The Journal of Academic Social Science, 19(19), 56-62.
- [15] Kspdan, E. (2009). Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm Ve Analizleri, Yüksek Lisans Tezi.
- [16] Usta, G. (2023). Radyasyon Çalışanlarında Gözyaşı Fonksiyon Testlerinin Ve Kornea Endotel Tabakası Özelliklerinin Radyasyon Maruziyetiyle İlişkisinin Değerlendirilmesi, Göz hastalıkları uzmanlık tezi.
- [17] Gökharman DF, Aydın S, Koşar PN. Radyasyon Güvenliğinde Mesleki Olarak Bilmemiz Gerekenler. Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi. 2016;7(2):35-40.

- [18] Kabak, M. (2004),“X-Işınları Kristalografisi”. Bıçaklar Kitabevi,. Ankara , 975-8695-07-X. • AYGÜN, E. , ZENGİN, M. (1998). “Atom ve Molekül Fiziği.
- [19] Kaya, R. (2021). Tiroit Doku Eşdeğeri Malzemelerin Foton Etkileşim Özelliklerinin Geant4 İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- [20] Cacık, F. (2022). Elektrospin Cihazı İle Nanomalzeme Kullanarak X Işınlardan Koruma Malzemesi Üretimi (Master's thesis, Necmettin Erbakan University (Turkey)).
- [21] Boyacıoğlu, H. X-Işınları Difraksiyon Yöntemi İle Böbrek Taşlarının Nitel Analizi. Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi, 7(2), 1-7.
- [22] Büyük Anadolu Hastanesi. (n.d.). Röntgen nedir? [Image]. Retrieved July 23, 2024, from https://www.buyukanadoluhastanesi.com/images/news/actual/Rontgen_Nedir_-_Buyuk_Anadolu_Hastanesi.jpg
- [23] Ulu, M., & Polatöz, A. Parçacık Detektörlerinin Tıpta Kullanımı. Fbe. Cu. Edu. Tr.
- [24] Akar, Ü. (2010). Bursa-Çekirge Bölgesi Termal Sularında Radon Konsantrasyonunun Tayini (Master's thesis, Bursa Uludag University (Turkey)).
- [25] Kurudirek, M. (2011). Bazı Çoklu Element Yapıdaki Maddelerin Foton Etkileşimi, Foton Enerji Soğurması, Foton Kuvvetlendirme Faktörü Ve Hızlı Nötron Azaltma Tesir Kesitleri Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi.
- [26] Oğuz, N. S., & DAYIK, M. (2014). Gama Işınlının Kumaşların Antibakteriyel Özellikleri Üzerine Etkisi II. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(2), 1-11.
- [27] Kaplan, A. N., & Özel, C. (2021). Perlit ve Pomza Agregalı Polimer Betonların Radyasyon Zırhlama Performanslarının Araştırılması. Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science, 16(1), 287-300.
- [28] Marghany, M. (2021). Nonlinear Ocean Dynamics: Synthetic Aperture Radar. Elsevier, Bölüm 4, 119-123.
- [29] Günday, A., Yılmaz, G., & Karlık, S. E. (2007). Optik Fiberli Dağınık Algılama Yöntemiyle Enerji Kablosunda Sıcaklık Ve Gerginliğin Algılanması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 12(2).
- [30] Turgut, Ü. (2000). Bileşiklerin Kütle Azaltma Katsayılarının Tayini Ve Karışım Kuralının Geçerliliğinin Araştırılması, Doktora Tezi.
- [31] Eruçar, F. (2024). İnce Filmlerin Radyasyon Zırhlama Karakterinin Monte Carlo Simülasyonu İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- [32] E.Martin, J. (2013). Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği: Sağlık Fiziği Uygulamalı, 7.6. (330-336).
- [33] Gülmen, M. (2011). Medikal Alanda Kullanılan Lif:Mg,Ti (TLD-100)'Nin Dozimetrik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- [34] Özdemir, İ. (2015). Temel Tıbbi (Radyolojik) Görüntüleme Tekniği. Hiperlink eğit. ilet. yay. san. tic. ve ltd. sti.

