



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Yüksek Lisans Tezi

**AMORF YAPILI MALZEMELERİN GAMA VE NÖTRON
ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN MONTE CARLO METHODU İLE
İNCELENMESİ**

Yusuf Cenk İLTUŞ

Fizik Anabilim Dalı

Nükleer Fizik Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Lidya AMON SUSAM

II. DANIŞMAN

Doç. Dr. Hüseyin Ozan TEKİN

Aralık, 2019

İSTANBUL

Bu çalışma, 20.12.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Nükleer Fizik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

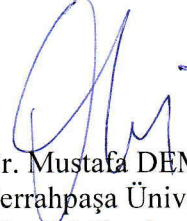
Tez Jürisi



Doç. Dr. Lidya AMON SUSAM(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi Gülfem SÜSOY DOĞAN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Mustafa DEMİR
İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi
Tıp Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım bana destek olan, rehberlik eden sevgili danışman hocam Doç. Dr. Lidya AMON SUSAM'a ve ikinci danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin Ozan TEKİN'e içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tezimin hazırlanma sürecinde bilgi ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Gülfem SÜSOY DOĞAN'a, yüksek lisans eğitimim süresince yardımlarıyla ve tavsiyeleriyle yanımda olan hocalarım Prof. Dr. Baki AKKUŞ, Prof. Dr. Rabia Burcu ÇAKIRLI MUTLU, Araş. Gör. Fatma Çağla AKINCI ve çalışma arkadaşım Yüksek Lisans öğrencisi Hasipcan AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında bana güvenen, maddi ve manevi desteğini ve sevgisini esirgemeyen, benim hayatta bu günlere gelmemde rolleri büyük olan canım aileme teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatta tek kaldığım anda elimden tutarak, gerekse yorulduğum gerekse sevindiğim, gerekse üzüldüğüm her anımda yanımda olan ve olmaktan vazgeçmeyen, bu günlere kadar getiren, benim için ANNE'den öte olan canım annem Saliha KARAKAŞ'a tezimi ithaf ederim.

Aralık, 2019

Yusuf Cenk İLTUŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. RADYASYON	5
2.2. RADYASYONUN MADDEYLE ETKİLEŞİMİ.....	11
2.2.1 Fotoelektrik Etki	14
2.2.2 Compton Saçılması.....	15
2.2.3 Çift oluşumu	17
2.3. RADYASYONUN ETKİLERİ.....	18
2.4. RADYASYONDAN KORUNMA YOLLARI.....	19
2.5. AMORF CAM MALZEMELER.....	21
2.6. NÜKLEER ÖZELLİKLER.....	23
2.6.1 Etkin Atom Numarası	23
2.6.2 Etkin Elektron Yoğunluğu.....	24
2.6.3 Kütle Zayıflatma Katsayısı.....	25
2.6.4 Yarılanma Değer Katmanı.....	26
2.6.5 Onda Değer Katmanı	26
2.6.6 Ortalama Serbest Yol	27
2.6.7 Foton Geçiş Faktörü	27
2.6.8 Makroskobik Etkili Çıkartma Tesir Kesiti	28
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	30
3.1. AMORF CAM MALZEMELER	30
3.2. ETKİN ATOM NUMARASI HESAPLAMALARI	31
3.3. ETKİN ELEKTRON YOĞUNLUĞU HESAPLAMALARI.....	32

3.4. GAMA FOTON GEÇİŞ FAKTÖRÜ HESAPLAMALARI	32
3.5. MAKROSKOBİK ETKİLİ ÇIKARMA TESİR KESİTİ HESAPLAMALARI.....	34
4. BULGULAR.....	36
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	58



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1: Atom ve Çekirdek Perspektifi.	7
Şekil 2: Alfa Bozunması.	8
Şekil 3: Beta Bozunması.	9
Şekil 4: Nötron Bozunması.	10
Şekil 5: X-Işınları ve Gama Işınlarının Etkileşim İlüstrasyonu.	10
Şekil 6: Elektromanyetik Spektrum.	11
Şekil 7: Belirli enerjide gelen fotonların Z atom numaralı maddeyle etkileşim spektrumu (Knoll, 2002).	14
Şekil 8: Fotoelektrik Etkinin İlüstrasyonu.	15
Şekil 9: Compton Saçılmasının Bir İlüstrasyonu.	16
Şekil 10: Çift oluşumunun İlüstrasyonu.	17
Şekil 11: İyonize Radyasyonun etkileşim karşılaştırması (Kalyon, 2019).	21
Şekil 12: Bir Amorf Cam Örneği.	23
Şekil 13: Etkin Atom Numarası Gösterimi.	24
Şekil 14: Etkin Elektron Yoğunluğu Gösterimi.	25
Şekil 15: Yarılama Değer Katmanının radyasyon etkileşimlerindeki bir gösterimi.	26
Şekil 16: Ortalama Serbest Yol'un malzeme içerisindeki basitleştirilmiş gösterimi.	27
Şekil 17: Nötronun çekirdekle çarpışma ve soğurulma sonucunun gösterimi.	28
Şekil 18: MCNP4C Koduyla üç boyutta simülasyon gösterimi.	33
Şekil 19: MCNP4C Simülasyonu iki boyutta foton etkileşim yolu.	34
Şekil 20: TZCNX Cam grubu için MAC Grafiği.	36
Şekil 21: ZX cam grubu için MAC Grafiği.	37
Şekil 22: BTCX Cam grubu için MAC Grafiği.	37

Şekil 23: TZCNX Cam Grubu için LAC Grafiği.....	38
Şekil 24: ZX cam grubu için LAC Grafiği.	39
Şekil 25: BTCX Cam grubu için LAC Grafiği.	39
Şekil 26: TZCNX cam grubu için HVL Grafiği.	40
Şekil 27: ZX Cam grubu için HVL Grafiği.	41
Şekil 28: BTCX Cam grubu için HVL Grafiği.....	41
Şekil 29: TZCNX cam grubu için TVL Grafiği.....	42
Şekil 30: ZX Cam grubu için TVL Grafiği.....	42
Şekil 31: BTCX Cam grubu için TVL Grafiği.....	43
Şekil 32: TZCNX cam grubu için mfp Grafiği.....	43
Şekil 33: ZX Cam grubu için mfp Grafiği.	44
Şekil 34: BTCX Cam grubu için mfp Grafiği.....	44
Şekil 35: TZCNX cam grubu için <i>Zeff</i> Grafiği.....	45
Şekil 36: ZX Cam grubu için <i>Zeff</i> Grafiği.....	45
Şekil 37: BTCX Cam grubu için <i>Zeff</i> Grafiği.	46
Şekil 38: TZCNX cam grubu için <i>Neff</i> Grafiği.....	46
Şekil 39: ZX Cam grubu için <i>Neff</i> Grafiği.	47
Şekil 40: BTCX Cam grubu için <i>Neff</i> Grafiği.....	47
Şekil 41: TZCNX cam grubu için TF Grafiği.....	48
Şekil 42: ZX Cam grubu için TF Grafiği.	49
Şekil 43: BTCX Cam grubu için TF Grafiği.....	49
Şekil 44: Camların Makroskobik Etkili Çıkarma Tesir Kesiti değerleri, bar üstü bilgiler yoğunluk(g/cm^3) bilgisini göstermektedir.....	50

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1: TZCNX Amorf Cam Grubu (Elkhoshkhany, Essam, & Embaby, 2018).....	30
Tablo 2: ZX Amorf Cam Grubu (Gui, ve diğçerleri, 2019).	31
Tablo 3: BTCX Amorf Cam Grubu (Madheshiya, Gautam, & Upadhyay, 2018).	31



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
α	: Alfa Parçacığı
β	: Beta Parçacığı
γ	: Gama Işını
Z	: Proton Numarası
N	: Çekirdekdeki Nötron Sayısı
A	: Kütle Numarası
n	: Nötron
m	: kütle
λ	: Dalgaboyu
p	: Proton
β^-	: Beta -
β^+	: Beta +
e^-	: Elektron
e^+	: Pozitron
Z_{eff}	: Etkin Atom Numarası
N_{eff}	: Etkin Elektron Yoğunluğu
Σ_R	: Makroskobik Etkili Çıkarma Tesir Kesiti :
ΔX	: Radyasyon pozundaki değişim
Δt	: Radyasyon dozuna maruz kalınan süre
eV	: Elektronvolt
I_0	: Kaynaktan gelen radyasyon şiddeti
I	: Engel tarafından zayıflatılmış radyasyon şiddeti
μ	: Toplam doğrusal zayıflatma katsayısı
τ	: Fotoelektrik olay kısmi zayıflatma katsayısı
σ	: Compton saçılması kısmi zayıflatma katsayısı
κ	: Çift oluşumu olayı kısmi zayıflatma katsayısı
m_e	: Elektronun durgun haldeki kütlesi
c	: Işık hızı
N_0	: Başlangıçtaki çekirdek sayısı

λ	: Bir radyoaktif elementin birim zamandaki bozunma katsayısı
$\bar{\nu}_e$: Anti-Elektron Nötrinosu
ν_e	: Elektron Nötrinosu
MeV	: Mega Elektronvolt
H	: Hidrojenin simgesi
O	: Oksijenin simgesi
B	: Borun simgesi
Bi	: Bizmutun simgesi
Pb	: Kurşunun simgesi
Si	: Silisyumun simgesi
Al	: Alüminyum simgesi
Ti	: Titanyum simgesi
Te	: Tellür simgesi
Zn	: Çinkonun simgesi
Mg	: Magnezyumun simgesi
Na	: Sodyumun simgesi
Ca	: Kalsiyumun simgesi
Ce	: Seryumun simgesi
ρ	: Yoğunluk
t	: Zaman

Kısaltmalar

Açıklama

Kütle Zayıflatma Katsayısı	: MAC
Doğrusal Zayıflatma Katsayısı	: LAC
Ortalama Serbest Yol	: mfp
Yarılanma Değer Katmanı	: HVL
Onda Değer Katmanı	: TVL
Foton Geçiş Faktörü	: TF
Türkiye Atom Enerji Kurumu	: TAEK
International Commission on Radiological Protection	: ICRP
As Low As Reasonably Achievable	: ALARA
World Health Organization	: WHO
Radyasyondan Korunma Ulusal Konsey	: NCRP

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AMORF YAPILI MALZEMELERİN GAMA VE NÖTRON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN MONTE CARLO METHODU İLE İNCELENMESİ

Yusuf Cenk İLTUŞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Lidya AMON SUSAM

II. Danışman : Doç. Dr. Hüseyin Ozan TEKİN

Yakın zamanlarda radyasyon alanındaki uygulamalar ve çalışmalar, insanları radyasyonla daha iç içe bir duruma getirmiştir. Radyasyondan korunmak için kurşun, beton gibi malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu yaygınlaşmanın yanı sıra daha ekonomik, kullanışlı ve zararsız malzemelerin geliştirilmesi ve kullanılması önemli hale gelmektedir. Bu yüksek lisans çalışmasında üç farklı kimyasal yapıya sahip amorf cam malzeme grubunun gama ve nötron zayıflatma özellikleri araştırılmıştır. Gama ışınlarını zayıflatma parametreleri Kütle Zayıflatma Katsayısı (μ/ρ), Doğrusal Zayıflatma Katsayısı (μ), Yarılanma Değer Katmanı (HVL), Onda Değer Katmanı (TVL), Ortalama Serbest Yol (mfp), Etkin Atom Numarası (Z_{eff}), Etkin Elektron yoğunluğu (N_{eff}) ve Foton Geçiş Faktörü (TF) olarak yer almaktadır. Nötron zayıflatma parametresi olarak, Makroskopik Etkili Çıkarma Tesir Kesiti (Σ_R) hesaplanmıştır. Foton Geçiş Faktörü(TF) MCNP4C Monte Carlo kodu ile hesaplanmıştır. İncelenen TZCNX, ZX ve BTCX amorf cam malzeme grubunda, kendi grupları arasında TZCN20, Z20 ve PTC1.0 en iyi gama ve nötron zayıflatma özelliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Aralık 2019, 71 sayfa.

Anahtar kelimeler: Radyasyon, foton, zayıflatma, monte carlo, gama, nötron, zırlama, ışın, alara

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF GAMMA AND NEUTRON SHIELDING PROPERTIES OF AMORPHOUS MATERIALS BY MONTE CARLO METHOD

Yusuf Cenk İLTUŞ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Lidya AMON SUSAM

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Ozan TEKİN

Recently, applications and studies in the field of radiation have made people more intertwined with radiation. The use of materials such as lead and concrete to protect against radiation has become widespread. In addition to this spread, it becomes important to develop and use more economical, useful and harmless materials. In this study, gamma and neutron attenuation properties of amorphous glass group having three different chemical structures were investigated. Gamma rays attenuation parameters Mass Attenuation Coefficient (μ / ρ), Linear Attenuation Coefficient (μ), Half-Value Layer (HVL), Tenth Value Layer (TVL), Mean Free Path (mfp), Effective Atomic Number (Z_{eff}), Effective Electron density (N_{eff}) and Photon Transmission Factor (TF). Macroscopic Effective Removal Cross Section (Σ_R) was calculated as the neutron attenuation parameter. Photon Transmission Factor (TF) was calculated by MCNP4C Monte Carlo code. It was observed that TZCN20, Z20 and PTC1.0 had the best gamma and neutron attenuation properties in the amorphous glass material group of TZCNX, ZX and BTCX.

December 2019, 71 pages.

Keywords: Radiation, photon, attenuation, monte carlo, gamma, nötron, shielding, ray, alara

1. GİRİŞ

İnsanlar doğayı ve bu sayede sahip olduğu karmaşık yapıyı anlayabilmek için fizik ile ilgilenmiştir. Bu ilginin sonrasında belirli sayıda fizik alt birimleri ortaya çıkmıştır. Her biri doğanın farklı yapısını anlamaya çalışmasıyla birlikte bu birimler teknoloji ile insanlığın gelişimini de beraberinde getirmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle fizik daha geniş bir perspektife sahip olmuş ve doğayı anlaşılır kılmıştır. Bu ilerleyiş, doğanın ve doğadaki canlıların yapıtaşları hakkında sonuçlara götürmüştür. Bu aşamada deneysel ve teorik çalışmalara öncülük eden atom'un keşfi (J.J. Thompson tarafından) sonrasında ise çekirdek modelinin keşfi (Rutherford tarafından) ile çekirdek ve nükleer fiziğe kapılar açılmıştır. Böylelikle atomun yapısının çekirdek ve etrafındaki elektrondan oluştuğu, çekirdeğin ise toplam yükü nötr olan nötron ve pozitif yüklü protondan oluştuğu ortaya çıkmıştır. Bu keşif sırasında Rutherford kullandığı yöntem içerisinde alfa parçacıkları (α) adı verilen ağır iyonlar kullanılmış ve β parçacıklarını parçacık radyasyonu olmak üzere keşfetmiştir. Aynı zamanda Wilhelm Conrad Roentgen'in keşfettiği x ışınları ve Villard'ın keşfettiği gama (γ) ışınları ile radyasyonun keşfi tamamlanmıştır. Bunlara paralel olarak keşfe ışık tutan elementlerin aynı yapıdaki farklı çekirdek özelliği barındıran diğer formlarına izotop ve bu formların radyasyon olarak nötron, proton, elektron, x ışını veya γ ışını olarak yayın yapan atom hallerine radyoizotop adı verilerek bu izotoplar üzerinden nükleer ve çekirdek fiziğine katkılar (Becquerel ve Curie) sağlanmıştır. Bazı elementler kararsız haldedirler, bu kararsızlıktan kararlı hale gelebilmek için radyasyon yayınlırlar. Kararsızlık yapı ve elementlerin doğal radyo aktifliğiyle ilgili çalışmalar Curie tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, radyasyonun doğal ve yapay olmak üzere iki çeşidi olduğu doğrulanmıştır. Yapılan çalışmalarla doğal radyasyonun iki kaynağı olduğu gözlenmiştir. Bunlardan biri Güneş, uzay, atmosfer gibi kozmik radyasyonlar ve diğeri de yer kürenin zamanla etkileşimiyle toprakta oluşan radyoizotopların kararlı hale gelmek üzere yaydığı radyasyonlardır. Yapay radyasyon kaynakları ise sağlık, haberleşme, güvenlik, nükleer enerji, araştırma gibi alanlarda kullanılmak üzere kararlı element veya izotopların enerji verilerek kararsız hale getirilmesiyle elde edilen kaynaklardır. Radyasyon iyonize eden ve etmeyen olarak iki çeşide ayrılmıştır. Maxwell 'in fotonu elektromanyetik dalga olarak betimlemesinden sonra ışıkların görünür ve görünmeyen bölge olarak ayrılmasıyla ışın içine giren elektromanyetik spektruma göre radyasyonun elektromanyetik spektruma göre iki etkisi

vardır. Gelen radyasyonun frekansı arttıkça etkileşim girdiği atomdaki elektronları iyonize etme özelliğine sahip olmaktadır. Böylece frekansı artan fotonun enerjisi de artmaktadır. Frekansı artan fotonların enerjisiyle birlikte atomlarla etkileşim kuvveti de artacağı için iyonize eden bölgeler γ ışını ve x ışını bölgesidir. Bunun nedenlerinden birisi de fotonların dalga boyu özelliklerinin atomdan daha küçük olan elektron boyutunda olmasıdır. Bir atomun fotonla etkileşime girerek iyonize olması madde, gaz, sıvı, katı, hava, su, hücre, doku ve organ gibi tüm yapıların etkileşimine kadar uzanabilmektedir. Tüm bu fotonların bahsini geçirirken hepsinin radyasyon olduğu ve maddelerin radyasyona maruz kaldığındaki etkileşimleri açıklanmıştır. Heinrich Rudolf Hertz, 1887 yılında yaptığı Fotoelektrik Etki deneyi ile ortaya çıkardığı bulgular düşük enerjili radyasyonun maddeyle etkileşimin temellerini oluşturmuştur. Arthur Holly Compton ise x-ışınlarıyla çalışırken 1922 yılında x-ışınlarının elektronlardan saçılmasıyla, fotonların Compton Saçılmasını bularak radyasyonun maddeyle etkileşimine büyük katkıda bulunmuştur. Radyasyonun maddeyle etkileşim spektrumunda enerjinin yükselmesiyle fotoelektrik etkinin ve Compton saçılmasının çok az görülmesi üzerine öne sürülen etkileşim elektronun enerji ve momentum korunumu yasalarına göre aynı şekilde Dirac'ın 1928'de öne sürdüğü anti elektron yani pozitron (β parçacığı) ile elektron etkileşimiyle yayılan 0.511 MeV'lik iki gama ışının ortaya çıkmasıyla çift oluşumu olmuştur. Böylece radyasyonun maddeyle etkileşimi 3 temel şekilde betimlenmiştir.

Radyasyon, günümüz koşullarında yiyecektekilerden haberleşmeye kadar çoğu günlük alanda kullanılmaktadır. Foton kavramıyla dalga parçacık ilişkisinin genişletilmesi sonucu elektromanyetik dalga özelliğine sahip fotonun her dalgaboyu ve frekans aralığı için elektromanyetik spektrum hazırlanmıştır. Elektromanyetik spektrumda dalgaboyu küçüldükçe fotonun enerjisi artar ve radyasyondan diyebileceğimiz yüksek enerjilerde herhangi bir atomdan elektron hatta çekirdektekilerden bir parça koparabilecek özelliğe ulaşmaktadır. Bu koparma özelliğine foton için iyonize radyasyon adı verilmiştir. İyonize radyasyon maddenin yapısını değiştirebilecek bir formda olmasıyla birlikte canlılara da bu denli zarar verebilir haldedir. Radyasyonun madde ile etkileşiminden dahası, radyasyonun canlılar üzerindeki etkisinden bahsi söz konusu olmaktadır. Radyoaktiviteyi keşfeden Curie, radyoaktivite birimi alırken, aynı zamanda buna benzer keşfi sağlayan Becquerel de saniye başı bozunma birimi olarak literatürde yer almıştır. Bu birimler ve keşifler kaynak bazlı ölçümler ve sonuçlardır, canlı ve insan hayatına olan önemini ve sonuçlarını anlayabilmek için bu radyasyon kaynaklarından çevreye veya biyolojik olarak etrafa verdiği zararı ölçmek üzere birçok işlem ve birim ortaya çıkmıştır.

Radyasyonun maddeyle etkileşiminde maddenin yapısındaki atomların gelen fotonun enerjisini soğurması sebebiyle radyasyonun soğurma dozu veya etkili doz veya maruz kalma olarak rad, rem veya röntgen (R) birimi verilmiştir. Bu soğurulan dozun çevresel veya biyolojik faktörlere göre verdiği hasar dozu olarak da Sievert (Si) veya Gray (Gy) birimleri kullanılmıştır. Radyasyonun canlılara verdiği zararı önlemek veya azaltmak üzere Dünya Sağlık Örgütü (WHO-World Health Organization) tarafından başlangıçta bir fenomenolojik kriter olan ALARA (As Low As Reasonably Achieve) Prensipte ortaya çıkmıştır. ALARA Prensibine göre radyasyondan en düşük zararı alabilmek için üç etken vardır, bunlar kaynaktan çıkan radyasyona maruz kalınan süre, kaynak ile hedef arasındaki mesafe ve zırlamadır. Radyasyon kaynaktan yayınlanırken ortama yayılan enerjinin zamana bağlı olarak soğurmaktadır ve bu süre maruz kalma süresidir. Radyasyon kaynağı ve hedef arasındaki mesafe aşağıdaki bağlantıyla ilişkili olup Ters Kare Yasası olarak bahsedilmektedir.

Zırlama ise radyasyonun maddeyle etkileşimini esas alarak tasarlanan Beer-Lambert tarafından deneysel olarak formüle edilmiş parametreler bütünüdür. Zırlama konusunda malzemelerin radyasyona karşı zırlamalarını öğrenmek amacıyla aşağıdaki bağlantıdaki yasa bulunmuş olup bu yasa günümüzde hala daha geçerliliğini koruyarak kullanılmaktadır.

Sağlık, yemek ve enerji sektörü gibi alanlarda radyasyonla çalışmak kaçınılmazdır. Örneğin bir tomografi veya radyoloji için üretilen ışınlanmış izotoplardan oluşan ilaçlar yada enerji için nükleer santral senaryolarında radyasyona maruz kalınan süre belirlidir. Bununla birlikte radyasyonun canlılar üzerinde belirli ve henüz net olarak saptanamamış belirsiz etkileri vardır. Belirli etkiler, sürenin çok etkisi olmadan yüksek radyasyona maruz kalınmasıyla ortaya çıkmaktadır. Belirli etkiler başlıca, yanık, kusma, baş dönmesi, saç dökülmesi gibi etkilerdir. Belirsiz olan etkiler ise, süre bazında mikroskobik boyutlarda verilen zararlılardır ve bunlara başlıca DNA bozulması devamında mutasyon, organ fonksiyonu kaybı ve kansere kadar gitmektedir. Bu kapsamda Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Radyasyondan Korunma Ulusal Konseyi (NCRP) gibi kurumlar bu duruma karşın araştırmaları da yer almaktadır.

Radyasyonun tek bir seferde alınmasıyla hücrelerin bu kadar enerjiyi soğurmasından ve zararı telafi etmesinden çok, sık sık ve azar azar alınması üzerine de ilgili araştırmalar yapılırsa da belirsiz etkilerin tahmini sonuçları yüksek ihtimalde ortaya çıkmaktadır. Değiştirilemeyen çalışma süreleri ve ilgili kaynak mesafelerinin dışında etkenimiz olan zırlama günlük kullanımlardan daha çok iş sahalarında karşımıza çıkabilmektedir. Floroskopi, gastorokopi,

MR, tomografi gibi sağlık alanlarında belirli çalışma enerjilerinde belirli elementlerden yapılmış zırların diğer elementlere göre daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Günümüzde bu elementlerin tek başına kullanımı üzerine ve mobil kullanım dezavantajlarından sıyrılmak üzere fizik ve diğer çalışma dallarının ortak çalışmaları sonucunda malzeme üzerine büyük ve önemli ölçüde gelişmeler olmuştur. Bu gelişmelerin bir kolu da nükleer enstrümanların üretimi ve radyasyon zırlamasında kullanımları olmuştur. Günümüzde α ve β parçacıkları, x-ışınları veya nüfuz özelliği yüksek olan γ ışınlarından korunmak üzere kullanılan kurşun duvarların yerine çok fazla enerji aralığında etkisi kanıtlanmış başka malzemelerin konulması istenilmektedir. Bunun temel sebeplerinden birisi kurşunların doğal olarak insan hayatına sağlık açısından tehlikeye sebep olmaları ve ağırlık bakımından da kullanılması zor olmalarıdır.

Malzeme retim yöntemleri ve teknolojilerinin gelişmesiyle daha ucuza üretilbilir hale gelen birçok madde karışımları bulunmaktadır. Günümüzde kullanılan Silisyum Dioksit (SiO_2) bileşiğinden meydana gelen bardak dahi özel katkılar ile kırılmaz hale gelebilmekle birlikte seramik, metalik ve birçok katkıların kullanım alanları yaygınlaşmıştır. Bu alanlardan birisi de radyasyon korunma alanında kullanılan zırlama malzemeleridir. Daha ucuz ve az zahmetli yöntemlerden biri olarak katkılı cam kullanımı radyasyondan korunma alanında birkaç yıldır önemli ölçüde ilgi çekici bulunmuştur. Katkılı cam yapısı, birden fazla kristal ve katı yapıdaki atomik yörüngelerin dahil olmasıyla amorf bir form oluşturmaktadır.

Amorf cam hususunda, camların γ ışınlarının geçirgenliği veya geçiş özelliklerinin incelenmesi sonrasında element yapısından bağ oluşturarak meydana gelen bileşik formundan karmaşık bir amorf cam yapısının radyasyonu durdurma özelliklerinin maddesel olarak incelenmesi bu tez çalışması için önem arz etmektedir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. RADYASYON

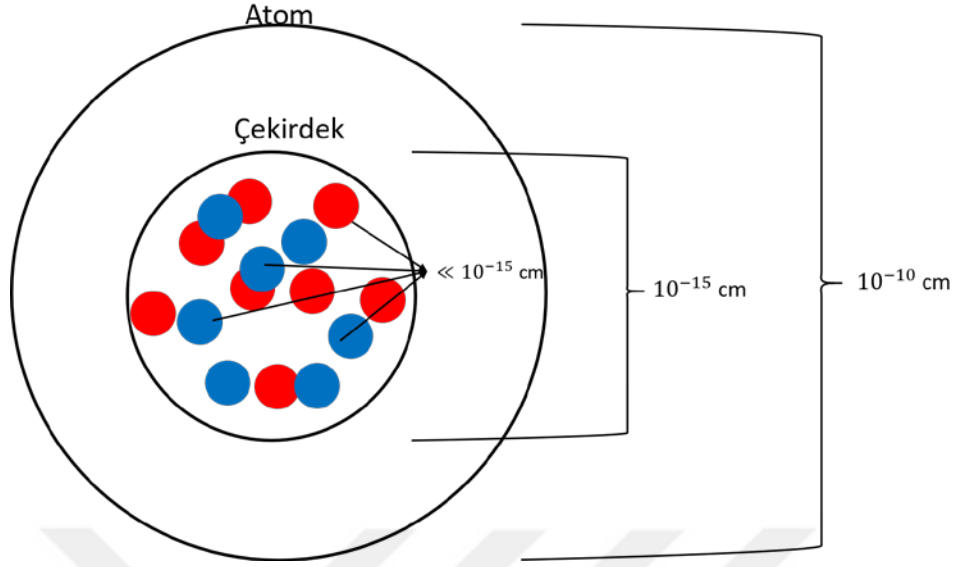
Canlıların içinde bulunduğu evren atomlardan ve onları alt yapılarından meydana gelmiştir. Radyasyon evrenin var oluşundan bu yana canlıların üzerinde etki ve var olan güneş sistemimizin çalışma yöntemi olarak yer alan bir enerji formudur. Doğadaki elementlerin bazıları birleşmeye bazıları da ayrılmaya yatkındır. Yatkınlığını gerçekleştirmek üzere gerekli radyasyonu aldığı takdirde birleşir veya ayrılarak başka elementleri oluşturmaktadır. Bu birleşme olayına füzyon ayrılma olayına ise fisyon adı verilmiştir. Güneşte sıklıkla füzyon olayı gerçekleştirilerek radyasyon yaymaktadır. Bu radyasyonlar başka etkileşimlerle dünya yüzeyine değişik frekans ve enerjilerde ışık ve ısı olarak gelmektedir. Aynı şekilde evrene yayılan radyasyonlar ve gezegenlerin korlarındaki etkileşimler sebebiyle devamlı bir radyasyon çevrimi olmaktadır. Güneş, kozmik aksiyonlar, yer kürenin etkisiyle oluşan topraktaki ve vücudumuzda bulunan radyoaktif elementler doğal radyasyon kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır. Teknolojinin yıllar boyu ilerlemesiyle birlikte radyasyonu tedavi ve araştırma yöntemleriyle kullanılmasıyla farklı şekilde radyasyon kaynakları üretilmiştir. İnsan yapımı veya dışarıdan etkilerle oluşturulan radyasyon kaynakları yapay radyasyon kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır.

Atomlar çekirdekten ve elektronlardan oluşmaktadır. Atomun yapısında bulunan çekirdekler yapısında protonları ve nötronları barındırmaktadır. Doğada çoğu atom ve element kararlı yapıdadır. Bu yapıdaki atomların çekirdeklerinin enerji seviyeleri da taban durumundadır. Protonlar yüklü parçacık olması sebebiyle birbiriyle Coloumb Etkileşimine girecektir. Çekirdek yapısında Coloumb Etkileşimi sınırı sebebiyle 82 protona yer verebilmektedir. Nötronlar ise yüksüz olması nedeniyle çekirdekte barınma sayısı daha fazladır. Güçlü çekirdek kuvveti sebebiyle çekirdekte 126 nötrona sahip olabilmektedir. Elementler, barındırdığı nötronlar ve protonlar bakımından çoğu kararlı yapıdadırlar. Doğada var olan ve yapay olarak elde edilen elementler ve izotop formlarının bulundurduğu nötronların protonları geçmesiyle birlikte yapısında bir kararsızlık meydana gelir. Öte yandan bunun dışında çekirdeğin yapısında çok fazla proton bulunması, Coloumb kuvveti sınırının üstüne çıkması durumunda çekirdeğin elektrik yükleri artarak protonların birbirlerini itmesine ve çekirdeği uyarılmaya başlamaktadır. Uyarılan çekirdek kararsız forma bürünür. Doğanın temel eğilimi olmak üzere kararlı hale

gelmek üzere çekirdek yapısından parçacık ve ışın yayınlamaya başlamaktadır. Kararsız yapıdaki atomlara veya elementlere radyoaktif sıfatı verilmektedir. Radyoaktif çekirdekler kararlı hale gelmek üzere radyasyon yayınlayarak enerjilerinin azalması veya yapılarının bölünmesi olayına radyoaktif bozunma denilmektedir. Radyoaktivite ile ilgili ilk bulgular x-ışınlarıyla başlamaktadır. W.Röntgen 1895 yılında Crook tüpünün içine yerleştirdiği parçaların elektriğini gözlemlemek üzere kurduğu deney düzeneğinde elektronların anoda ulaşmadığını ve tüpte ışıdamalar gözlemlemiştir. Bu ışıdamaları yani flüorasan'ı anlamak için siyah ince filmle sarması sonucunda bir noktasından ışıdamanın geçtiğini gördü. Deneyi çok kez tekrarlayarak bu yüzeylerden geçebilen bir ışın keşfetmiş oldu ve adına x-ışınlarını vermiştir. X-ışınlarının keşfinden sonra Henri Becquerel x-ışınları üretmek üzere uranyum tuzlarını kullanırken flüorasan'a tutmadan sardığı siyah filmde rastgele kararmalar görmesiyle 1896 yılında radyoaktiviteyi keşfetmiştir. Bu keşiften sonra Pierre Curie ve Marrie Curie Toryum'un aynı radyoaktif özelliğe sahip olduğunu keşfetti ve çalışmalarını ilerleterek radyoaktiviteyi keşfetmiştir (Gordon, 2019). Bu yasa istatistiksel bir davranış sergilemektedir ve başlangıçtaki çekirdek sayısı (N_0) olmak üzere zamana bağlı olarak bozunma sabiti (λ) ve zamana(t) bağlı denklem 2.1 ile verilmektedir

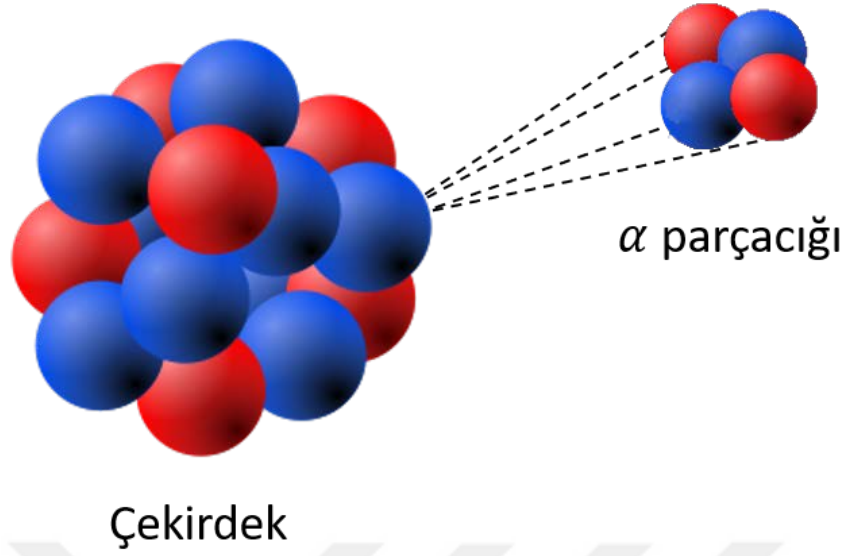
$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

Bu süreçte atomun yapısının anlaşılması üzerine çalışmalarını sürdüren Rutherford ve Thompson, radyoaktif elementlerden yayınlanan radyasyonun farklı türlerde olduğunu keşfederek bunlara alfa parçacığı ve beta parçacığı ismini vermiştir. Radyumdan radyasyon yayınlamasını inceleyen Paul Villard kütsüz bir etkileşimi gözlemleyerek gama ışını keşfetmiştir. Böylece parçacık ve elektromanyetik radyasyonun tanımlanmıştır. X ışınları atomun kendisiyle etkileşirken diğer radyasyon çeşitleri atom ve çekirdek içi etkileşme gerçekleştirmektedir. Atom ve çekirdek boyutlarının perspektifi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Atom ve Çekirdek Perspektifi.

Alfa Parçacığı, Ernest Rutherford tarafından 1903 yılında keşfedilmiştir (Krane, Alfa Bozunması, 1988). Keşif ilk alfa ışını olarak başlasa da elektrik ve manyetik alanda sapması ile parçacık olduğunu ve sonrasında radyum bozunmasından kütle yük oranını ölçerek parçacık olduğunu göstermiştir. İlerleyen çalışmalarda alfa ışınlarının havada 6,7 cm ilerleyebildiği görülmüştür. Aynı zamanda Rutherford alfa parçacığını atomu ve içeriğini öğrenmek amacıyla kullanmıştır. Alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan meydana gelmektedir. Radyum gibi elementlerden yayınlanarak ortamdaki havayı iyonize ederek helyuma dönüşebilmektedir. Ağır yüklü parçacık olması sebebiyle girişim kuvveti çok çok azdır. Proton ve Nötron sayısı yüksek yani ağır ve kararsız çekirdekler kararlı hale gelmek üzere yapısından alfa parçacığı yayarak alfa bozunumuna (Şekil 2) uğramaktadırlar.

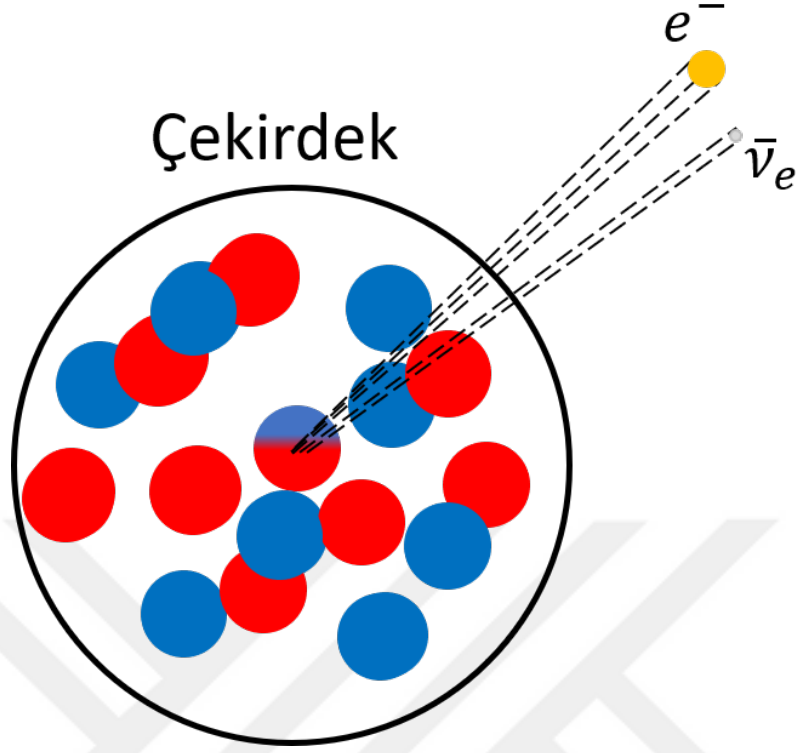


Şekil 2: Alfa Bozunması.

β parçacığı, iki türde vardır ve ikisinin de betimlemesi önemlidir. İlk β^- parçacığı (pozitron) keşfiyle başlamaktadır. Radyoaktivitenin keşfinden önce 1896 yılında Rutherford tarafından aynı alfa parçacığı gibi keşfedilmiştir. Radyoaktif elementlerin β^- bozunmasından sonra ikinci parçacık olan β^+ parçacığı (elektron)'nın bozunması (Şekil 3) Joliot-Curie tarafından 1934 yılında gözlemlenmiştir. Pauli'nin nötrinoyu keşfiyle birlikte β^- parçacığının elektron ve β^+ parçacığının antisitesi olduğu belirlenmiştir (Lilley, 2001). Doğadaki en anlaşılabilir ve basit β^- bozunumu nötron tarafından gerçekleşmektedir. Bozunma işlemleri;

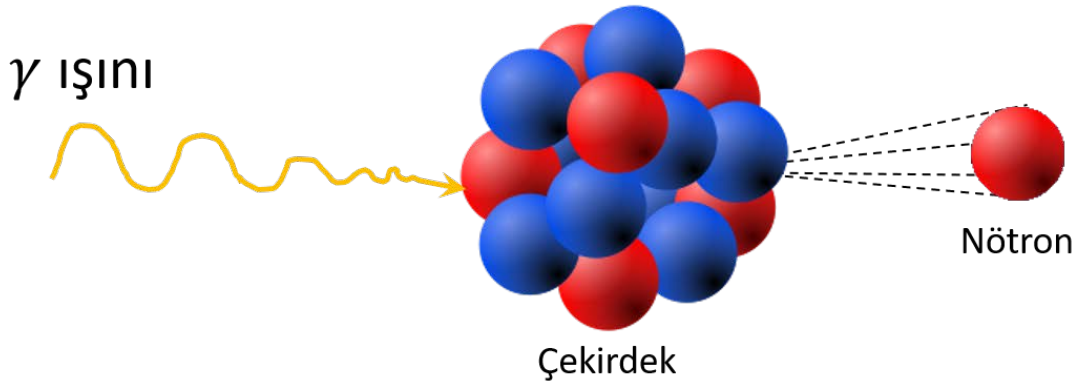


Genellikle uyarılmış veya kararsız çekirdeklerin kararlı hale gelmek için elektron yakalayarak yapısındaki bir protonu nötrona çevirmektedir.



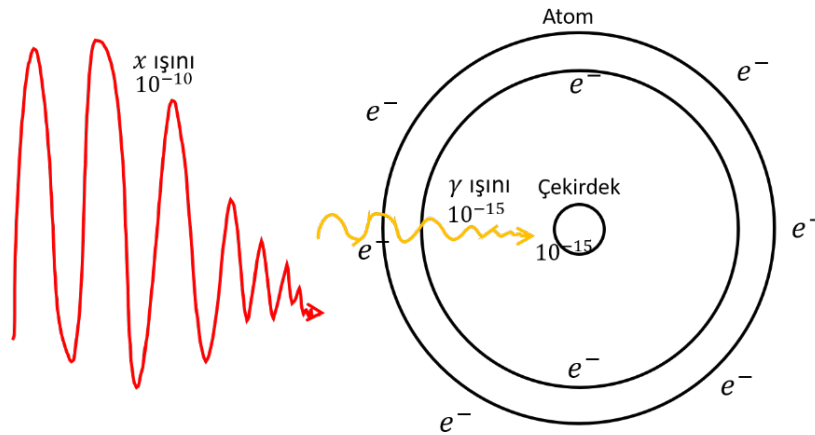
Şekil 3: Beta Bozunması.

Çekirdekten yüklü parçacık yayılmasının yanı sıra nötronun keşfi Chadwick tarafından 1928'de berilyum'u alfa parçacıklarıyla bombardıman ederek yayınlanan elektriksel olarak yüksüz bir radyasyon tespitini yorumlamasıyla gerçekleşmiştir (Krane, Nötron Fiziği, 1988). Nötron yapay radyasyon kaynaklarından elde edilmesi doğal radyasyon kaynaklarından elde edilmesine göre daha kolaydır. Nötron yapısı gereği doğada var olamazlar, yüksüz olması sebebiyle çekirdek kuvveti tarafından etkilenebilmektedir. Uyarılan kararlı yapıdaki bir çekirdek kararsız durumdayken bozunuma (Şekil 4) uğrayarak yapısından nötron yayınlamaya başka bir elemente dönüşebilir. Bununla birlikte parçacık olması sebebiyle direkt etkileşimle diğer parçacık radyasyonlar gibi moleküldeki atomları yörüngesindeki elektronları koparabilmektedir.



Şekil 4: Nötron Bozunması.

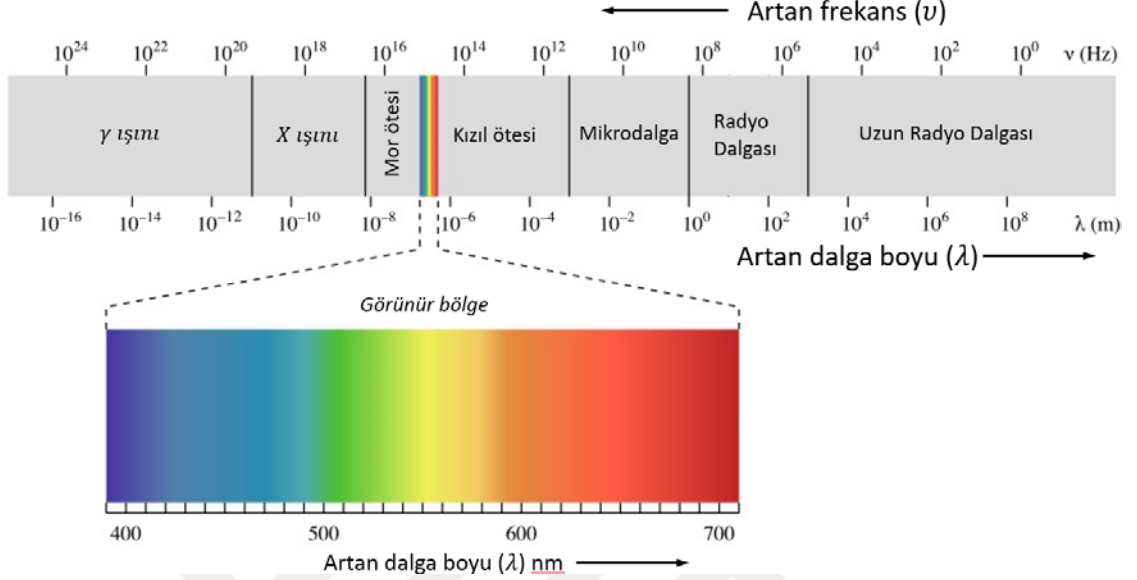
X-ışınları gibi foton olan gama ışınları Vilard'ın 1900 yılında radyumu incelerken keşfedilmiştir. Diğer radyasyonlara göre çekirdek mertebesinde yer alan gama ışınları, çoğunlukla çekirdekle ve atomun iç yapısıyla etkileşerek bozunuma sebep olabilmektedir. Diğer radyasyonlara göre ise gama ışınları durdurulamaz olarak betimlenmektedir (Muray & Holbert, 2015). Gama ışınlarıyla x ışınlarının tek ve nihai farkı x-ışınlarının atomdan gama ışınlarının ise çekirdek ve atom bünyesinden yayınlanmasıdır. Böylece iki ışınında boyut ve enerji olarak farkı tanımlanabilir ve karakterize hale gelmektedir. Gama ışınları birçok radyasyon etkileşiminde, çekirdek ve atom içinde (Şekil 5) rol oynamaktadır.