- [35] Modern Fiziğin Kavramları. (n.d.). (n.p.): 3D Yayınevi 80-82.
- [36] Knoll, G. F. (2010). Radiation Detection And Measurement. John Wiley & Sons, Bölüm 2, 49-53.
- [37] Başıyigit, C., & Kaçar, A. (2009). Bazı Yapı Malzemelerinin Radyasyon Tutuculuk Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2), 307-310.
- [38] Arpaç, N. (2023). CoCrFeNiTiAlx Yüksek Entropili Alaşımların Radyasyon Zırhlama Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- [39] Schnohr, C. S., & Ridgway, M. C. (Eds.). (2015). X-Ray Absorption Spectroscopy Of Semiconductors.
- [40] Das, A., Ferbel, T. (2005). Introduction To Nuclear And Particle Physics, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd ,Singapore, 146-151.
- [41] Turhan, M. F. (2021). Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim İnhibitörlerinin Foton Etkileşim Parametrelerinin İncelenmesi. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(2), 1114-1126.
- [42] Karadoğan, Z. I., Özdemir, Y., & Kavaz, E. (2021). Ni Tabanlı Bazı Süperalaşımların Foton Etkileşim Özelliklerinin İncelenmesi. El-Cezeri, 8(2), 552-566.
- [43] Tüysüz, B., & Dizman, S. (2022). Bazı Seramiklerin Radyasyon Soğurma Kapasitelerinin Belirlenmesi. El-Cezeri, 9(2), 522-531.
- [44] İltuş, Y. (2019). Amorf Yapılı Malzemelerin Gama Ve Nötron Zırhlama Özelliklerinin Monte Carlo Metodu İle İncelenmesi, Yüksek Lisans.
- [45] Siengsanoh, K., Chaiphaksa, W., Rajaramakrishna, R., Cheewasukhanont, W., & Kaewkhao, J. (2019, September). Radiation shielding properties of BaO: WO₃: Na₂O: B₂O₃ glass system using WinXCom program in the range of 1 keV to 100 GeV: Theoretical calculation. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1259, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- [46] Doğan, G. S. (2020). Lithium-boro-tellurite glasses with ZnO additive: exposure buildup factors (EBF) and nuclear shielding properties. Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi, (18), 531-544.
- [47] Şengül, A. ZnO Katkılı Bazı Cam Örneklerinin Kütle Zayıflama Katsayılarının Monte Carlo ile Hesaplanması Monte Carlo Estimation of Mass Attenuation Coefficients of Some ZnO-doped Glass Samples.
- [48] Doğan, G. S. (2019). Effect of P₂O₅ Additive on Nuclear Radiation Shielding Behaviors of Lithium Aluminum Silicate (LAS) Glass System. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 530-538.
- [49] Allison, J., Amako, K., Apostolakis, J. E. A., Araujo, H. A. A. H., Dubois, P. A., Asai, M. A. A. M., ... & Yoshida, H. A. Y. H. (2006). Geant4 developments and applications. IEEE Transactions on nuclear science, 53(1), 270-278.
- [50] Arce, P., Lagares, J. I., Harkness, L., Desorgher, L., De Lorenzo, G., Abreu, Y., & Wang, Z. (2011, October). GAMOS: an easy and flexible way to use GEANT4. In 2011 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record (pp. 2230-2237). IEEE.

- [51] Hurtado, S., Garcia-León, M., & Garcia-Tenorio, R. (2004). GEANT4 code for simulation of a germanium gamma-ray detector and its application to efficiency calibration. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 518(3), 764-774.
- [52] Agostinelli, S., Allison, J., Amako, K. A., Apostolakis, J., Araujo, H., Arce, P., ... & Geant4 Collaboration. (2003). GEANT4—a simulation toolkit. *Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 506(3), 250-303.
- [53] Hançerlioğlu, A. (2006). Monte Carlo Simülasyon Metodu Ve Mcnp Kod Sistemi. *Kastamonu Education Journal*, 14(2), 545-556.
- [54] Diker, F., & Aslan, E. (2022). Monte Carlo Simülasyonu ve Zaman Serisi Yöntemlerine Göre Bir Üretim Firmasında Tahminleme. *Journal of Academic Value Studies*, 8(1), 26-36.
- [55] Özdemir, H. G., Demirkol, İ., Erkoyuncu, İ., Yılmaz, M., Kaçal, M. R., & Akman, F. (2022). Bazı Tungsten İçerikli Minerallerin Gama Zırhlama Özelliklerinin Geniş Enerji Aralığında İncelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(4), 2175-2187.
- [56] National Institute of Standards and Technology (NIST). (n.d.). About NIST. U.S. Department of Commerce. Retrieved August 17, 2024, from <https://www.nist.gov/about-nist>
- [57] <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>
- [58] Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K. B., & Levring, H. (2001). X-ray absorption in matter. *Reengineering XCOM. Radiation Physics and Chemistry*, 60(1-2), 23-24.
- [59] Belgin, E. E. (2022). Comparison Of Gamma Spectrometric Method And XCOM Method İn Calculating Mass Attenuation Coefficients Of Reinforced Polymeric Composite Materials. *Radiation Physics And Chemistry*, 193, 109960.
- [60] Aşkın, A., & Dal, M. (2020). Farklı Oranlardaki Eu₂O₃—Li₂O—TeO₂ Karışımlarının Gama Radyasyonu Yalıtım Özelliklerinin Geant4 Simülasyon Kodu Ve Winxcom Veri Yazılımı Kullanılarak Karakterizasyonu. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 204-215.
- [61] Şakar, E., Özpolat, Ö. F., Alım, B., Sayyed, M. I., & Kurudirek, M. (2020). Phy-X/PSD: Development Of A User Friendly Online Software For Calculation Of Parameters Relevant To Radiation Shielding And Dosimetry. *Radiation Physics And Chemistry*, 166, 108496.
- [62] Al-Hadeethi, Y., & Sayyed, M. I. (2020). A Comprehensive Study On The Effect Of Teo₂ On The Radiation Shielding Properties Of TeO₂—B₂O₃—Bi₂O₃—LiF—SrCl₂ Glass System Using Phy-X/PSD software. *Ceramics International*, 46(5), 6136-6140.
- [63] <https://phy-x.net/module/physics/shielding/>