Şekil 5: X-İşinleri ve Gama Işınlarının Etkileşim İllüstrasyonu.

X-ışını ve Gama ışını gibi fotonun enerji taşınması üzerine kurulu olan ve elektromanyetik ışıma olarak geçen radyasyonlar temelde dalga boyu ve frekansa bağlıdır. Tüm ışınlar ve skalaya elektromanyetik spektrum denir. Artan foton frekansı veya azalan foton dalga boyu, ışınların

etkileyeceği bölgeyi ve enerjisini göstermektedir. Bu yüzden Şekil 6'ya göre gama ışınlarının nüfuz özelliği fazla ve çekirdeğin altyapısına dahi etki edebilmektedir.



Şekil 6: Elektromanyetik Spektrum.

Radyasyon, etkileştiği moleküllerin birbiriyle yaptığı bağları veya atomlarındaki çekirdeklerin yörüngesindeki elektronları veya yaptığı bağları koparabilmektedir. Radyasyonun bu özelliğine iyonizasyon denmektedir. Moleküller aralarında metalik, iyonik ve kovalent bağ (Chemical Bondings) yapmaktadır. Bu bağlar elementlerin özellikleriyle farklı değerler almaktadır. Değişik moleküllerin yapısı ve bağları gelen radyasyonun enerjisine göre bağları kopmaktadır. Bundan dahası radyasyonla çekirdeğin yörüngesindeki elektronlar hatta çekirdeğin yapısındaki nükleonlar sökülebilir. İyonizasyon özellikteki radyasyonu yüklü ve yüksüz olarak ikiye ayırabiliriz. Yüklü radyasyon, isminden de anlaşılacağı üzere yüklü parçacıkları kastederek alfa ve beta parçacığına değinir. Yüksüz radyasyon olarak da nötronu, x ışınları ve gama ışınlarından bahsedebiliriz. Yüklü radyasyon atom ve yapısını elektriksel kuvvet aracılığıyla değiştirebilmektedir. Yüksüz iyonize radyasyonda ise yüksüz parçacık radyasyonu olarak nötron ve yüksüz elektromanyetik radyasyon olarak x ışınları ve gama ışınlarına değinilir.

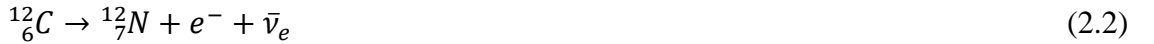
2.2. RADYASYONUN MADDEYLE ETKİLEŞİMİ

Faraday 1830 yılında yapmış olduğu iyon keşfi ile atomların yörüngesindeki elektronlara kadar bu temel parçacıkların iyonize olabileceği bir kesindir. Radyasyonun iki formundan biri olan

iyonize eden radyasyonun etkileşim yolları ve şekilleri alfa ve beta parçacığı, nötron ve gama ışınlarının maddeyle etkileşim temelindeki prensip ve keşiflerde yer almaktadır. Atom bir hacimsel nitelik taşımaktadır ve radyasyon özellikle bahsedilirse, elektromanyetik radyasyonu oluşturan foton, elementlerle veya malzemelerle etkileşime geçerken belirli bir hacim veya yüzeyle etkileşerek bunu gerçekleştirir. Bu etkileşimi belirleyen elementin veya malzemenin tesir kesitidir. Bir malzemenin foton veya radyasyonla etkileşimini her etkileşim için o elemente özgü tesir kesitleriyle anlamaktayız.

Alfa parçacıklar temelde hızlanmış yani enerjik helyum çekirdeğidir, yapısına bakıldığında 2 nötron ve 2 proton içermektedir. Bir maddeyle etkileşimi söz konusu olduğunda çift yüklü olması (elektromanyetik kuvvet baskın), ağır olması ve havada çok fazla yol alamaması sebebiyle etkileştiği süreçte tüm enerjisini aktarır ve aktardığı atomları iyonize etmektedir. Bu iyonizasyon, sahip olduğu protonlar sayesinde yolu üzerindeki atomların yörüngelerinde bulunan elektronları Coloumb Kuvveti etkisinde çekerek bağlarını koparmasıyla gerçekleşmektedir.

β^- parçacığı, elektronun anti parçacığı olan pozitrondur. Yükü elektronun negatiftir bu yüzden kinetik enerjisi olmadığında veya serbest elektron gördüğü taktirde etkileşime girebilir. Bundan önce genellikle çekirdeği nötron bakımından protona göre fazla olan çekirdeklerde beta bozunması aşağıdaki gibi olmaktadır;



Örnekteki β^- bozunması olsa da β^+ yani elektron bozunması da mevcuttur. Alfa parçacıklarına göre daha az yüklü ve kütleli olan pozitronlar, madde ile etkileşimi daha görecelidir. Pozitron veya β^- parçacığıyla ilgili diğer bir etki ise Carl D. Anderson 1932 yılında gözlemlenmiştir. Gözlem sonucunda pozitron-elektron birbirine çekilerek zıt yönde 2 tane pozitron elektron enerjisinde gama ışını ortaya çıkararak pozitron yokoluşumu (çift oluşumu) gerçekleştirmiştir.

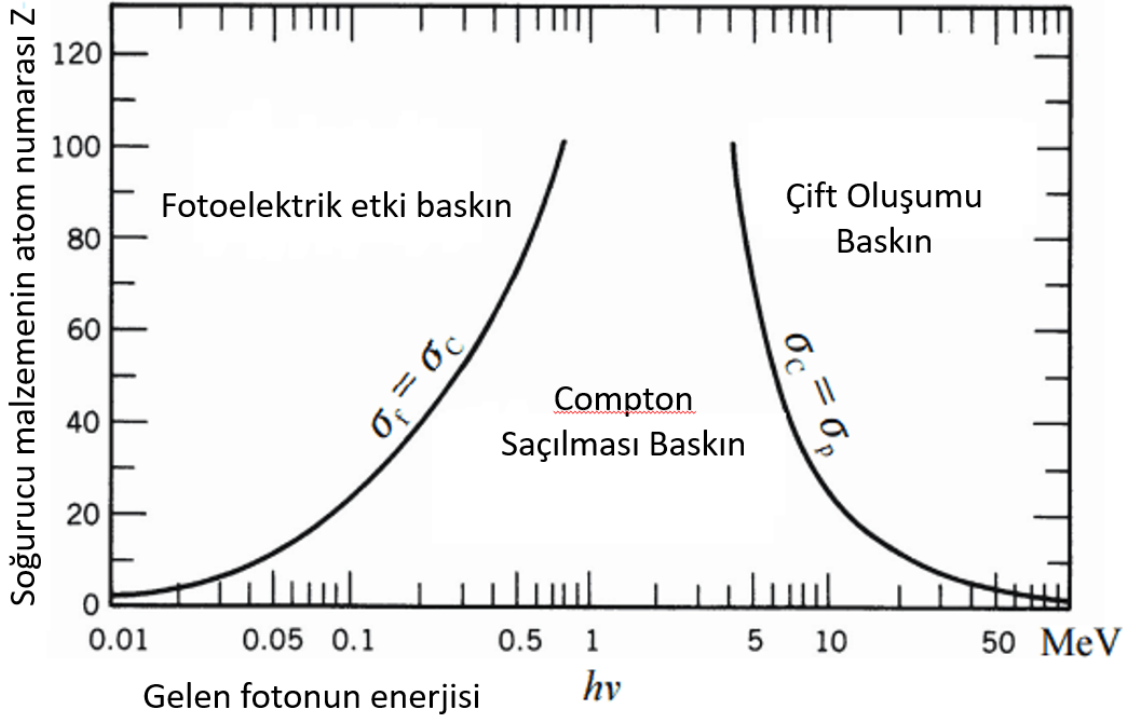
Nötron, yüksüz çekirdeği oluşturan bir parçacıktır (IAEA, 1998). Doğal radyasyon kaynaklarında yayınlanması çok güçtür. Bir atomun çekirdeğini uyararak kararlı hale gelmek üzere yapısından yayınlandığı görülmektedir. Bu sebeple nötronlar çoğunlukla yapay radyasyon kaynakları tarafından yayınlanmaktadır. Yüksüz olması sebebiyle atom ve barındırdığı parçacıklar bakımından elektromanyetik etki altında kalmadan atom içerisindeki

hareketi diğer parçacıklara göre rahat olabilmektedir. Bununla birlikte bir çekirdeğin alt boyutlarında olan nötron, buna bağlı olarak atomla değil atom çekirdeğiyle etkileşime girmesi daha olası bir durumdur. Çekirdek barındırdığı kuvvetler aracılığıyla gelen bir nötronla etkileşime girebilmektedir. Etkileşimde nötron çekirdeğin belli bir kısmına dokunarak saçılmaktadır. Buna göre nötron elastik ve elastik olmayan saçılma olarak 2 şekilde etkileşim sağlamaktadır (AKKAŞ, 2015).

Hızlı nötronlar olarak bilinen yüksek enerjili nötronlar, maddenin çekirdekleriyle etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu mekanizmada çekirdekle elastik saçılma yapan nötron kinetik enerjisini çekirdeğe aktararak yoluna devam etmektedir. Bu etkileşimi madde içerisinde gerçekleştirerek yavaş nötronlar haline almaktadır. Temel elastik yasasına göre nötronun enerji aktarma oranı etkileştiği çekirdeklerin kütlesiyle orantılıdır.

Elastik olmayan saçılmada nötron etkileştiği çekirdeğin yapısını farklı boyutlara taşıyabilmektedir. Elastik olmayan saçılmalarda, elastik saçılmalardaki gibi kütleye göre bir paylaşım olmaması sebebiyle enerjileri oranlı paylaşım söz konusu değildir. Bu sebeple elastik olmayan saçılma yapacak nötron çekirdeği kararlı halinden bir üst uyarılmış enerji seviyesine çıkartabilir.

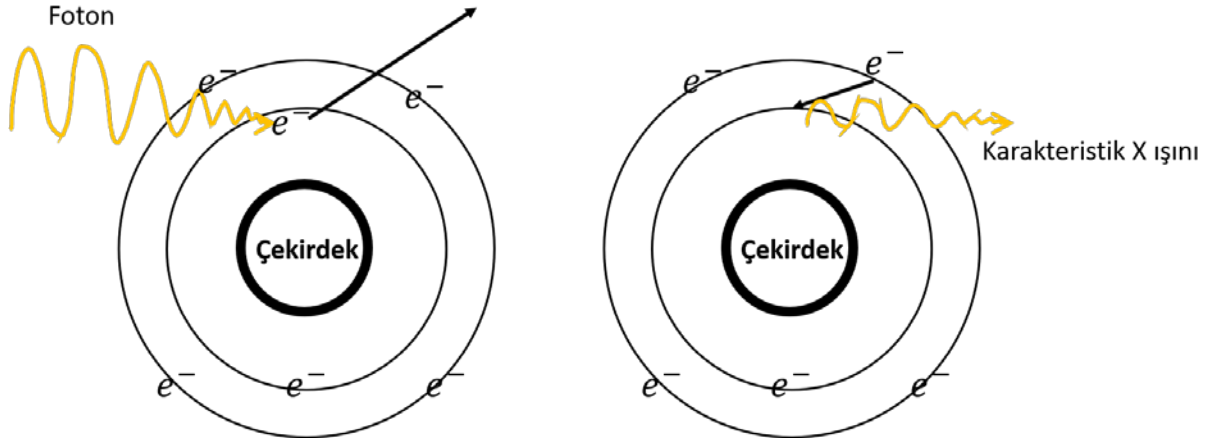
X ışını ve gama ışınlarının maddeyle etkileşimi kütsüz ve saf enerji formunda olması sebebiyle parçacık radyasyonundan farklıdır. İki levha arasındaki parlamaların Hertz tarafından gözlemlenmesi ve Einstein'in fotonun enerjisini matematiksel ifadesi etmesi sonucunda ilk etkileşim olan fotoelektrik etkinin sonrasında Comptonun daha üst enerjilerle katot ışın tüplerinde bulunduğu Compton saçılmasıyla ve çok yüksek enerjilerde etkileşimini çekirdek bazına taşıyarak çift oluşumu şeklinde radyasyonun maddeyle etkileştiği gözlemlenmiştir. Bu etkileşimlerin hepsi ilgili madde gruplarının proton sayılarına ve ilgili fotonun enerjisine göre baskınlığı (Şekil 7) söz konusudur. Gama ışınlarının radyasyon olarak maddeyle etkileşimini üç ana olayda açıklarız:



Şekil 7: Belirli enerjide gelen fotonların Z atom numaralı maddeyle etkileşim spektrumu (Knoll, 2002).

2.2.1 Fotoelektrik Etki

Enerjisi düşük bir seviyede olan x ışını veya gama ışını dediğimiz fotonun maddeyle etkileştiği takdirde o maddenin atomlarının iç yörüngelerinde bulunan elektronları bulunduğu atomla yapmış olduğu elektromanyetik bağı kırarak serbest hale getirmesidir. Bunun sonucunda yörüngece bir boşluk oluşur ve üst yörüngedeki bir elektron daha kararlı hale gelebilmek üzere alt yörüngeye yerleşir. Yüksek enerjiden alt enerji seviyesine inen elektron bu süreçte (Şekil 8) bir foton yayınlar. Bu foton genellikle x ışını olmaktadır ve o atomun yarı çapı, elektron ve yörünge dizilimleri gibi elementsel özelliklerine bağlı olarak atomdan yayınlanmaktadır. Gerçekleşen olay neticesinde atomun özelliklerine dair bilgi sahip olmasından ve enerjisine kasıt olarak karakteristik x ışını denilmiştir.



Şekil 8: Fotoelektrik Etkinin İllüstrasyonu.

Bu olay içerisinde gelen foton komple atomun yörüngesindeki elektron tarafından soğurulur. Gelen fotonun enerjisi $h\nu$ olmak üzere çekirdeğin elektromanyetik bağı $E_{bağ}$ ve çıkan karakteristik x ışını veya fotonun enerjisi E_e ;

$$E_e = h\nu - E_{bağ} \quad (2.3)$$

İle gösterilmektedir. Ayrıca karakteristik x ışınları, çekirdeğin dış yörüngelerindeki herhangi bir elektronun bağımlı koparabilecek enerjide olduğu takdirde bu elektronları iyonize ederek auger elektronlar (iç elektron) oluşumunu tetiklemektedir. Fotoelektrik olayın makro boyutlardaki çıkartımları ve gerçekleşmesi eşitlik 2.4 verildiği üzere orana bağlıdır;

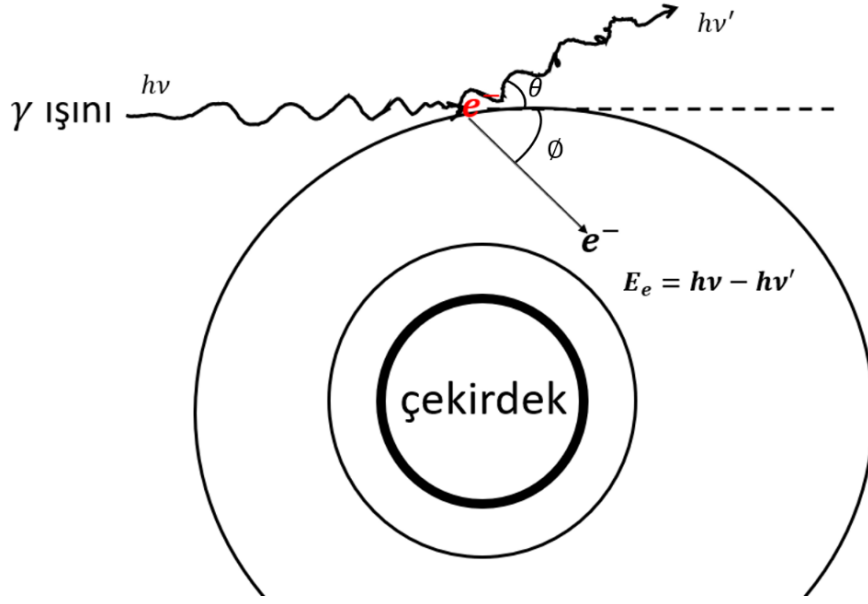
$$\tau \sim \text{sabit} \frac{Z^5}{E_e^3} \quad (2.4)$$

Burada, τ fotoelektrik olayın etkileşim katsayısı, Z etkileşimin gerçekleştiği maddenin atom numarası ve E_e ise soğurulan fotonun enerjisidir. Bu etkileşim katsayısı aynı zamanda bir element veya malzemenin etkileşim tesir kesiti bilgisidir. Bu da Şekil 7'de görüldüğü üzere maddenin yüksek proton sayısı ve gelen düşük fotonun enerjisiyle alakalı olduğunu göstermektedir (Martin, 2006).

2.2.2 Compton Saçılması

Fotoelektrik olaydan sonraki enerjilerde atomlarda gerçekleşen bir olaydır. Gelen fotonun atoma zayıf bağdaki dış yörüngelerde bulunan elektronlarına aktarır. Bu süreçte enerjisi artan elektron çekirdekle olan elektromanyetik bağı kopar ve enerjiye sahip bir şekilde iyonize olur.

Enerjisini aktaran foton yoluna (Şekil 9) farklı bir yönde ve enerjide ilerler. Genelde baskın olduğu bölge 0,5-1 MeV enerji (Şekil 7) aralığındadır. Gelen fotonun enerjisi, saçılan fotonun enerjisi, koparılan elektronun enerjisi ve elektronun yörüngedeki bağlanma enerjileri toplamına eşittir. Dış yörüngedeki elektronların bağlanma enerjileri çok düşüktür. Bu sebeple gelen fotonun enerjisi daima elektronun çekirdeğe elektromanyetik kuvvetle bağlanma enerjisinden daha büyüktür ve kolayca iyonize edebilmektedir.



Şekil 9: Compton Saçılmasının Bir İllüstrasyonu.

Bu olay dokuların radyasyonla etkileşim üzerinde sıklıkla görülmektedir (Altunsoy, 2018) Temelinde fiziksel saçılma yasalarına göre bakıldığında saçılma olayı aşağıdaki şekilde gösterilebilir;

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta) = 0,024264(1 - \cos\theta)\text{Å} \quad (2.5)$$

Sıklıkla atomun dış yörüngelerindeki elektronlarla fotonun etkileşime girmesi sadece bir olayla bitmez, eğer fazla atom numarasına yani dış yörüngelerinde fazlaca elektrona sahip atomlar varsa gelen foton devamlı saçılarak enerjisini sürekli şekilde aktararak kaybeder. Atoma gelen fotonun compton saçılması gerçekleştirme oranı gösteren bağıntı ise;

$$\sigma \sim \text{sabit} \frac{Z}{E_e} \quad (2.6)$$

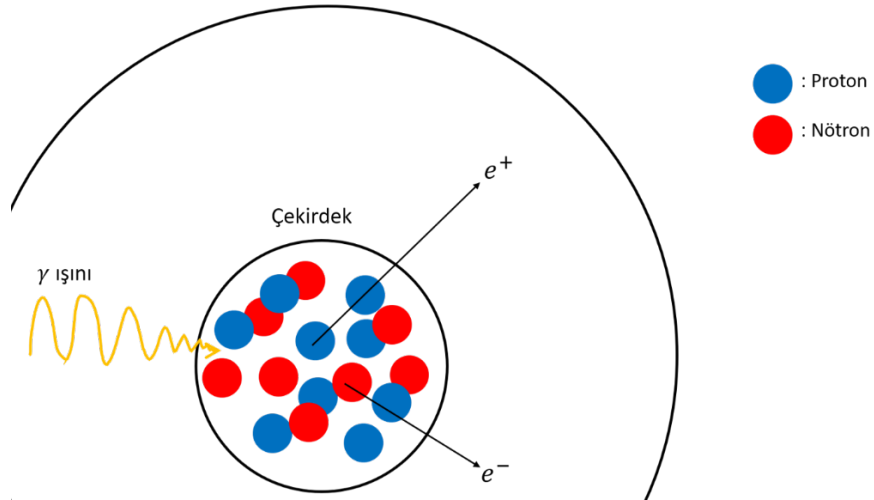
Burada, σ Compton Saçılmasının etkileşim katsayısı, Z etkileşimin gerçekleştiği maddenin atom numarası ve E_e etkileşen fotonun soğurulan enerjisidir. σ aynı zamanda elementin veya malzemenin tesir kesiti bilgisini verir. Böylece Şekil 7’de görüldüğü üzere geniş bir etkileşim aralığına sahip olmaktadır (Martin, 2006).

2.2.3 Çift oluşumu

Radyasyonun maddeyle etkileşiminde üçüncü prensibi olarak yer alan çift oluşumu, yüksek enerjilere çıkılması dahilinde ışık hızında ilerleyen fotonun frekans ve dalga boyu ilişkisini gösteren eşitlik 2.7 ‘ye göre artan enerjiyle dalgaboyunun küçülmesi ve atomdan daha küçük olan çekirdeğin radyasyonu ile etkileşimini tanımlamaktadır.

$$c = v \lambda \quad (2.7)$$

Burada, c fotonun hızı yani ışık hızı, v fotonun frekansı ve λ fotonun dalga boyunu göstermektedir. Yüksek enerjide gelen foton çekirdeğin mertebesinde dalga boyuna sahip olmasıyla birlikte enerjisi çekirdeğin bünyesindeki parçacıklara enerjisini aktararak kararsız hale getirir. Bunun sonucunda fazla enerjiyi atmak üzere çekirdek bünyesindeki parçacıklar β^- ve β^+ bozunmasına (Şekil 10) uğrayarak çekirdekten dışarı yokoluşum kinematığına uyan 1,022 MeV enerjiyi paylaşması gereken elektron (e^-) ve pozitron (e^+) yayımlar.



Şekil 10: Çift oluşumunun ilüstrasyonu.

Gelen foton, sürekli olarak çekirdekteki parçacıklara kinetik enerji kazandırarak çift oluşumu gerçekleştirecektir. Yokoluşuma göre elektron ve pozitronun yani her birinin alacağı 0.522 MeV enerji sebebiyle çift oluşumunun etki katsayısı (κ) aynı zamanda etkileşim tesir kesiti,

eşitlik 2.8'e göre soğurulacak fotonun enerjisi E_e ve etkileşimdeki malzemenin atom numarası (Z) ile ilişkilidir.

$$\kappa \sim \text{sabit } Z^2 (E_e - 1.022) \quad (2.8)$$

Radyasyonun maddeyle etkileşimini üç temelde bahsedildikten sonra elementlerin bir araya gelerek oluşturduğu bileşik, molekül ve canlıları meydana getiren dokulardaki etkileşimi de bu temellere bağlı olacaktır. Bu yüzden bir foton dokularda yer alan atomların elektronlarını iyonize edebilir. İyonizasyon özelliği sebebiyle bu etkiler dokularda zarar oluşturabilir niteliktedir.

2.3. RADYASYONUN ETKİLERİ

Radyasyon saf enerji olarak elektromanyetik veya parçacık olarak yayılmaktadır. Bu enerji yoğunluğu bir dokuya çarptığında onların yapısındaki atomları iyonize edebilmektedir. İyonize etmediği takdirde bünyesinde fazla enerji bulduran atomlar kararsız bir durumda kalarak farklı bir davranışta bulunabilir. Radyasyonun keşfi ve neticesinde etkileşimlerinden sonra Sağlık Kuruluşları, Örn. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2019), Türkiye Atom ve Enerji Kurumu (TAEK, 2019) radyasyonun zararlı etkilerini belirlemek ve insan sağlığını korumak amacıyla araştırmışlardır.

Bir radyasyon kaynağından yayınlanan radyasyon süresince o ortamda bulunan bir kişi, o kaynaktan bir miktar radyasyon soğurur, soğurulan radyasyon enerjisini, absorbe doz olarak kullanılır ve birimi Gray (Gy)dir. Bu radyasyonun canlı dokularına verdiği zararlı radyasyon değerine Eşdeğer Doz olarak bahsedilir ve birimi Sievert'dir (Sv).

Radyasyonun iyonize eden veya etmeyen türlerinden çok maruz kalınması durumunda insan sağlığı üzerinde çeşitli etkileri olmuştur. Bu etkilerin bir kısmı kronolojik doz alınmasında ortaya çıkmaktadır bu sebeple belirli etkiler olarak (Choudhary S., 2018) isimlendirilmiştir. Belirli etkiler başlıca olarak yanık, kusma, baş dönmesi, saç dökülmesi, tırnak düşmesidir. Temelinde gelen radyasyonun çok yüksek enerjili bir halde maruz kalınması olsa da düşük seviyelerdeki radyasyonun süreli alınması, örn. Güneş altında bronzlaşma, aynı sonuçları tetikleyebilmekle birlikte uzun süreli radyasyona maruz kalınmasında sonucu kestirilemeyen insanların yaşama şekillerine bağlı olarak gelişen süreyle kıyaslanan belirsiz etkiler vardır ve

bu etkiler DNA bozulması, mutasyon, kanser gibi sonuçları oluşturabilmektedir (Stochastic Effects).

Günümüzde radyasyonla tedavi yöntemleri geliştirilmiş ve uygulanmaktadır. Bu tedavileri alan kişiler genellikle belirli etkilerin sonuçlarını görürken bu tedavileri uygulayan operatörler süreli olarak bu radyasyona maruz kalmaktadır. Bu durum bu tarz, reaktörde çalışan gibi yüksek dozdaki radyasyonla çalışacak kişilerin bir şekilde korunması gerektiğine götürür.

2.4. RADYASYONDAN KORUNMA YOLLARI

ICRP 26 (1977) yayını doğrultusunda, radyasyondan korunmak üzere ALARA (as low as reasonably achievable) prensibini yayınlamıştır. ALARA prensibine göre günümüz sosyal ve ekonomik kriterleri alınarak olabildiğince az radyasyon alınması ve bunun da üç etkene bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu etkenler ise radyasyon kaynağına maruz kaldığın süre, radyasyon kaynağıyla aradaki mesafe ve üzerindeki malzemelerin zırlamasıdır.

Radyasyonla çalışırken ki belirli süre boyunca radyasyona maruz kalındığında o enerjiyi bir süre soğurur ve buna doz denmektedir. Eşitlik 2.9'a göre zamanla alınan enerji radyasyon kaynağının radyoaktivitesiyle ilgilidir. X-ışınlarının keşfinden bu yana, radyasyona artan ilgi sonucundan insanlar o zamanlar etkilenmeye başlamıştır. Böylece radyasyonun biyolojik belirli etkileri gözlemlenmeye başlamıştır. Günümüzde radyasyonun bulunduğu ve radyasyon uygulamalarında görevli operatörler için bu süre kavramı tedaviye göre sınırlı kalabilmektedir.

$$\Delta X = I \frac{A}{d^2} \Delta t \quad (2.9)$$

Kaynaktan yayınlanan radyasyon hedefe veya kişiye gelebilmek için bir yol alması gereklidir. Bu yol süresince hava ile etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu sebeple kaynaktan ne kadar uzakta olunursa o kadar az radyasyon aldığı belirtilebilir. Bu durumu fizikte temel olan ve aşağıda bağıntısı verilen ters kare yasası işleyişine sahiptir;

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (2.10)$$

Burada I_1 başlangıçtaki şiddet, d_1 ilk konum, I_2 sonraki mesafedeki şiddeti, d_2 sonraki konumdur. Böylece radyasyona maruz kalan birisinin kritik dozun altında kalması için gereken mesafe elde edilmektedir.

Radyasyonun maddeyle etkileşimi sebebiyle, ortamdaki bir radyasyon kaynağından yayınlanan radyasyonun kişiyle arasında bulunan havayla ve diğer malzemelerle etkileşerek enerjisini kaybettiği, bazı atomların yapısından kaynaklı olarak radyasyonu çok az geçirdiği saptanmıştır. Bu atomların başlıcası kurşundur. Radyasyon tedavilerinde görev alan operatörler bu ilkeye göre değişmeyecek süre ve mesafe sebebiyle zırhlamaya önem verebilmektedir.

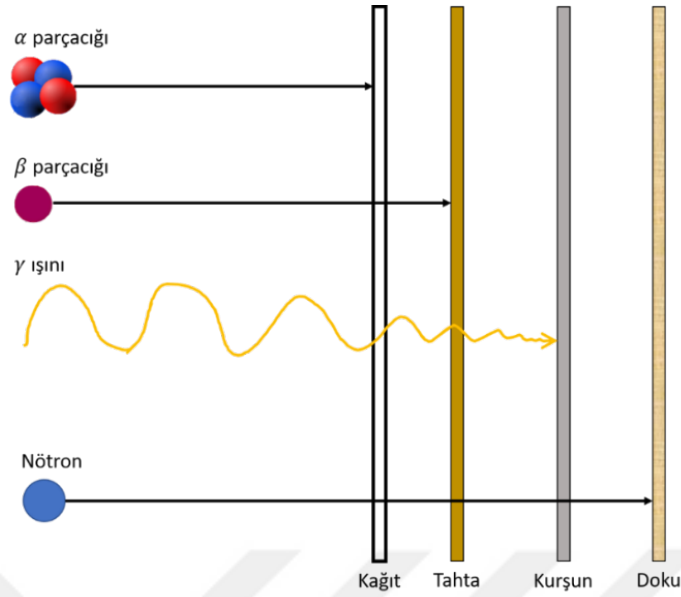
Zırhlamanın temelinde gelen radyasyonun enerji olarak madde tarafından soğurularak daha düşük enerjiyle çıkması yatmaktadır. Bununla ilgili 1852 yılında ışığın soğurulmasını çalışan Beer-Lambert ilk çalışma karşımıza çıkmaktadır. Beer Lambert'in bulduğu formüle göre gelen ışın maddeyi gözle göremediğim şekilde delip geçerken düşük enerjiyle çıkar, buradaki düşüşü sağlayan malzemenin hacmen, derinlikteki yapısı ve soğurma özelliğidir (Beer-Lambert Law). Işık, bir foton olarak elektromanyetik ışınlar arasında yer almasıyla bu yasa radyasyona uygulanabilmektedir. Sonrasında radyasyonun keşfiyle ve radyasyonun bir enerji olduğu gerçeğiyle eşitlik 2.11 halini almıştır.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.11)$$

Burada I_0 radyasyonun ilk şiddetini, x malzemenin kalınlığını, μ lineer zayıflatma katsayısını ve I zayıflamış şiddetini göstermektedir. Fotonların madde ile etkileşiminde yatan üç temel etkileşim ve onlara dair etkileşme tesir kesitlerinin toplamı bir maddenin radyasyonu durdurucu veya zayıflatıcı parametresini ortaya koymaktadır.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa + \dots \quad (2.12)$$

Diğer yer verilmemiş parametreler klasik kısımda yer alan elastik ve elastik olmayan saçılmaları içermektedir. Bu konuda saf element olarak en iyi zırhlamaya özelliğine sahip Kurşun olduğu bulgusu çıkmıştır (Hubbel, 1999). Nükleer reaktörlerde de kurşun kullanımı bu sebepten yaygındır. Yapısı itibariyle kararlı atomların sonunda yer alan Kurşun (Şekil 11) gama ışınları için en çok engelleme özelliğine sahip olmaktadır.



Şekil 11: İyonize Radyasyonun etkileşim karşılaştırması (Kalyon, 2019).

2.5. AMORF CAM MALZEMELER

Radyasyonun keşfinden ve etkilerinin iyi ve kötü gözlemlenmesinden bu yana, radyasyondan korunmak üzere de çalışmalar yapılmıştır. Doğadaki en kararlı çekirdek olan kurşun, yapısal olarak 82 proton ve 126 nötrona sahiptir. Gama ışınlarına karşı çok iyi bir zırhlamaya sahip olan kurşun zaman içinde incelenmesi sonucu 2003 yılı 27 Ocakta Avrupa Konseyi kurşunu Belirli Zararlı Maddelerin Kullanımını Kısıtlama Direktifi (European Parliament, 2003) dahilinde toksit maddeler listesine eklemiştir. Bu durumla birlikte farklı malzeme ve bileşikler zırhlama için araştırılmıştır. Bu çalışmalara ilk olarak gösterilebilecek olan konsantre malzemenin zırhlama özelliğinin araştırılması vardır (Bashter, 1997).

Günlük yaşamda radyasyon her zaman arka planda vardır. Bundan dahası radyasyonun bir çok alanda uygulamalarında, bu uygulamaları gerçekleştiren operatörler mevcuttur. Bu operatörler radyasyona arka planda yer alan radyasyondan daha fazla maruz kalmaktadır. ALARA Prensiplerinin önerdiği 3 kriter için operatörler zaman ve mesafesini değiştiremediği takdirde zırhlama konusunda kurşundan farklı malzemeler daha ekonomik olması sebebiyle tercih edilmeye çalışılmıştır. Doğada yer alan elementler ve onların bileşik formları araştırıldığında Cam(SiO_2), Su(H_2O), Boronoksit(B_2O_3) gibi malzemeler de radyasyon üzerinde zayıflatıcı etki taşımaktadır.

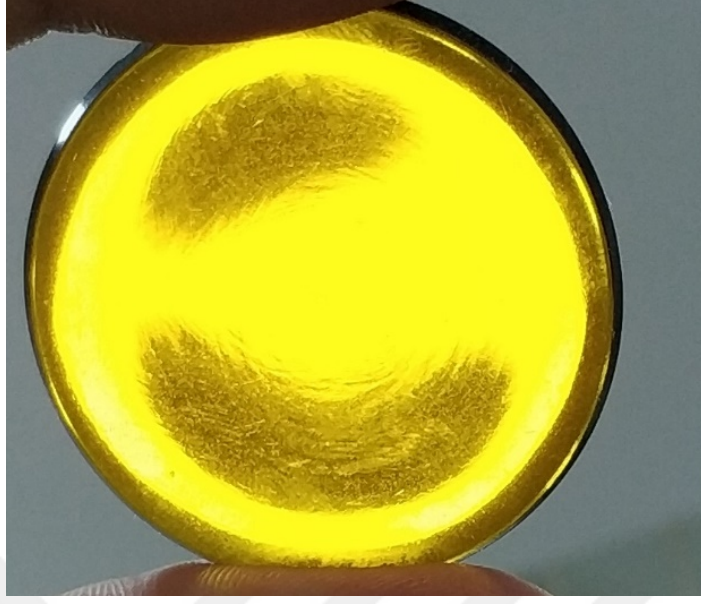
Silisyum Dioksit yani cam olarak tabir ettiğimiz bileşik yapısına bakıldığında her nükleon sayısı 14 olan bir Silisyum ve her nükleon sayısı 8 olan iki oksijenden meydana gelmiştir. Doğada kolay bulunabilir olması, fiziksel ve optik özellikleri açısından da kullanışlı olması sebebiyle zırhlama malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Nötron'un etkileşimi maddenin tesir kesiti ve saçılmalarla alakalı olması sebebiyle en iyi zırhlama malzemesi hidrojenli yapılardır. Su bu durumda iyi bir etki sağlamakla birlikte düşük atom numarası sebebiyle diğer radyasyon çeşitleri için etkili olmamaktadır.

Boronoksit reaktörlerde nötronlar için iyi bir zırhlama malzemesidir. Gama ışınları ve nötron zırhlamasında çoğunlukla kullanılmaktadır. Nükleon sayıları 5 olan iki bor ve üç oksijenden meydana gelmesiyle bir cam özelliğindedir. Tek başına iyi bir etkisi olmadığı için karışımlarda nötronlar ve fotonlar için bulundurulması daha uygun olmaktadır. Singh ve arkadaşları, Avrupa Konseyi Raporu sonucunda başka zırhlama malzemesi olarak karışım bileşikler kullanmıştır (Narveer Singh, 2004). Singh'in çalışmasında $PbO-B_2O_3$ karışımını ve $PbO -Bi_3O_2-B_2O_3$ malzemesini inceleyerek iyi bir gama ışını zırhı olarak kullanılabileceği belirtmiştir.

Alüminyum, yapısı itibariyle 13 proton 14 nötrona sahiptir. Silisyuma atomik özellikleri çok yakındır. Aynı şekilde doğada genellikle Al_2O_3 formunda bulunur ve genel bir kullanıma sahiptir. Radyasyon zırhlaması alanında sıklıkla kullanılmaktadır (Issa, ve diğerleri, 2019), (Tekin, Sayyed, & Issa, 2018). Bu duruma benzer olarak Magnezyum, Sodyum gibi malzemeler de radyasyon zırhlaması için çalışılmıştır (Tekin, ve diğerleri, 2019).

Üretim esnasında farklı metotlar uygulanarak farklı malzemelerle katkılanarak birleştirilebilmektedir. Birden çok bileşik içererek yapılan camlar, tam olarak camlara özgü özellikleri tam göstermemektedirler. Bu sebeple çok bileşikli karışım camlara genel olarak amorf cam ismi kullanılmaktadır. Amorf camların diğer bir özelliği de katkılarının özelliklerini gösteren cam yapısı nedeniyle şeffaflığa veya gözle görülebilir ışık geçirgenliğine sahip olmasıdır (Şekil 12). Amorf camlarla ilgili literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır (Tekin, ve diğerleri, 2019), (Mahmoud, ve diğerleri, 2019).



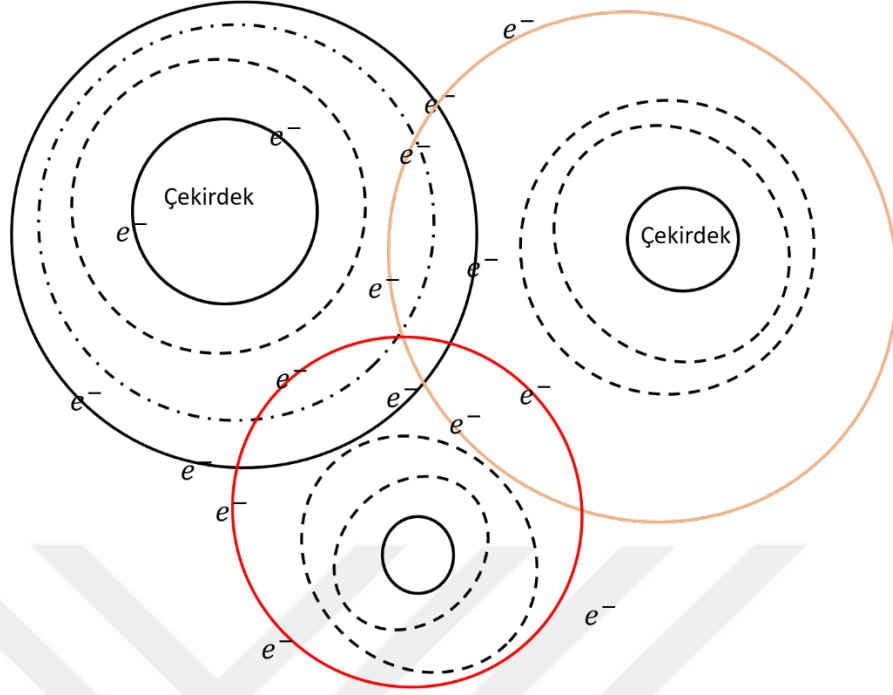
Şekil 12: Bir Amorf Cam Örneği.

Amorf camlar, hammaddesi, üretimi, ucuzluğu ve radyasyon alanındaki etkisi (Sayyed, ve diğerleri, 2020) ile önemli bir yol çizmektedir. Cam veya herhangi zırhlama malzemesinin radyasyonla etkileşimi üzerindeki etkilerini, davranışlarını tahmin üzere belirli hesaplamalara ve testlere tabi tutulur. Bu hesaplamalar sonucunda malzemenin radyasyon için nükleer özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Nükleer özellikler sayesinde amorf camların hangi enerjiye veya radyasyona karşı davranışlarını öğrenmekteyiz.

2.6. NÜKLEER ÖZELLİKLER

2.6.1 Etkin Atom Numarası

Bir elementin atom numarasına bakarak yörüngesinde paylaştığı elektronları ve çekirdeğinin ne kadar enerji soğuracağını hesaplanabilir. Elementlerin oluşturduğu bir bileşik için benzer durumlar geçerli olmaktadır. Bu incelemeler karışım malzemeler için gerçekleştirildiğinde olayın içine malzemenin bileşenlerinin katılım oranları, daha mikroskobik olursak atomik yörüngelerinin yerleşmeleri (Şekil 13) yapıları farklı olmaktadır. Bu sebeple karışım malzemelerin özellikle amorf cam malzemelerin yapısı sebebiyle her katıldığı elementin atom numarası, atomik yörünge yarıçapları vb. özellikler değişmektedir. Değişen özelliklerin başında her elementin yörüngesindeki elektronların yerleşimini sağlayan atom numarası gelmektedir.

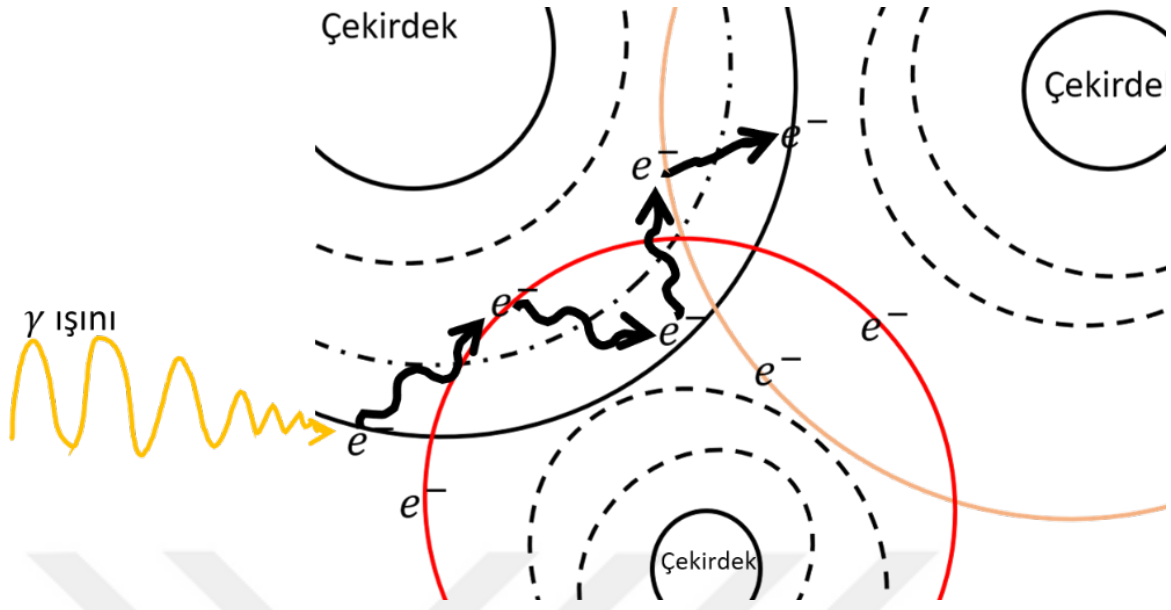


Şekil 13: Etkin Atom Numarası Gösterimi.

Her gelen fotonun enerjisine göre farklı bir davranışa giren karışımın atom numarası, her enerji değerinde farklı ve etkili olarak değişmesiyle karışımın radyasyona karşı sahip olduğu atom numarasından etkin atom numarası olarak bahsedilir. Malzemenin foton etkileşiminde göstereceği tepki ve davranışların ilk perspektifi veren bir değerdir. Etkin atom numarası radyasyona karşı malzemedeki tüm elementlerin ortak proton sayısına bağlı elektron davranışını betimlese de sadece nükleer özelliklerden biridir.