- [64] Tekin, H. O., ALMisned, G., Rammah, Y. S., Ahmed, E. M., Ali, F. T., Baykal, D. S., ... & Ene, A. (2022). Transmission factors, mechanical, and gamma ray attenuation properties of barium-phosphate-tungsten glasses: Incorporation impact of WO₃. *Optik*, 267, 169643.
- [65] Al-Buriahi, M. S., Eke, C., Alomairy, S., Mutuwong, C., & Sfina, N. (2021). Micro-hardness and gamma-ray attenuation properties of lead iron phosphate glasses. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(10), 13906-13916.
- [66] Ahmed, M. R., Sekhar, K. C., Ahammed, S., Sathe, V., Alrowaili, Z. A., Amami, M., ... & Shareefuddin, M. (2022). Synthesis, physical, optical, structural and radiation shielding characterization of borate glasses: a focus on the role of SrO/Al₂O₃ substitution. *Ceramics International*, 48(2), 2124-2137.
- [67] Alzahrani, F. M. A., Basha, B., Hammoud, A., Tamam, N., Alsufyani, S. J., Kebaili, I., ... & Al-Buriahi, M. S. (2024). Gamma attenuation and nuclear shielding ability of TeO₂/Bi₂O₃/WO₃ glass system. *Radiation Physics and Chemistry*, 223, 111985.
- [68] Al-Buriahi, M. S. (2023). Radiation shielding performance of a borate-based glass system doped with bismuth oxide. *Radiation Physics and Chemistry*, 207, 110875.
- [69] Al-Buriahi, M. S., Abouhaswa, A. S., Tekin, H. O., Sriwunkum, C., El-Agawany, F. I., Nutaro, T., ... & Rammah, Y. S. (2020). Structure, optical, gamma-ray and neutron shielding properties of NiO doped B₂O₃–BaCO₃–Li₂O₃ glass systems. *Ceramics International*, 46(2), 1711-1721.
- [70] Al-Buriahi, M. S., Singh, V. P., Alalawi, A., Sriwunkum, C., & Tonguc, B. T. (2020). Mechanical features and radiation shielding properties of TeO₂–Ag₂O–WO₃ glasses. *Ceramics International*, 46(10), 15464-15472.
- [71] Al-Buriahi, M. S., Olarinoye, I. O., Alshahrani, B., Al-Baradi, A. M., Mutuwong, C., & Arslan, H. (2021). Optical and gamma-ray absorption features of newly developed P₂O₅–Ce₂O₃–La₂O₃ glass system. *Applied Physics A*, 127, 1-9.
- [72] Al-Buriahi, M. S., Eke, C., Alrowaili, Z. A., Al-Baradi, A. M., Kebaili, I., & Tonguc, B. T. (2022). Optical properties and radiation shielding performance of tellurite glasses containing Li₂O and MoO₃. *Optik*, 249, 168257.
- [73] Rammah, Y. S., Olarinoye, I. O., El-Agawany, F. I., & El-Adawy, A. (2020). The f-factor, neutron, gamma radiation and proton shielding competences of glasses with Pb or Pb/Bi heavy elements for nuclear protection applications. *Ceramics International*, 46(17), 27163-27174.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Lubaba ALJASSEM

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Taif Üniversitesi, Fen Bilimler Fakültesi, Fizik Bölümü
- **Yükseklisans** : 2024, Sakarya Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Aljassem L., Alburiahı M. S. A., Arslan H., Kemah E.(2024,17-20, Ekim)
Radiation Shielding Performance of Borate Glasses Containinig Na₂O, BaO, and WO₃: A Monte Carlo Study. *European Conferences 6th International Conference On Health, Engineering And Applied Sciences*, Belgrad, Sırbistan.