2.6.2 Etkin Elektron Yoğunluğu

Foton zırlamasında önemli rolü olan elektronlar karışım olan malzemeler içerisinde bir çok yörüngelerde bulunmaktadır (Şekil 14). Radyasyonun yörüngelerdeki elektronların bulunurluğunu Etkili Elektron Yoğunluğu söylemektedir. Malzemenin kütlesi başına düşen elektronları nitelemektedir. Amorf camlar yapısındaki yörüngesel farklılıklar çakışmalar vb. element bileşik dışı farklılıklar olması sebebiyle sahip olduğu radyasyona karşı zırlama konusunda gelen fotonun enerjisiyle de bağlantılıdır.



Şekil 14: Etkin Elektron Yoğunluğu Gösterimi.

Etkin Atom Numarası ile direkt bağlantılı olan bir değerdir. Genellikle Etkin Atom Numarasıyla uyumludur.

2.6.3 Kütle Zayıflatma Katsayısı

Gelen fotonun malzemeye etkileşiminde birim derinlikteki zayıflama oranını Doğrusal Zayıflatma Katsayısı (μ) vermektedir. Birimi cm^{-1} 'dir. Her elementin bir μ değeri vardır. Beer Lambert Yasası (Eş 2.11) gereğince her μ değeri enerjiye bağlıdır ve

$$\mu = \frac{\ln(I/I_0)}{x} \quad (2.12)$$

İle ifade edilmektedir. Amorf camlarda saflık olmaması sebebiyle kendisine ait bir μ değeri yerine birim kütlesi başına olan gelen radyasyonu zayıflatma oranını veren Kütle Zayıflatma Katsayısı (μ_m) kullanılmaktadır ve

$$\mu_m = \mu/\rho \quad (2.13)$$

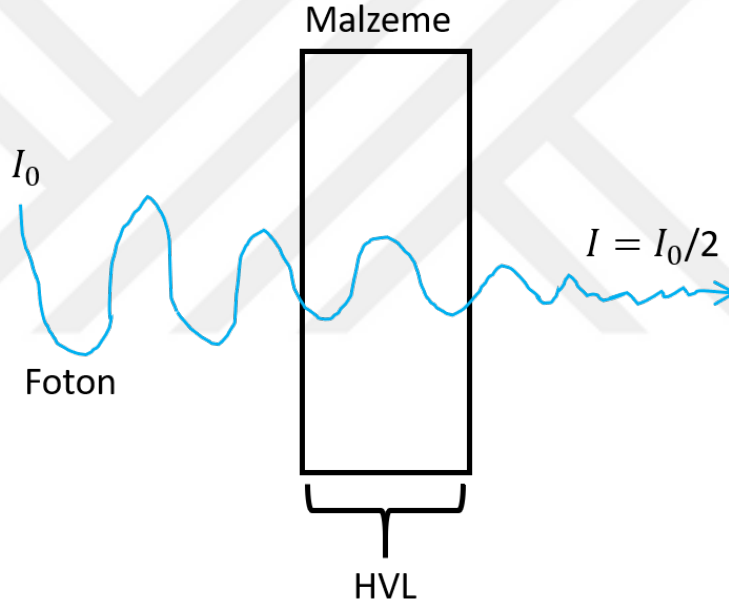
İle ifade edilir (Ağar, ve diğerleri, 2019). Malzemelerin fotonu zayıflatma özelliğinin önemli parametrelerinden biri olan Kütle Zayıflatma Katsayısı değerinin birimi cm^2/g 'dir. Radyasyonun malzemenin hacmindeki parçacık kütleleri başına düşen zayıflatmaların yarı değerine düşürmesi, onda bir değerine düşürmesi gibi parametrelerin elde edilmesinde önemli rolü vardır.

2.6.4 Yarılanma Değer Katmanı

Gelen radyasyonun malzemeyle etkileşerek yarı şiddetine düşüren uygun kalınlıktır(Şekil 15). Beer-Lambert (Eşitlik 2.11-2.12)'de zayıflamış radyasyon şiddetini gelen radyasyon şiddetinin yarısı olarak alınarak;

$$HVL = \frac{0,693}{\mu} \quad (2.14)$$

İle elde edilmektedir (Abouhaswa, Rammah, Sayyed, & Tekin, 2019). Kalınlık olmasıyla birlikte birimi cm'dir. Birçok malzemenin zırhlama özelliklerini daha iyi anlayabilmek için HVL parametresine gerek duyulmaktadır.



Şekil 15: Yarılanma Değer Katmanının radyasyon etkileşimlerindeki bir gösterimi.

2.6.5 Onda Değer Katmanı

Malzemenin gelen radyasyonu onda bir değerine düşüren derinlik/kalınlık değeridir. Beer-Lambert Yasası (Eş. 2.11)'nda zayıflayan şiddeti gelen şiddetin onda biri olarak;

$$TVL = \frac{2,302}{\mu} \quad (2.15)$$

Elde edilmektedir (Dong, ve diğerleri, 2019). TVL ve HVL değerleri artan fotonun enerjisiyle birlikte artmaktadır. Fotonun enerjisi artması durumunda foton malzeme içerisinde daha çok

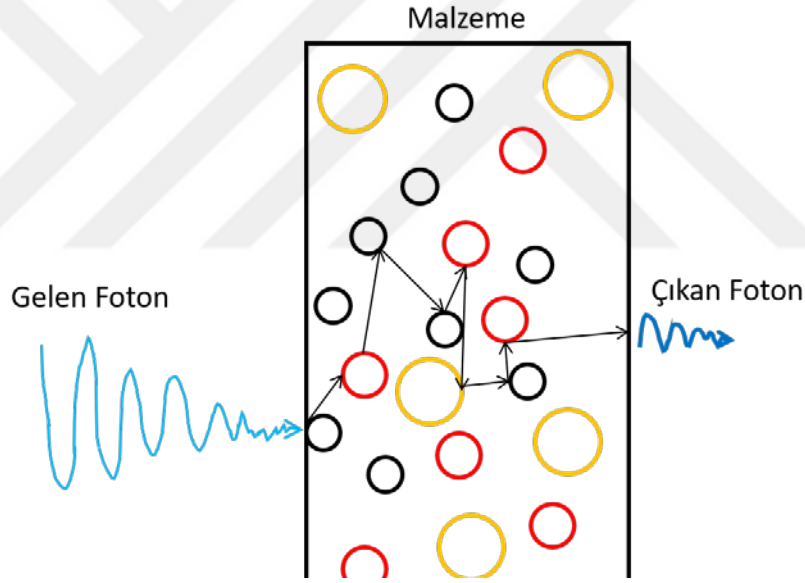
etkileştiğini söylemektedir. Bu nedenle fotonun atomlarla etkileşimleri arasındaki mesafelerin de önemi artmaktadır.

2.6.6 Ortalama Serbest Yol

Ortalama Serbest Yol fotonun madde içindeyken iki etkileşim arasındaki mesafesini söylemektedir ve

$$Mfp = \frac{1}{\mu} \quad (2.16)$$

Olarak ifade edilir (Tekin, ve diğeri, 2019). Temel üç etkileşime bağı olarak malzemenin içine giren fotonun gerçekleştireceği iki etkileşim arasındaki ortalama olarak ne kadar ilerlediğini anlatır. Bu parametreyi Şekil 16 tasvir etmektedir.



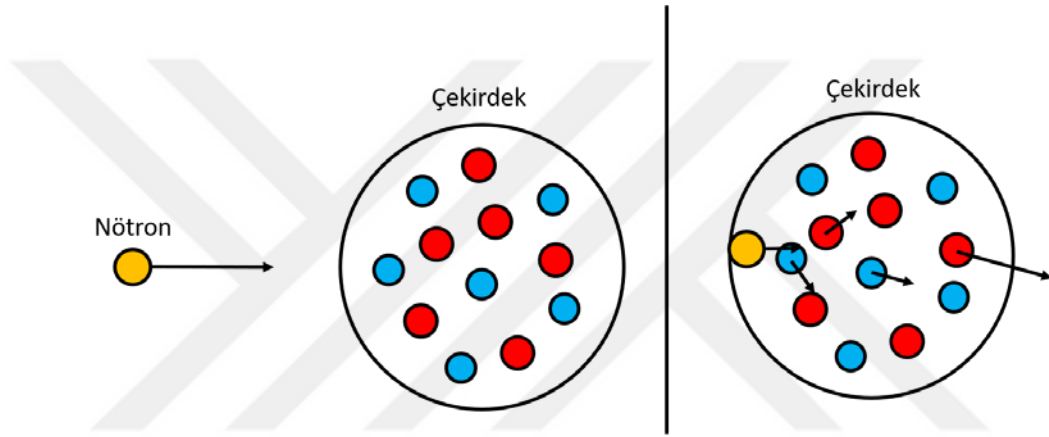
Şekil 16: Ortalama Serbest Yol'un malzeme içerisindeki basitleştirilmiş gösterimi.

2.6.7 Foton Geçiş Faktörü

Fotonun malzemeyi nüfuz etmesiyle kalan fotonu ifade eden parametredir. Beer-Lambert Yasasından yararlanarak I/I_0 oranından malzemenin kalınlığına bağı olarak elde edilmektedir. Kaynaktan çıkan fotonları demet olarak bir akı halinde maddeyle etkileşiminden arda kalan fotonların akı sayımını vererek azaltma oranı ortaya çıkmaktadır.

2.6.8 Makroskobik Etkili Çıkartma Tesir Kesiti

Radyasyon olarak nötron bir malzemeye etkileşerek atomları ve barındırdığı çekirdeklerle çarpışmaktadır. Bu çarpışma esnasında malzemenin yapısındaki parçacıkları hareketlendirebilmektedir. Malzeme yapısındaki çekirdekte bulunan parçacıklarla çarpışarak (Şekil 17) bu yapının ayrı noktasından nötron ayırabilmektedir. Nötronların elementlerin yapısından nötron çıkarma ihtimalini veren tesir kesiti parametresine etkili çıkarma tesir kesiti denmektedir. Beer-Lambert Yasasının üstel bozunma kısmındaki şartlardan yararlanılarak nötron etkileşimine özel bir parametre haline getirilmiştir..



Şekil 17: Nötronun çekirdekle çarpışma ve soğurulma sonucunun gösterimi.

Etkili çıkarma tesir kesiti elementler için kullanıldığı takdirde mikroskobik nötron çıkarma tesir kesiti olmaktadır. Deneysel olarak ilk Wood tarafından 1982 yılında formüle dökülmüştür. Mikroskobik etkili çıkarma tesir kesiti, A elementin atomik ağırlığını, Z atom numarasını göstererek;

$$\Sigma_R = 0.21A^{-0.56} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \quad (2.17)$$

$$\Sigma_R = 0.00662A^{-1/3} + 0.33A^{2/3} - 0.211A^{-1} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \quad (A > 12)$$

$$\Sigma_R = 0.190Z^{-0.743} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \quad (Z \leq 8)$$

$$\Sigma_R = 0.125Z^{-0.565} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \quad (Z > 8)$$

İle ifade edilmektedir (Abd, Mesbah, Mohammed, & Ellithi, 2016). Elementler ve onların bağlaşımlarından meydana gelen bileşiklerin oluşturduğu karışımlar için belirlenemez ve değişken olması sebebiyle makroskobik etkili çıkarma tesir kesiti ismini almaktadır. Bir

malzemenin nötrona karşı durdurucu etkisini anlamak üzere makroskobik etkili çıkarma tesir kesitine bakarız. Temelde nötrona göre özelleştirilmiş Beer-Lambert Yasasını içererek sonraki nötron akısından hapsedilen veya soğurulan nötronlar aracılığıyla zırhlama bilgisine sahip olmaktadır.



3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında 3 farklı malzeme grubunun nükleer özellikleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda malzemelerin μ/ρ değerleri XCOM (Berger & Hubbell, 1987) programı aracılığıyla hesaplanmıştır. XCOM programı ilgili malzemelerin kütle zayıflatma katsayılarına hesaplarırken, bu bilgileri kullanarak doğrusal zayıflatma katsayıları, yarılanma değer katmanı, onda değer katmanı ve ortalama serbest yol değerleri 0.02- 20 MeV aralığı için hesaplanmıştır.

3.1.AMORF CAM MALZEMELER

Bu tez çalışmasında 3 farklı türde amorf camların teorik olarak nükleer özellikleri hesaplanmıştır. Bir amorf camın nükleer özelliklerini hesaplamak için kullanacağımız metotlarda camın yoğunluğu ve karışım haline getirilirken katılan bileşiklerin molar oranlarına ihtiyacımız vardır. Malzemelerin anlaşılması için kendi aralarında kodlanmıştır. Bu çalışmadaki amorf camlarımızın molar oranları ve yoğunlukları sırasıyla;

Tablo 1: TZCNX Amorf Cam Grubu (Elkhoshkhany, Essam, & Embaby, 2018).

Örnek Kodu	TeO ₂	CaO	Na ₂ O	ZnO	Yoğunluk (g/cm ³)	Molar Hacim (cm ³ /mol)
TZCN5	85	5	5	5	5.66	27.00
TZCN10	80	5	5	10	5.78	26.20
TZCN15	75	5	5	15	5.84	25.38
TZCN20	70	5	5	20	5.92	24.60

Tablo 2: ZX Amorf Cam Grubu (Gui, ve diğeri, 2019).

Örnek Kodu	MgO	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	B ₂ O ₃	Yoğunluk (g/cm ³)	Molar volume (cm ³ /mol)
Z0	20	0	20	57	3	2.576	25.14
Z0.1	19.9	0.1	20	57	3	2.578	25.15
Z0.5	19.5	0.5	20	57	3	2.58	25.19
Z1	19	1	20	57	3	2.584	25.23
Z5	15	5	20	57	3	2.646	25.26
Z10	10	10	20	57	3	2.712	25.41
Z15	5	5	20	57	3	2.783	25.50
Z20	0	5	20	57	3	2.851	25.60

Tablo 3: BTCX Amorf Cam Grubu (Madheshiya, Gautam, & Upadhyay, 2018).

Örnek Kodu	PbO	Bi ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	B ₂ O ₃	CeO ₂	Yoğunluk (g/cm ³)	Molar volume (cm ³ /mol)
BTC0.0	0	46.95	8.05	21.72	22.28	1	1.54	164.77
PBTC0.3	7.85	37.87	9.28	21.72	22.28	1	1.77	129.91
PBTC0.5	14.57	30.11	10.32	21.72	22.28	1	2.11	99.34
PBTC0.7	22.99	20.37	11.64	21.72	22.28	1	2.29	80.34
PTC1.0	40.61	0	14.39	21.72	22.28	1	2.78	47.01

3.2.ETKİN ATOM NUMARASI HESAPLAMALARI

Z_{eff} hesabını yapmak için bir çok yöntem bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında ise Z_{eff} hesabı için direkt metot kullanılmıştır. Direkt metoda göre;

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e} \quad (3.1)$$

Olarak verilmektedir (Agar, Sayyed, Akman, Tekin, & Kaçal, 2019). Burada σ_a ; etkin atomik tesir kesiti, σ_e ; toplam elektronik tesir kesitidir. Tesir kesitleri;

$$\sigma_a = \frac{\sigma_t}{\sum_i n_i} \quad (3.2)$$

$$\sigma_e = \frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu/\rho)_i \quad (3.3)$$

Olarak bir açılıma sahiptir. Her elementin toplam foton etkileşim tesir kesitiyle molar oranları dahil olarak;

$$\sigma_t = \frac{M(\mu/\rho)_i}{N_A} \quad (3.4)$$

İçerdiği elementlerin kendine ait MAC değerlerine bağlıdır. Bu değerler XCOM programından yukarıdaki yöntemler aracılığıyla hesaplanarak elde edilmiştir. Her atoma ait kütle durdurma katsayısını enerjilere göre veren programda alınan verilerle karışımların içerisindeki elementlerin molar oranlarına göre toplam foton etkileşim tesir kesitleri ve toplam elektronik tesir kesitleri hesaplanmıştır.

3.3.ETKİN ELEKTRON YOĞUNLUĞU HESAPLAMALARI

Etkin elektron yoğunluğu direk olarak Z_{eff} değerlerine bağlıdır. N_{eff} için hesaplamalar;

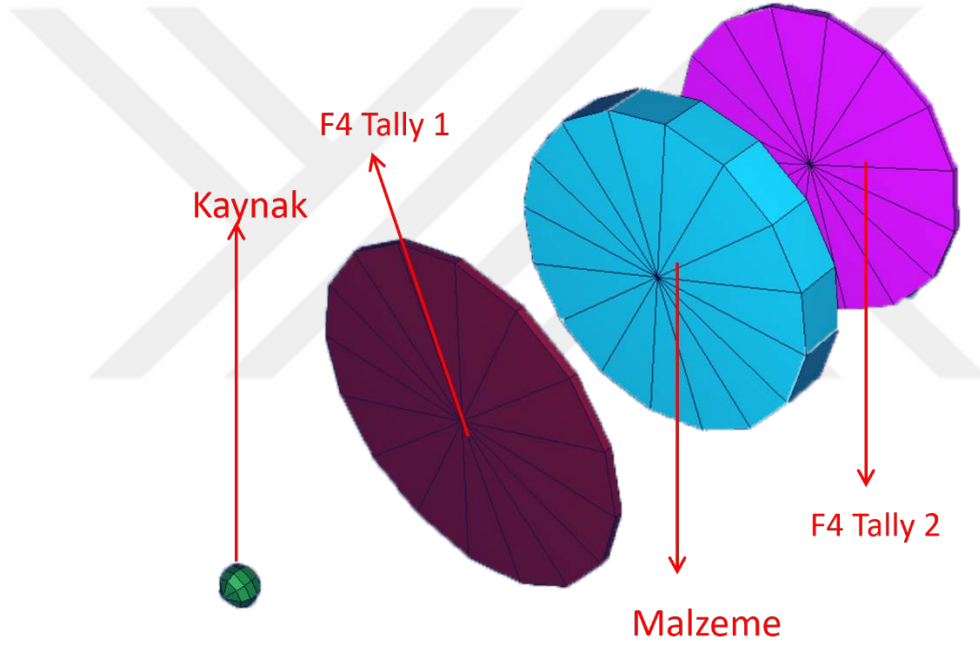
$$N_{eff} = \frac{N_a Z_{eff}}{\langle A \rangle} \quad (3.5)$$

Eşitliğiyle hesaplanmaktadır (Susoy, 2019). Burada N_a avagadro sayısı, $\langle A \rangle$ ortalama kütle numarasıdır.

3.4.GAMA FOTON GEÇİŞ FAKTÖRÜ HESAPLAMALARI

Günümüzde birçok uygulamanın matematiksel metotları da vardır. Bu metotlar ampirik gözlemlerden elde edilmiş veri kaynaklı çalışmakla birlikte çoğu deneyin teorik olarak tekrarlanmasıdır. Bu matematiksel metotlardan birisi de Monte Carlo'nun kurmuş olduğu

algoritmalarla dayanarak sonucu oluşturduğu matematiksel metottur. Monte Carlo Metodu radyasyon zırlamasında da kullanılmıştır. Los Alamos Ulusal Labrotuarında geliştirilen radyasyon uygulamalarındaki ismi MCNP (Monte Carlo N Particles) olan metot her parçacığa ait özel fiziksel modelleriyle birçok radyasyon uygulamasının teorik araştırmalarında yardım sağlamaktadır. Barındırdığı ampirik veriler ve kütüphaneler dahilinde birçok element, bileşik, ve karışım yani radyasyon zırlama malzeme araştırmasında önemli rollerden biridir. Simülasyonda Foton Geçiş Faktörü, Lineer Zayıflatma Katsayısı, Kütle Zayıflatma Katsayısı gibi malzemenin nükleer özellikleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplamaları kullanırken sayaç dediğimiz Tally'leri(Şekil 18) kullanılmaktadır.



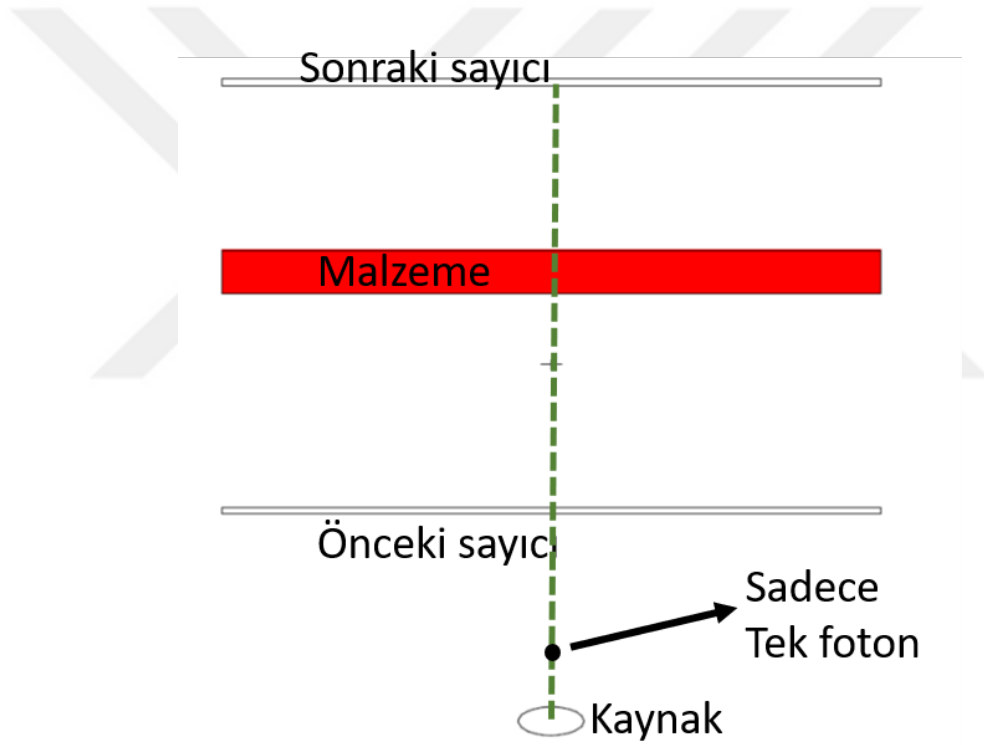
Şekil 18: MCNP4C Koduyla üç boyutta simülasyon gösterimi.

Bu tez çalışmasında malzemenin Foton Geçiş Faktörü MCNP4C kodu aracılığıyla hesaplanmıştır. Fotonun malzeme ile etkileşiminde ne kadar azaldığının bilgisini vermektedir. Hesaplama alınırken kaynak enerjisi 2 MeV olarak tanımlanmış ve 0,5 – 4,0 cm arasında 8 düzeyde malzeme kalınlığı kullanılmıştır. Fotonla etkileşimleri temelde ampirik sonuçlara dayanan verileri kullanarak kaynaktan foton yayınlar. Fotonların malzemedan geçerek ne kadarı çıktığına dair hesaplama yapmaktadır. Kodu yazarken malzeme bilgileriyle ilgili verileri girmek üzere WINXCOM programından yardım alınmaktadır. WINXCOM programı, element, bileşik ve karışımlar oluşturabilir seçenekler dahilinde molar oranları bilgilerinden yararlanarak

elde edilen teorik karışımların içerisinde barındırdığı elementlerin barınma oranlarını vermektedir. Bu barınma oranlarını ve yoğunluklarını MCNP4C kodunda kullanarak malzememizi tanımlamaktayız. Simülasyon teorisinin altında Beer-Lambert Yasasını barındırmaktadır.

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = \mu x \quad (3.6)$$

Bağıntısından yararlanan MCNP4C kodu nü değerlerini barındırdığı tesir kesitleri verilerinden elde etmektedir. Simülasyon bir fotonun etkileşimini baz alarak bir fotondan geriye kalan fotonu (Şek 3.2) saymaktadır.



Şekil 19: MCNP4C Simülasyonu iki boyutta foton etkileşim yolu.

3.5.MAKROSKOBİK ETKİLİ ÇIKARMA TESİR KESİTİ HESAPLAMALARI

Her element mikroskobik nötron çıkarma tesir kesitine sahiptir. Bu tez çalışmasındaki malzemelerin, element ve bileşikler karışımından oluşmasıyla ortaya çıkan haliyle ilgili nötron zırlama parametresi olan Makroskobik Etkili Çıkarma Tesir kesiti;

$$\Sigma_R = \sum_i W_i (\Sigma_R)_i \quad (3.6)$$

İle hesaplanmıştır (Issa & Tekin, 2019). Burada W_i elementin o karışım içerisindeki kapladığı yoğunluk anlamına gelen kısmi yoğunluktur, $(\Sigma_R)_i$ ise ilgili elementlere ait mikroskobik nötron çıkarma tesir kesitidir. Kısmi yoğunluğu elde etmek üzere;

$$W_i = \sum_i w_i \rho_i \quad (3.7)$$

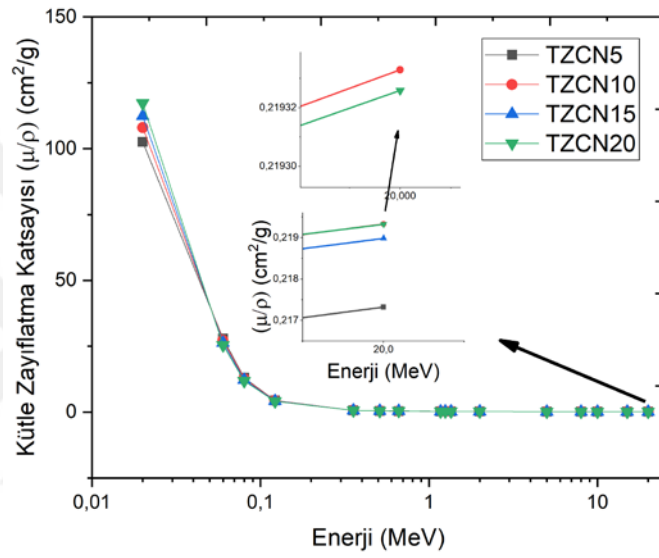
$$w_i = \frac{M_i}{\sum_i M_i}$$

$$M = A n_i$$

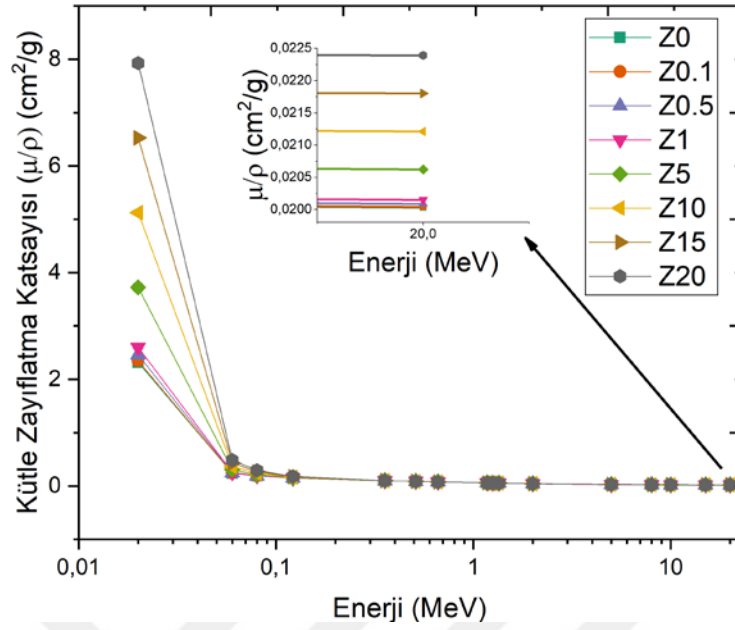
bağıntılarını kullanırız. Burada w_i ilgili elementin ağırlık kesri ve M_i ise molar değeridir. n_i burada önceki hesaplamalarda kullandığımız ilgili birim element başına molekül sayısıdır.

4. BULGULAR

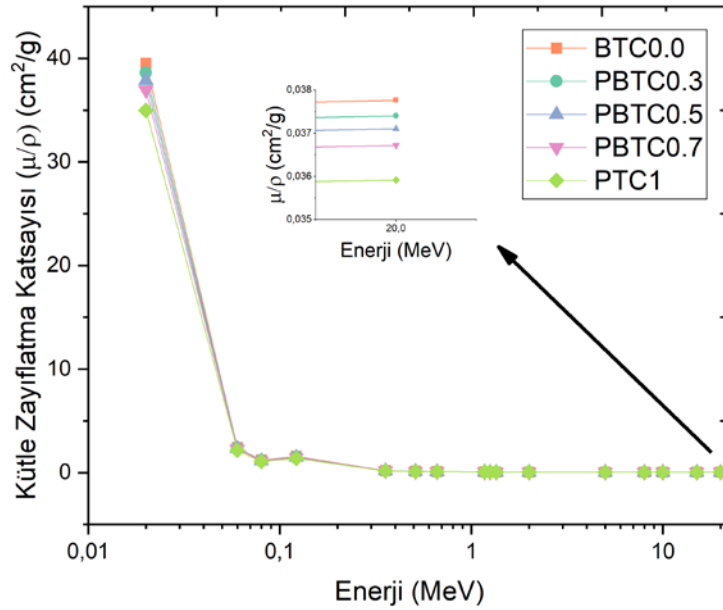
Malzemelerin parametreleri birbirleriyle uyumlu olmakla birlikte bazı parametreler kendi aralarında farklı bir uyuma sahiptir. Bu sebeple Doğrusal Zayıflatma Katsayısı (μ) malzemenin yoğunluğuna (ρ) aşırı bağlıdır. Elde edilen MAC değerleri serbest bir atomik değerlerden elde edilmiş sonuçlardır. İlgili cam malzemelerimizin ilk olarak LAC değerlerinden zırhlama etkisini anlayabiliriz.



Şekil 20: TZCNX Cam grubu için MAC Grafiği.



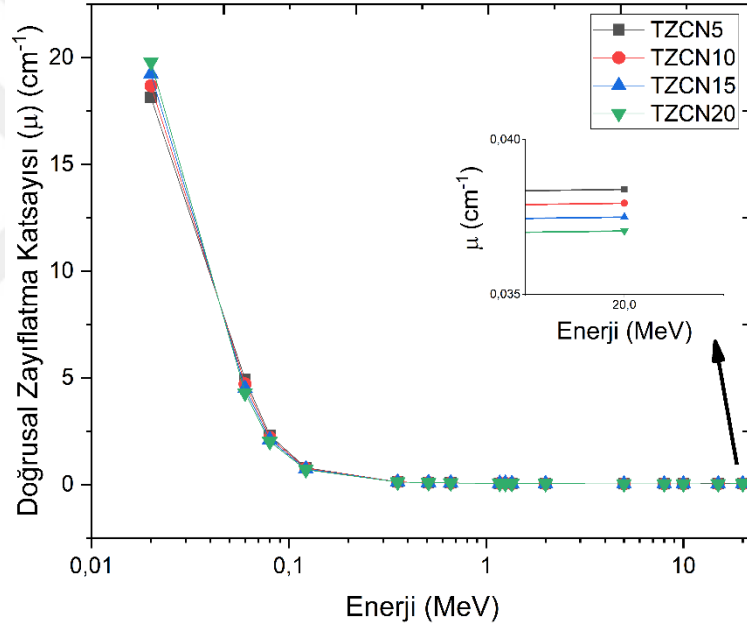
Şekil 21: ZX cam grubu için MAC Grafiği.



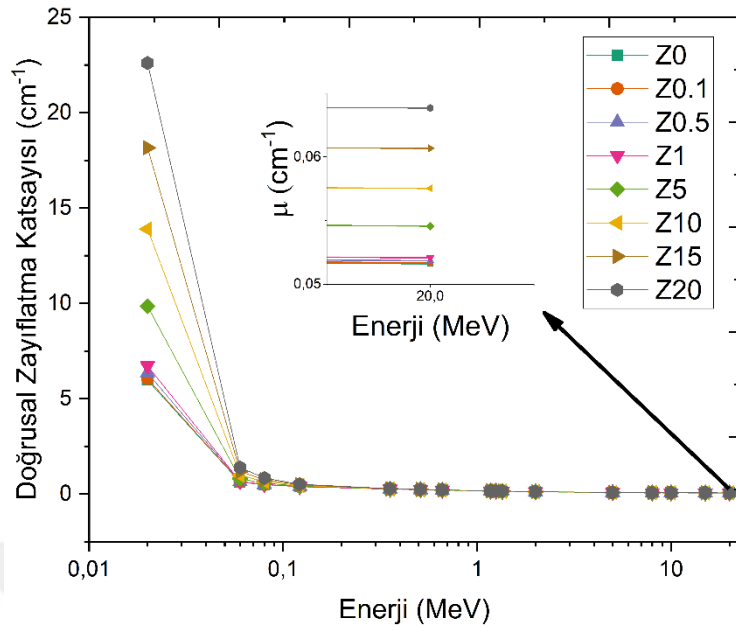
Şekil 22: BTCX Cam grubu için MAC Grafiği.

Yüksek yoğunluklu malzemeler daha yüksek atom numarasına sahiptir ve gama ışını zırhlaması malzemesi olarak tercih edilebilir. Bunun sebebi MAC'ın foton enerjisine ve malzemenin kimyasal yapısıyla bağlantılı olmasıdır. MAC'daki değişim ile foton enerjisi için olan karakteristik birbirine benzemektedir. Genellikle, üç farklı işlem tüm enerji bölgesinde fotonun

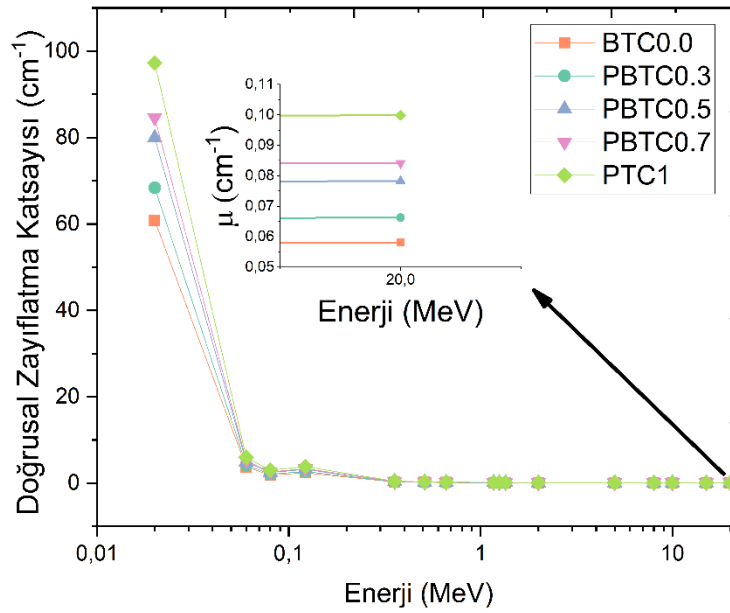
zayıflamasına katkıda bulunmaktadır. Birincisi fotoelektrik süreç ki bu 10-100 keV düşük foton bölgesinde önemli ölçüde yer almaktadır. Devamında bu süreç Compton saçılması olur ki bu da 0,1-1 MeV orta enerji bölgesindedir. Son süreç ise 10 MeV'den yukarıda yüksek enerji bölgesinde yer alan Çift Oluşumdur. Bu enerji aralıkları hafifçe malzeme türlerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Hesaplanan üç ayrı malzeme grubunun MAC değeri Şekil 20-22'de gösterilmiştir. Orta enerji seviyelerine gidildiğinde Compton Saçılmasının etkisi gözükmeye başlayarak malzeme gruplarımızda TZCN10, Z20 ve BTC0.0 malzemeleri en yüksek MAC değerlerine sahip olmaktadır. Bu camların MAC değerleri 1 MeV'e kadar aynı etki altında kalarak azalacaktır çünkü Compton Saçılmasının tesir kesiti veya gerçekleşme ihtimali Z atom numarasına bağlıdır.



Şekil 23: TZCNX Cam Grubu için LAC Grafiği.



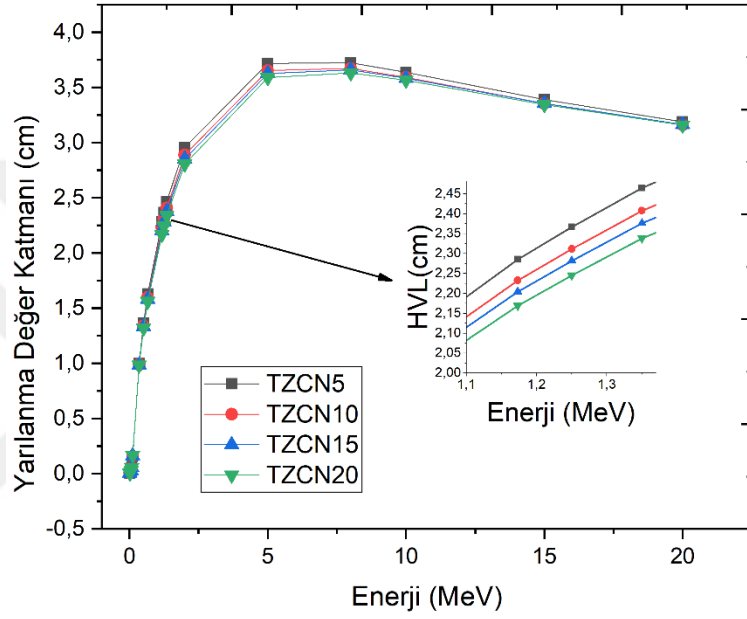
Şekil 24: ZX cam grubu için LAC Grafiği.



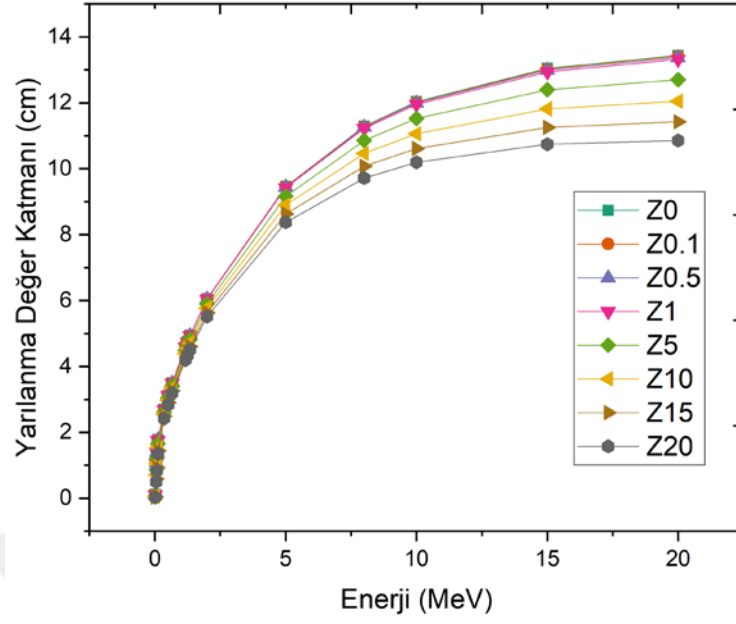
Şekil 25: BTCX Cam grubu için LAC Grafiği.

Malzemelere özgün bir parametre olan LAC değerlerimiz zayıflatma değeri TZCN5, Z20 ve PTC1 camlarında en yüksek değerdedir. Sahip olduğu Tellür molar oranı sayesinde TZCN5 camı iyi bir foton zırhlamasına sahip iken PTC1 kurşun bazlı cam ve Z20 camı TZCN5'ten sonra sırasıyla kendi cam grupları arasında en iyi doğrusal zayıflatmaya sahiptir. Dahası Doğrusal Zayıflatma Katsayısına karşılık foton enerjileri Şek 23, 24, 25'de gösterilmiştir. Foton enerjisi arttıkça, her bir cam tipi için MAC değerlerinin hızla 0,06 MeV'de düştüğü Şekil 20,

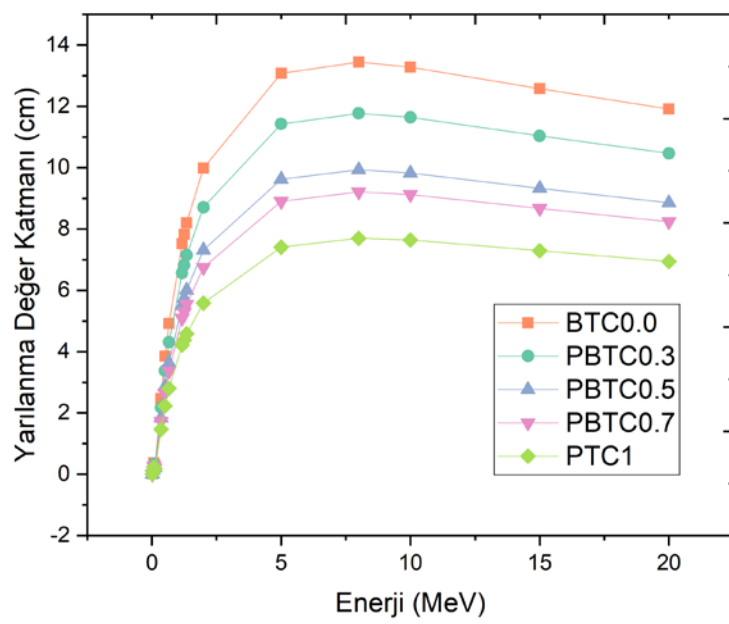
21 ve 22'den açıkça görülebilir. Bu hızlı düşmenin sebebi fotoelektrik etkinin çok düşük enerjilerde baskın olmasıdır. MAC değerleri TZCNX grubunda en yüksek ZnO katkılı TZCN20 malzemesi için en düşükken TZCN5 camı için en yüksektir. ZX Malzeme grubu için aynı durum Z0 camının MAC değeri en düşükken Z20 camının en yüksektir. Son grubumuza geldiğimizde MAC değerlerinin bizmut'un oranca fazla bulunduğu BTC0.0 malzemesinde en yüksek olduğu Şekil 23'den anlaşılmaktadır.



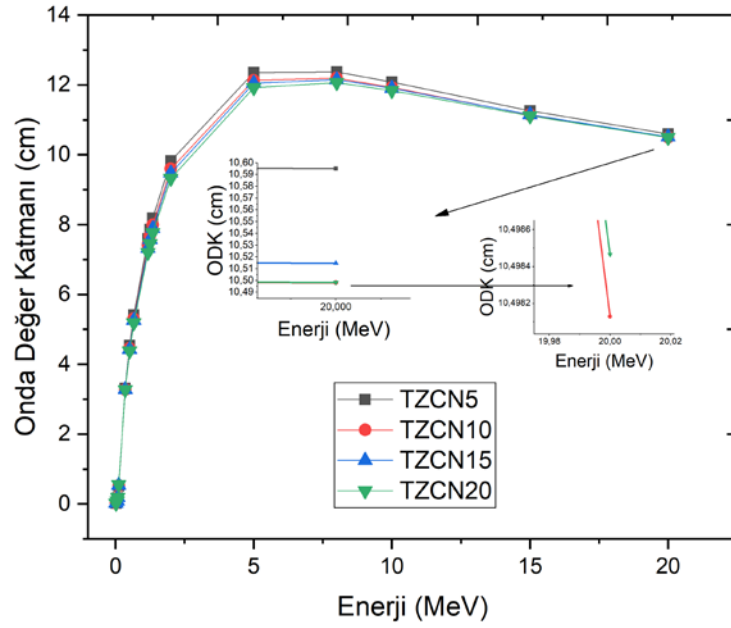
Şekil 26: TZCNX cam grubu için HVL Grafiği.



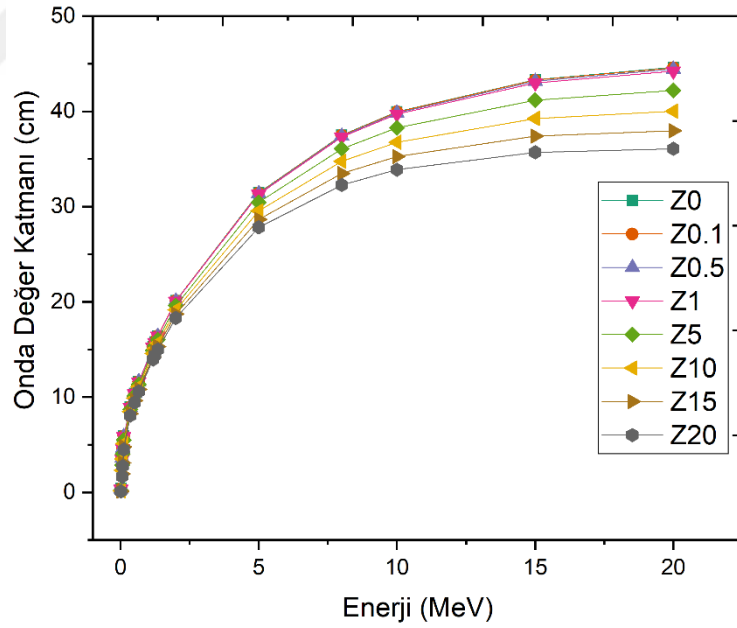
Şekil 27: ZX Cam grubu için HVL Grafiği.



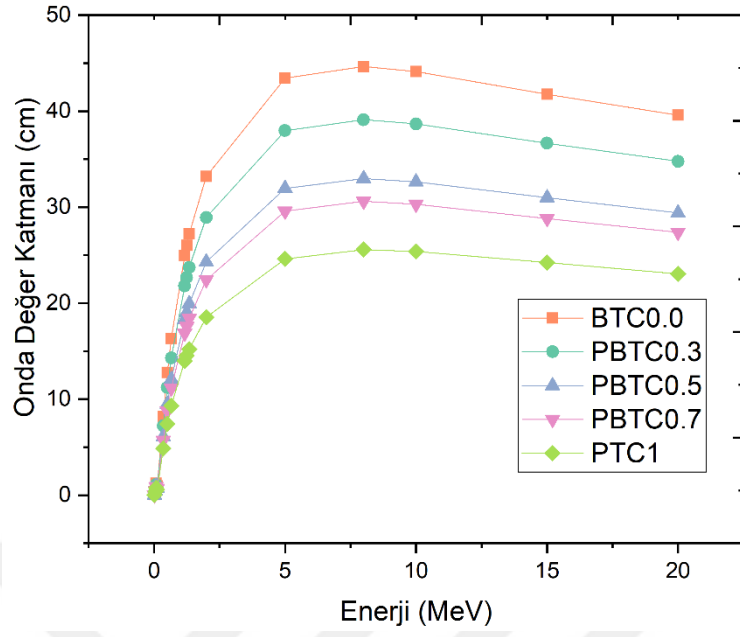
Şekil 28: BTCX Cam grubu için HVL Grafiği.



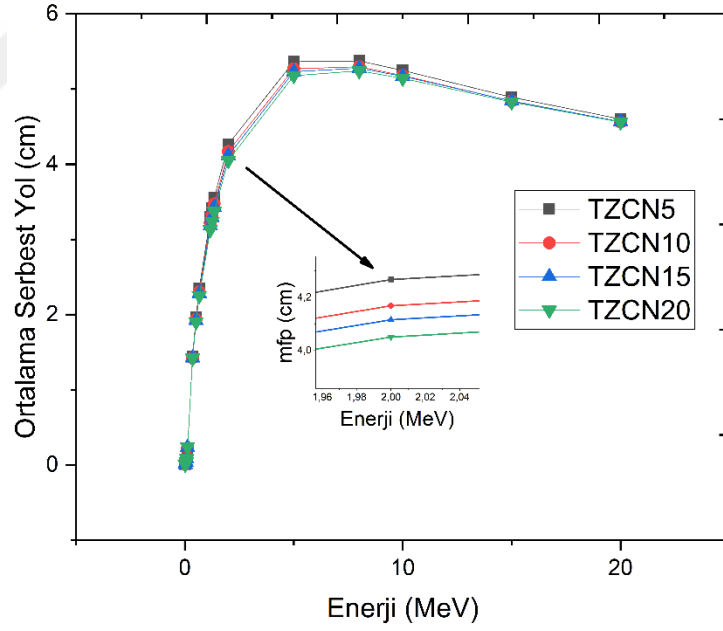
Şekil 29: TzCNX cam grubu için TVL Grafiği.



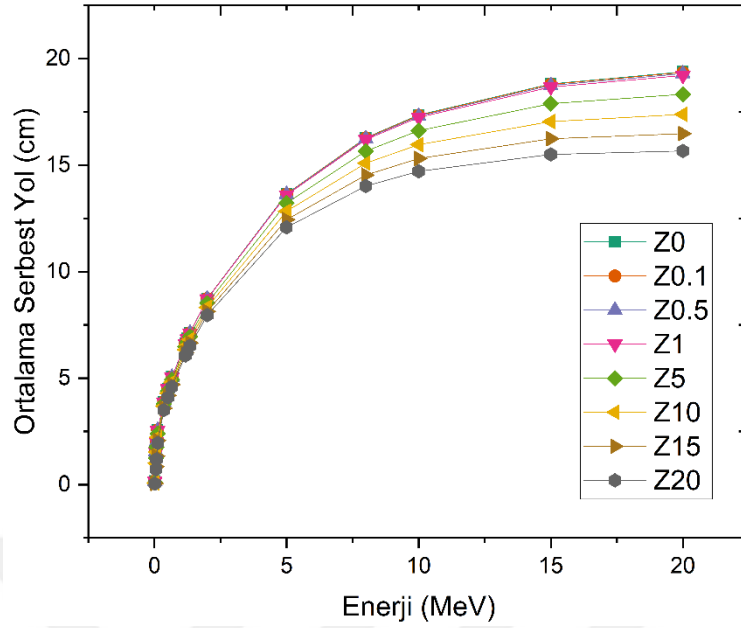
Şekil 30: ZX Cam grubu için TVL Grafiği.



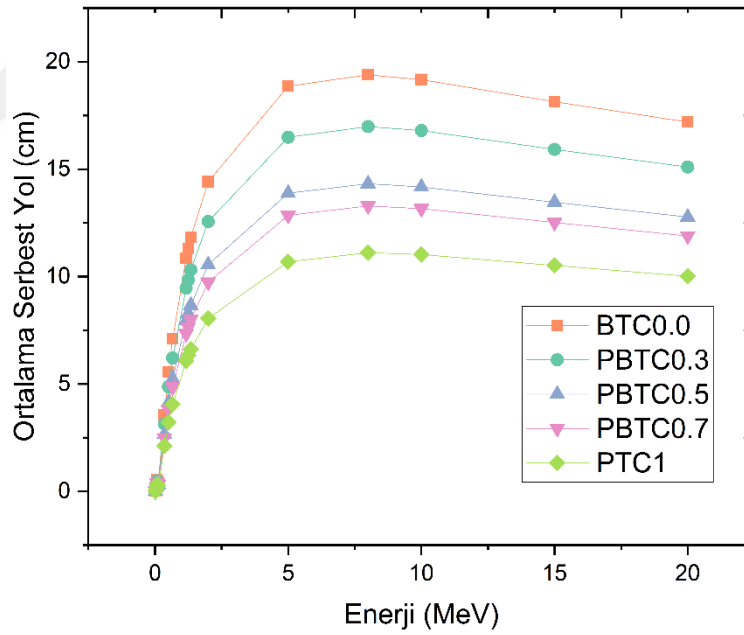
Şekil 31: BTCX Cam grubu için TVL Grafiği.



Şekil 32: TZCNX cam grubu için mfp Grafiği.



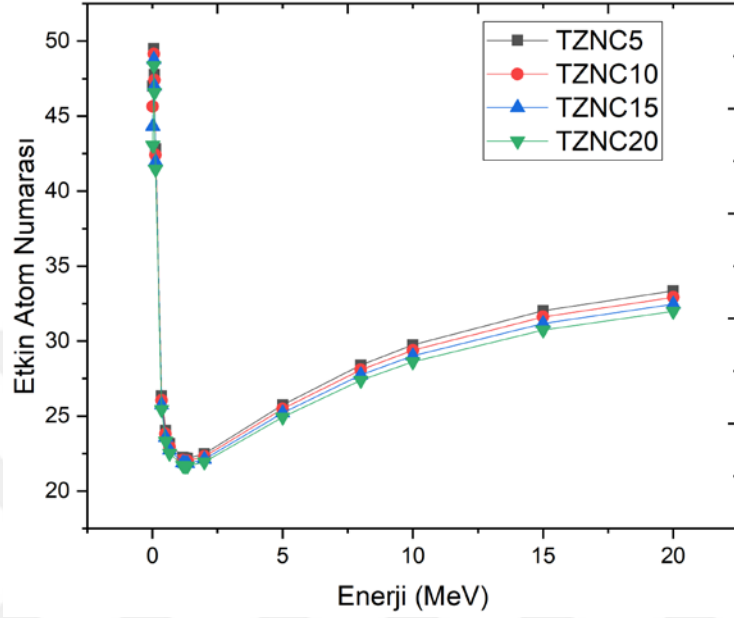
Şekil 33: ZX Cam grubu için mfp Grafiği.



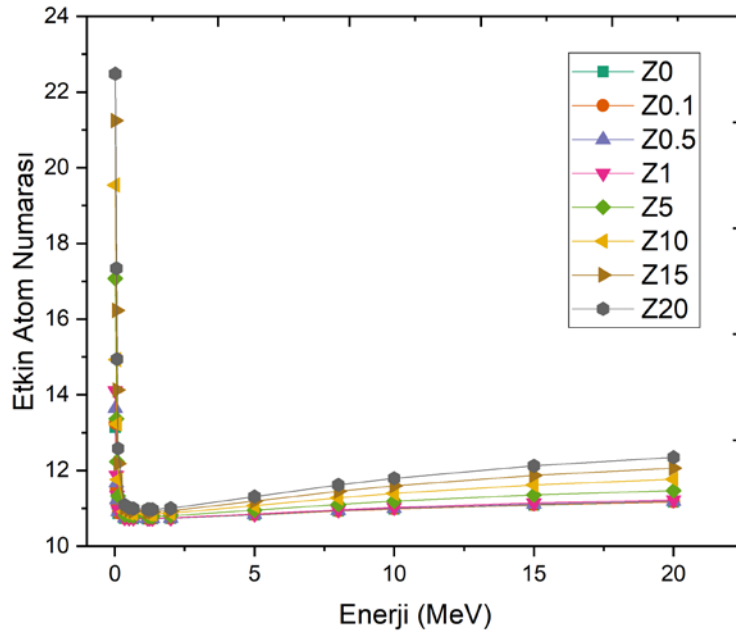
Şekil 34: BTCX Cam grubu için mfp Grafiği.

Ek olarak TZCN20, Z20, ve PTC1 malzemelerinin HVL, TVL ve mfp değerleri radyasyonu en düşük değerine azaltabilme yetisine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 26-34'de görüldüğü üzere HVL, TVL ve mfp değerlerinin artışı 10 MeV'e kadar fotonun enerjisinin artışıyla bağlantılıdır. Çünkü 1-100 keV düşük enerji aralığındaki parametreler malzemenin yapısına göre değişmemektedir. Orta enerji seviyelerinde TZCN20, Z20 ve PTC1 malzemeleri en düşük

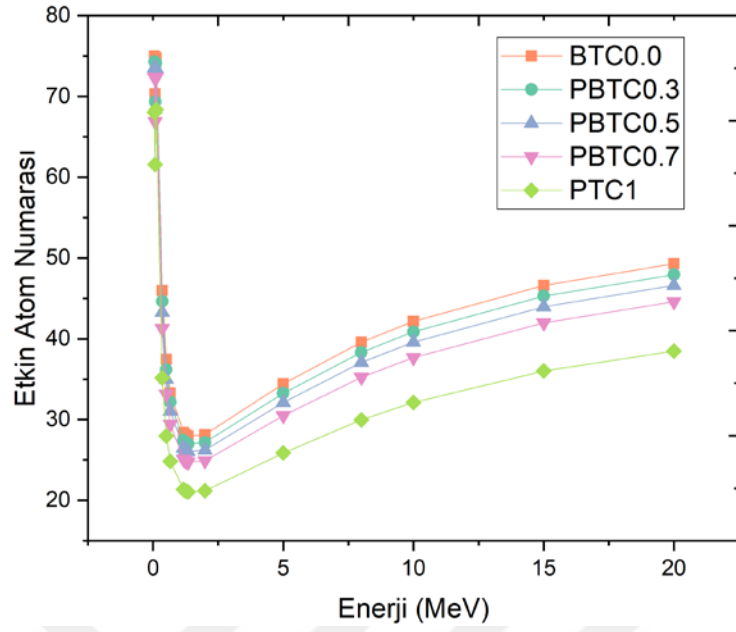
HVL, TVL ve mfp değerine sahiptir. 10-20 MeV aralığında bu değerlerdeki değişiklikler amorf cam malzememizin yapısına bağlıdır. Bu nedenle yoğunluğu artan cam karışımların HVL, TVL ve mfp değerleri azalır.



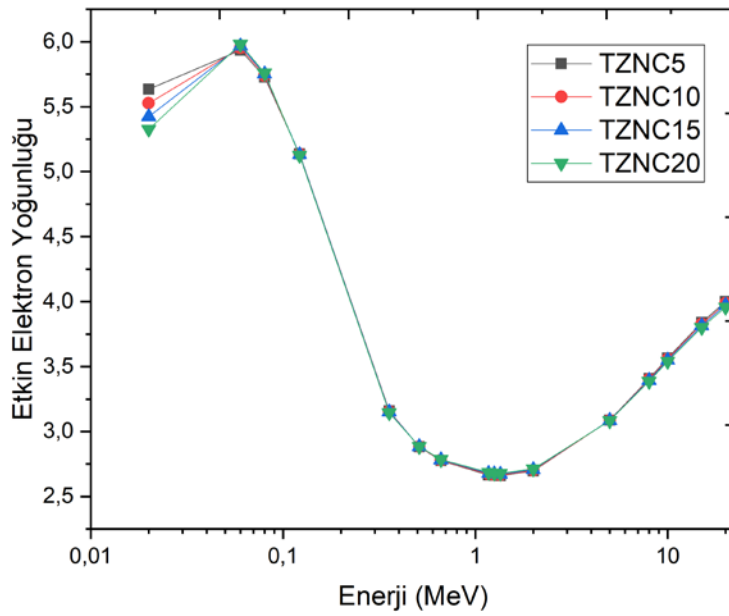
Şekil 35: TZCNX cam grubu için Z_{eff} Grafiği.



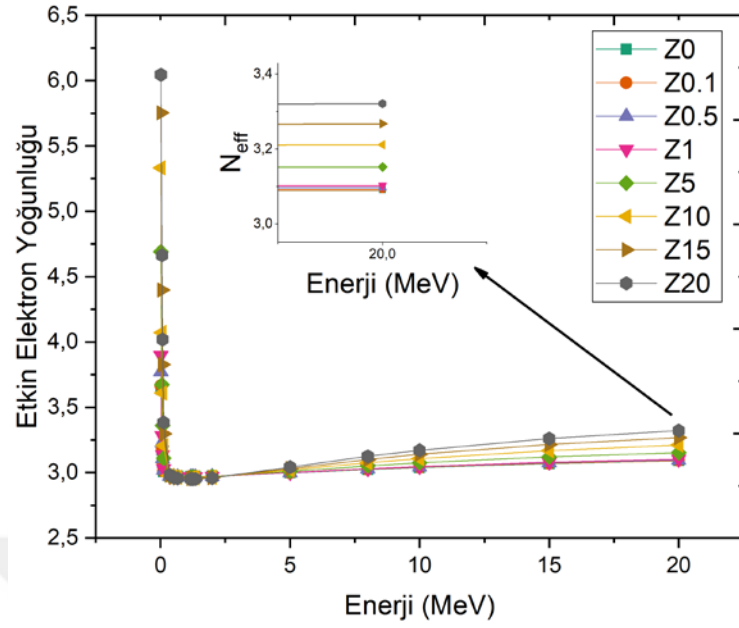
Şekil 36: ZX Cam grubu için Z_{eff} Grafiği.



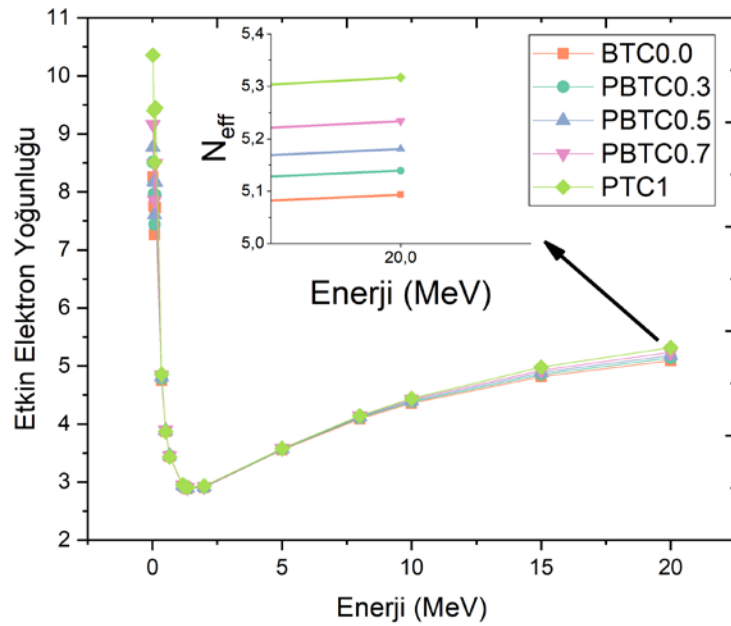
Şekil 37: BTCX Cam grubu için Z_{eff} Grafiği.



Şekil 38: TZCNX cam grubu için N_{eff} Grafiği.



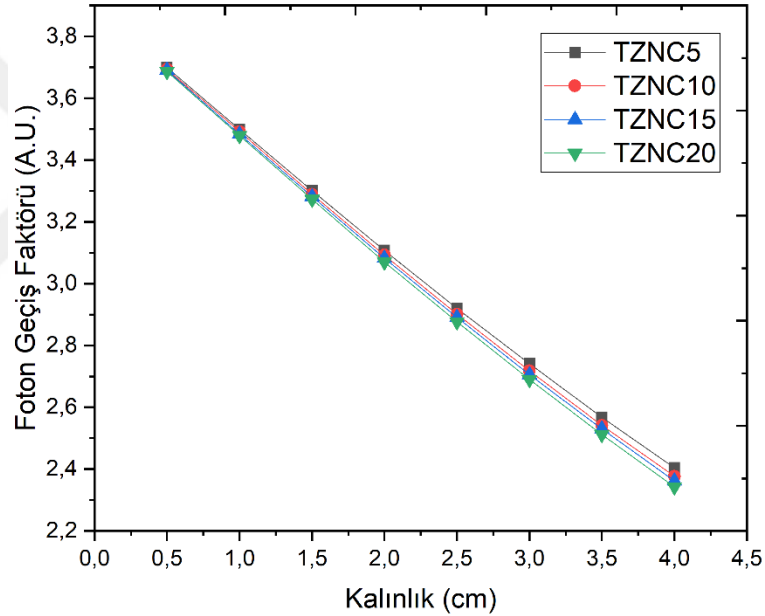
Şekil 39: ZX Cam grubu için N_{eff} Grafiği.



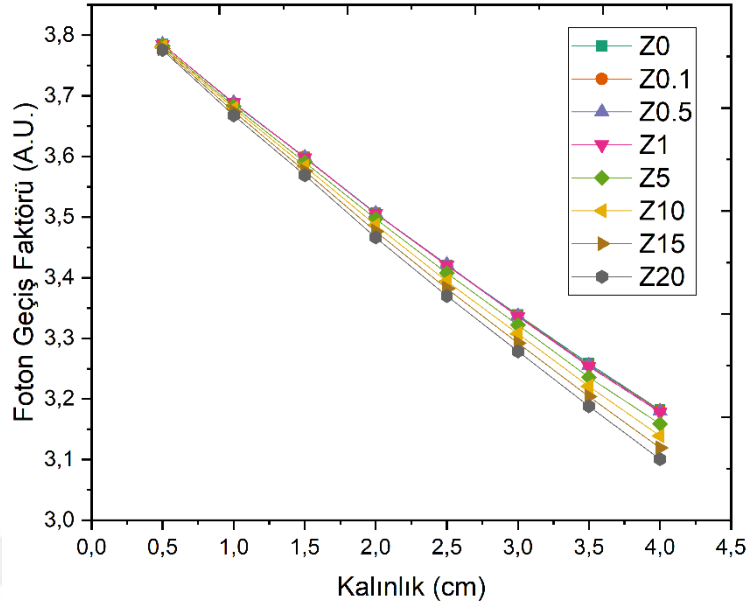
Şekil 40: BTCX Cam grubu için N_{eff} Grafiği.

Buna göre TZCN5, Z0 ve BTC0 malzemeleri en düşük yoğunluğa sahiptir. Etkin Atom Numarasındaki ve Etkin Elektron Yoğunluğundaki değişim fotonun enerjisine göre Şekil 35-37de gösterilmiştir. Z_{eff} değerleri her cam örneği için 0,06 MeV'den hızlıca artarken PTC1

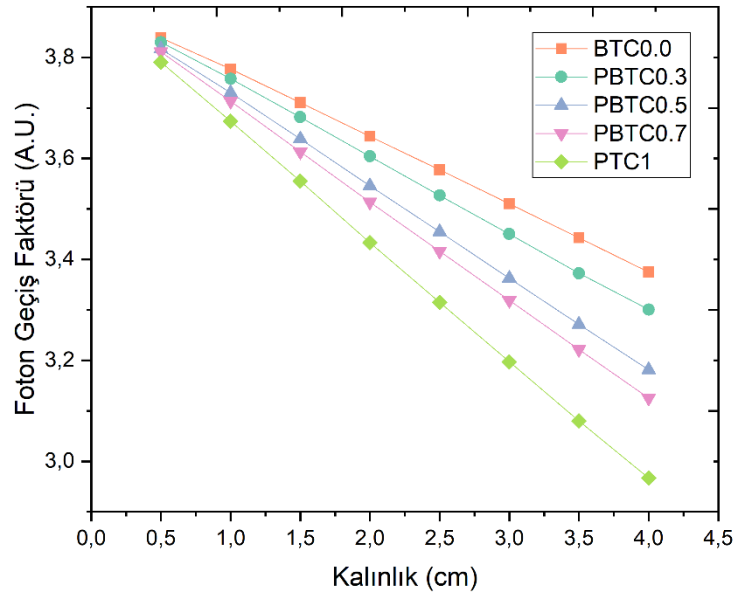
için bu davranış biraz daha aşağıda kalmaktadır. Bunun sebebi PTC1 malzemesinin MAC parametresindeki Şekil 37'ye göre fotoelektrik bölgesindeki düşüşüne bağlıdır. Çünkü Fotoelektrik Etkinin Tesir Kesiti Z^{4-5} civarındadır. Cam grupları içerisinde en yüksek Z_{eff} değeri TZCN5, Z20 ve BTC0 sahiptir. Orta enerji bölgesine geldiğimizde Compton Saçılmasının baskın olduğu bu bölge, etki çerçevesinde ZX malzeme grubu için çok bir değişikliğe uğramamaktadır, değiştirilen katkılara bağlı olarak TCZNX ve BTCX cam malzeme grubundaki değişiklik, katkıların atom numarası değerleriyle bağlantılıdır. Foton etkileşimi sürecinde elektron yoğunluğu Z_{eff} ile aynıdır. Şekil 38-40'da görüldüğü üzere N_{eff} değerleri cam malzemelerin ortalama atomik ağırlıklarından bağımsızdır. Bunu yüksek atomik ağırlığa sahip olan TCZN20, Z0 ve BTC0 camlarının N_{eff} değerleri kendi grupları içinde düşüktür.



Şekil 41: TZCNX cam grubu için TF Grafiği.

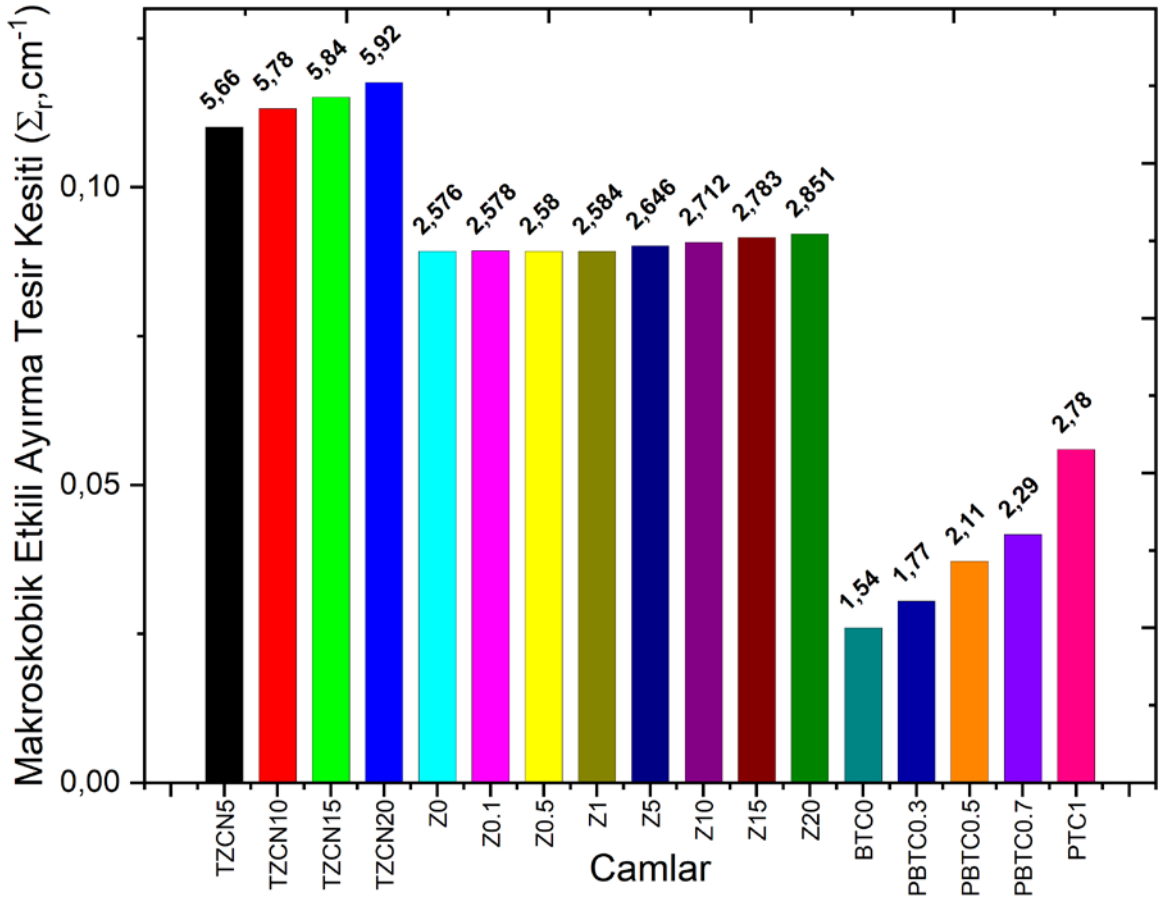


Şekil 42: ZX Cam grubu için TF Grafiği.



Şekil 43: BTCX Cam grubu için TF Grafiği.

Foton Geçiş Faktörleri (TF) MCNP4C kodu kullanılarak hesaplanmıştır. TF değerlerinden elde edilen değişime karşılık kalınlık Şekil 41-43'de her cam grubu için verilmiştir. Seçilen camlar arasında TZCN20, Z20 ve PTC1 camlarında kalınlığa bağlı hızlı bir keskin düşüş vardır. Fotonların enerjisi arttıkça kalınlığa bağlı bu düşüş keskinlik ve düzlükten uzaklaşmaktadır. Bu değerlerde bu camların fotonların geçişinde azalmalarına dair daha iyi olduklarını göstermektedir.



Şekil 44: Camların Makroskobik Etkili Çıkarma Tesir Kesiti değerleri, bar üstü bilgiler yoğunluk(g/cm³) bilgisini göstermektedir.

Kendi cam grupları içinde TZCN20, Z20 ve PTC1 Makroskobik Etkili Çıkarma Tesir Kesiti yüksek olan cam yapılarıdır. TF değerlerindeki gibi camların Σ_R değeri de benzer davranışları göstermektedir. Hepsinin nötron zırlamasına dair bir karşılaştırma yapıldığı takdirde en yüksek değere sahip TZCN20 olmaktadır. Biraz Zn elementi değişimiyle TZCNX cam grubunda etkisi görülmektedir ve bu etki ZX cam grubu için sönük kalmasının sebebi yapısındaki barındırdığı elementlerden kaynaklanmaktadır. Şekil 26 ve Şekil 34'de görüldüğü üzere etkin atom numaralarından yapısal farklılıkları anlaşılmaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında üç farklı amorf yapıdaki cam malzemelerin nükleer özellikleri incelenmiştir. Bu amorf yapıdaki cam grupları belirli oranda bileşiklerin katkılanmasıyla oluşmuştur. TZCNX cam grubu TeO_2 katkısı azaltılarak ZnO bileşiği katkılanmış ve nükleer özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. İkinci grubumuz olan ZX cam grubu için MgO bileşiği katkısı azaltılarak ZnO eklenmiş ve değişim incelenmiştir. BTCX cam grubunda ise Bi_2O_3 katkısı değiştirilerek PbO ve TiO_2 katkısıyla etkisi araştırılmıştır. Gelen fotonun enerjisine bağlı olarak nükleer özelliklerindeki değişimler, yapının radyasyon karşısında zırhlama etkisinin fark edilmesini sağlamaktadır. XCOM aracılığıyla ulaşılan MAC değerleri kullanılarak camlarımıza özgün olan LAC, HVL, TVL, mfp, Z_{eff} ve N_{eff} parametreleri elde edilmiştir. Bu parametreler elde edilirken XCOM'un Windows uyarlaması WINXCOM programı kullanılmış ve parametreler 0,02-20 MeV arasında hesaplanmıştır. MCNP4C kullanılarak TF parametreleri 2 MeV enerjili fotonların geçişine dair 0,5-4,0 cm aralığında 8 kalınlık için hesaplanmıştır. LAC değerlerine baktığımızda TZCN5, Z20 ve PTC1.0 camları 20 MeV enerjide yüksek iken sahip olduğu zayıflatma değerlerine kıyasla bir foton karşısında PTC1.0 en iyi etkiyi göstermektedir. Sahip olduğu kurşun katkısı sayesinde düşük yoğunlukta iyi bir zırhlama görevi gösterebilmektedir. Malzeme gruplarında bulunan Z20 malzemesi ZX cam grubu içerisinde gama fotonlarına karşı düşük enerji bölgesine karşılık gelen fotoelektrik etkisinin baskın olduğu durumlarda zayıflatıcı olacaktır. Bunun sebebi oluşturulduğu maddelerin düşük enerji bölgesinde daha işlevsel olmasıdır. HVL ve TVL değerlerine baktığımızda TZCN10 camı yüksek enerjilerde düşük kalarak ince zırh olarak zayıflatıcı sıfatını taşıyabilmektedir fakat compton saçılması gibi orta enerjili bölgelerde çinkonun da etkin rol oynamaya başladığı TZCN20 camı bu zayıflatıcı etkiye sahip olduğu görülmektedir. ZX cam grubunda tam anlamıyla magnezyumdan çinkoya değişim olması sebebiyle az atomik yoğunluğa sahip elementten daha yoğun bir elemente geçiş olmasıyla zırhlayıcı etkinin daha düşük kalınlıklara gitmektedir. Ağır metallere oluşan BTCX cam grubunda PTC1.0'ın klasik bir kurşun katkısının kararlı özelliğiyle çok iyi bir zayıflatma etkisine sahip olduğunu en düşük değer olmasıyla görülmektedir. HVL ve TVL'nin yanı sıra bunları destekleyen ve ilişkili olan mfp değerleri içinde aynı yorumlar söz konusu olmaktadır. Gama ışınlarıyla etkileşim hakkında ilk elden yorum katan ve malzemenin yapısından bahseden Z_{eff} sayısının yüksek olduğu durumlarda zayıflatıcı etkinin arttığı uygun şekilde görülebilmektedir. Yapısındaki az çinko ve

yüksek tellür oranına sahip TZCN5 camı en yüksek Z_{eff} değerine sahipken diğer cam gruplarında sahip Z20 ve BTC0.0 camları bu ölçüyü izlemektedir. ZX cam grubu kendisi arasında bir doğrusallık içeren Z_{eff} davranışına sahiptir. Bu doğrusallık Magnezyum ve Çinko yapısından kaynaklanan değişimlere çok açık olmadığını desteklemektedir. Bizmut son kararlı yapıdaki Kurşundan sonra periyodik tabloda yer alan bir elementtir, atomik ağırlığı ve yapısı kurşuna göre daha karmaşıktır. Bu yüzden BTC0.0'ın yapısında bulunan iki bizmut içeren bileşik sebebiyle malzemenin yapısında daha fazla etkin atomlar bulundurmaya birlikte en yüksek değere sahiptir. N_{eff} değerlerin TCZN5 ve Z20 camları Z_{eff} ile doğrudan bir uyum sağlarken BTC0.0 camı için bu durum biraz farklıdır. Bizmattan Kurşun ve Titanyuma değişen katkısı ile geçiş metallere etkisinin arttığı ağır metal içeren bu camın fotonlara karşı gösterdiği etkin elektron davranışı yüksek olmaktadır. Ampirik verileri kullanarak yapılan simülasyonla gerçek bir fotonun cam gruplarımızla etkileşimden çıkan fotonların sayımını gerçekleştiren MCNP4C kodundan elde edilen Geçiş Faktörleri için TZCN20, Z20 ve PTC1.0 camları en düşük değere sahiptir. BTCX grubundaki düşey aralık fazla olmakla birlikte TZCNX cam grubu diğerlerine göre daha yüksek bir zayıflatmaya sahip olduğu yatay aralıklardan anlaşılmaktadır. İncelediğimiz camların hızlı nötron veya nötronlara karşı zayıflatma özellikleri için hesapladığımız makroskobik etkili çıkarma kesitleri camların yoğunluklarıyla uyumlu bir davranış göstermektedir. Camlar arasında nötrona karşı en iyi zayıflatıcı özelliğe sahip TZCN20 camıdır. TZCNX cam grubunda orantısız olarak tellür fazla bulunurken sabit düşük oranda Na_2O ve CaO bulunurken az toksit Tellürün hafif metal çinko ile katılanması sonucu nükleer özellikleri belirlenmiştir. ZX cam grubunda temel yapısı B_2O_3 (boronoksit), SiO_2 (silisyumdioksik) ve Al_3O_2 (seramik)'den meydana gelmektedir. Değişen magnezyum ve çinko göre temel yapısının zayıflatma etkisinin daha öncelikli olduğu belirlenmiştir. BTCX cam grubunda Bizmut katkısı azaltılarak ağırlıklı Pb ve Titanyum katkısı artırılıyor. Bu cam grubunun Bizmut, Titanyum ve Kurşun katkısına göre çoğu değerindeki düşey aralıklardaki farklılıklar, yapısındaki sabit B_2O_3 (boronoksit) ve SiO_2 (silisyumdioksik) bileşiklerinden daha baskın zayıflatmaya sahip olduğunu nitelemektedir. Amorf cam malzemeler konusunda SiO_2 (silisyum dioksit) bileşiğinin ve radyasyon zayıflatma konusunda B_2O_3 (boronoksit) bileşiğinin etkisi görülmektedir. İncelenen üç grup içerisinde TZCN20, Z20 ve PTC1.0 camlarımız gama ışınlarına dair iyi zayıflatma özelliği göstermektedir. Nötronlara karşı zayıflatma hem de gama ışınlarını zayıflatma konusunda TZCN20 incelenen camlar arasında en iyi camdır.

KAYNAKLAR

- Abd, A. E., Mesbah, G., Mohammed, N. M., & Ellithi, A., 2016, A simple Method for Determining the Effective Removal Cross Section for Fast Neutrons. *Journal of Radiation and Nuclear Applications:An International Journal*, 2, 53-58. doi:10.18576/jrna/020203
- Abouhaswa, A., Rammah, Y., Sayyed, M., & Tekin, H., 2019, Synthesis, structure, optical and gamma radiation shielding properties of B2O3-PbO2-Bi2O3 glasses. *Composites Part B*, 218-225. doi:10.1016/j.compositesb.2019.05.040
- Agar, O., ve diğeri, 2019, Er2O3 effects on photon and neutron shielding properties of TeO2-Li2O-ZnO-Nb2O5 glass system, *Results in Physics*, 13, 102277. doi:10.1016/j.rinp.2019.102277
- Agar, O., Sayyed, M., Akman, F., Tekin, H., & Kaçal, M. R. 2019, An extensive investigation on gamma ray shielding features of Pd/Ag based alloys, *Nuclear Engineering and Technology*, 853-859. doi:10.1016/j.net.2018.12.014
- AKKAŞ, A., 2015, *Alüminyum-bor-karbür kompozit malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışının belirlenmesi, xcom bilgisayar programı ile incelenmesi ve yeni bir hibrit kompozit radyasyon zırh malzemesi önerisi*. Doktora Tezi, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı.
- Altunsoy, E., 2018, *Bilgisayarlı Tomografi Taramalarındaki Anatomik Bölgelerin Ve Organların Radyasyon Kütle Zayıflatma Katsayılarının Monte Carlo Metodu İle İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bashter, I. I., 1997, Calculation of Radiation Attenuation Coefficients For Shielding Concretes, *Ann. Nucl. Energy*, 1389-1401. doi:0306-4549
- Berger, M. J., & Hubbell, J. H., 1987, *XCOM: Photon Cross Sections on A Personal Computer*. Teknik, National Bureau of Standards, Washington, DC (USA). Center for Radiation Research. doi:10.2172/6016002

- Beer-Lambert Law*, http://www.pci.tu-bs.de/aggericke/PC4/Kap_I/beerslaw.htm [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2019]
- Chemical Bondings*, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Chemical/bond.html> [Ziyaret Tarihi: 18 Kasım 2019]
- Choudhary S., 2018, Deterministic and Stochastic Effects of Radiation. *Canc Therapy & Oncol Int J*. doi:10.19080
- Dong, M., Agar, O., Tekin, H., Kilicoglu, O., Kaky, K. M., & Sayyed, M., 2019, A comparative study on gamma photon shielding features of various germanate glass systems. *Composites Part B*, 165, 636–647. doi:10.1016/j.compositesb.2019.02.022
- Elkoshkhany, N., Essam, O., Embaby, A., 2018, Optical, thermal and antibacterial properties of tellurite glass system doped with ZnO, *Materials Chemistry and Physics*, 214, 489-498. doi:10.1016/j.matchemphys.2018.05.007
- European Parliament, 2003, Belirli Zararlı Maddelerin Kullanımını Kısıtlama Direktifi, *DIRECTIVE 2002/95/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.*
- Gordon, E., 2019, The Discovery of Radiation, [https://chem.libretexts.org/Courses/Furman_University/CHM101%3A_Chemistry_and_Global_Awareness_\(Gordon\)/05%3A_Basics_of_Nuclear_Science/5.01%3A_The_Discovery_of_Radiation](https://chem.libretexts.org/Courses/Furman_University/CHM101%3A_Chemistry_and_Global_Awareness_(Gordon)/05%3A_Basics_of_Nuclear_Science/5.01%3A_The_Discovery_of_Radiation) [Ziyaret Tarihi: 18 Kasım 2019]
- Gui, H., ve diğerleri, 2019, Glass forming, crystallization, and physical properties of MgO-Al₂O₃-SiO₂-B₂O₃ glass-ceramics modified by ZnO replacing MgO, *Journal of the European Ceramic Society*, 39, 1397-1410. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2018.10.002
- Hubbel, J., 1999, Review of photon interaction cross section data in the medical and biological context, *Physics in Medicine & Biology*, 1-22. doi:10.1088/0031-9155/44/1/001

- IAEA, 1998, *Radiation in Everyday Life*, IAEA: <https://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/radlife> [Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2019]
- Issa, S. A., & Tekin, H., 2019, The multiple characterization of gamma, neutron and proton shielding performances of $x\text{PbO}-(99-x)\text{B}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$ glass system, *Ceramics International*, 23561–23571. doi:10.1016/j.ceramint.2019.08.065
- Issa, S. A., Tekin, H., Elsaman, R., Kilicoglu, O., Saddeek, Y. B., & Sayyed, M., 2019, Radiation shielding and mechanical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ glasses using MCNPX Monte Carlo code, *Materials Chemistry and Physics*, 209-219. doi:10.1016/j.matchemphys.2018.10.064
- Kalyon, M., 2019, *Radyasyon İçeren Birimlerin Zırhlanmasında Kullanılan Farklı Tipteki Betonların Radyasyon Güvenliği İle İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilimdalı, İstanbul.
- Knoll, G. F., 2002, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons Inc.
- Krane, K. S., 1988, *Alfa Bozunması*, Nükleer Fizik, B. Sarer, Çev., Cilt I, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Krane, K. S., 1988, *Nötron Fiziği*, Nükleer Fizik, B. Sarer, Çev., Cilt II, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Lilley, J., 2001, *Nuclear Physics Principles and Applications*, John Wiley & Sons Inc.
- Madheshiya, A., Gautam, C., & Upadhyay, S., 2018, Preparation, optical and electrical properties of bismuth substituted lead. *Journal of Non-Crystalline Solids* 502, 118–127. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2018.07.068
- Mahmoud, I., ve diğerleri, 2019, Gamma, neutron shielding and mechanical parameters for lead vanadate glasses, *Ceramics International*, 14058-14072. doi:10.1016/j.ceramint.2019.04.105
- Martin, J., 2006, *Physics for Radiation Protection*, Wiley-WHC.

- Muray, R., & Holbert, K., 2015, *Gama Işınının Maddeyle Etkileşimi*, Nükleer Enerji, A. H. YILMAZ, A. AYDIN, T. BAYRAM, S. AKKOYUN, & A. BİLLUR, Çev. 7. baskı., Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Narveer Singh, K. J., 2004, Comparative study of lead borate and bismuth lead borate glass systems as gamma-radiation shielding materials, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 225, 305-309. doi:10.1016/j.nimb.2004.05.016
- Sayed, M. I., Kumar, A., Tekin, H., Kaur, R., Singh, M., Agar, O., & Khandaker, M. U. (2020). Evaluation of gamma-ray and neutron shielding features of heavy metals doped Bi₂O₃-BaO-Na₂O-MgO-B₂O₃ glass systems. *Progress in Nuclear Energy*, 103118. doi:10.1016/j.pnucene.2019.103118
- Stochastic Effects, NDT Resource Center:* <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/RadiationSafety/biological/stochastic/stochastic.htm> [Ziyaret tarihi: 17 Kasım 2019]
- Susoy, G., 2019, Effect of TeO₂ additions on nuclear radiation shielding behavior of Li₂O-B₂O₃-P₂O₅-TeO₂ glass-system, *Ceramics International*. doi: 10.1016/j.ceramint.2019.10.108
- TAEK, 2019, *Türkiye Atom Enerji Kurumu*, <https://www.taek.gov.tr/tr/> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2019]
- Tekin, H., Altunsoy, E. E., Kavaz, E., Sayyed, M. I., Agar, O., & Kamislioglu, M., 2019, Photon and neutron shielding performance of boron phosphate glasses for diagnostic radiology facilities, *Results in Physics*, 12, 1457-1464. doi:10.1016/j.rinp.2019.01.060
- Tekin, H., ve diğerleri, 2019, Characterization of a broad range gamma-ray and neutron shielding properties of MgO-Al₂O₃-SiO₂-B₂O₃ and Na₂O-Al₂O₃-SiO₂ glass systems, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 92-102. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2019.05.012
- Tekin, H., Kilicoglu, O., Kavaz, E., Altunsoy, E., Almatari, M., Agar, O., & Sayyed, M., 2019, The investigation of gamma-ray and neutron shielding parameters of Na₂O-CaO-P₂O₅-SiO₂ bioactive glasses using MCNPX code, *Results in Physics*, 1797-1804. doi:10.1016/j.rinp.2019.02.017

Tekin, H., Sayyed, M., & Issa, S. A., 2018, Gamma radiation shielding properties of the hematite-serpentine concrete blended with WO₃ and Bi₂O₃ micro and nano particles using MCNPX code. *Radiation Physics and Chemistry*, 95-100. doi:10.1016/j.radphyschem.2018.05.002

WHO, 2019, *World Health Organization*, <https://www.who.int> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2019]



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Yusuf Cenk İLTUŞ
Doğum Yeri	Nilüfer
Doğum Tarihi	23.06.1993
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	+90 532 270 03 41
E-Posta Adresi	yusufcenkiltus@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Dokuz Eylül Üniversitesi
Fakülte	Fen
Bölümü	Fizik
Mezuniyet Yılı	11.10.2017

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Nükleer Fizik