T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MONTE CARLO YÖNTEMİ KULLANILARAK ORGANİK SİNTİLATÖR OPTİMİZASYONU

Nihan ERMİŞ GÜLENÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
FİZİK PROGRAMI

DANIŞMAN
ÖĞR. GÖR. DR. ÖZGÜR AKÇALI

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MONTE CARLO KODU KULLANILARAK ORGANİK SİNTİLATÖR OPTİMİZASYONU

Nihan ERMİŞ GÜLENÇ tarafından hazırlanan tez çalışması …….. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ayşe DURUSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Derya YILMAZ BAYSOY

İstanbul Aydın Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardımını, tecrübelerini ve değerli bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana maddi ve manevi destek olan aileme ve bu çalışmanın her aşamasında motivasyonumu yüksek tutan sevgili eşim Gökhan GÜLENÇ' e teşekkür ederim.

Haziran, 2018

Nihan ERMİŞ GÜLENÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 4
1.3 Hipotez 4

BÖLÜM 2

TEMEL BİLGİLER 5

2.1 Simülasyon, Deterministik Model, Stokastik Model 5
2.2 Monte Carlo Metodu ve MCNP 6
2.3 Simülasyon Çıktılarının Güvenilirliği 9
2.4 Sintilatörler 10
2.5 Organik Sintilatörler 12
2.5.1 Organik Kristal Sintilatörler 12
2.5.2 Organik Sıvı Sintilatörler 13
2.5.3 Plastik Sintilatörler 13
2.5.4 Stoke Kayması 14
2.5.5 Kuantum Noktaları 16
2.6 Fotonun Madde ile Etkileşimi 16
2.6.1 Fotoelektrik Etki 17
2.6.2 Compton Olayı 17

2.6.3 Çift Oluşum 18
2.7 Nötronun Madde İle Etkileşimi 20
2.7.1 Elastik Saçılma 20
2.7.2 Elsatik Olmayan Saçılma 21
2.7.3 Nötron Absorpsiyonu 22

BÖLÜM 3

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI 24

3.1 Simülasyon Geometrisi 24
3.2 Parçacık Kaynağı 26
3.3 Parçacık Sayısı 26
3.4 Malzeme Optimizasyonu 27
3.4.1 Etkileşim Sayılarının İncelenmesi 27
3.4.2 Etkileşim Türlerinin İncelenmesi 29
3.5 Kalınlık Optimizasyonu 31
3.5.1 Gerçekleşen Reaksiyon Miktarlarının İncelenmesi 31
3.5.2 Yüzey Akısı ve Bırakılan Enerjinin İncelenmesi 33

BÖLÜM 4

KAYNAKLAR 38

EK-A

MCNP KOD ÖRNEĞİ 40

ÖZGEÇMİŞ 41

SİMGE LİSTESİ

θ	Parçacık saçılma açısı
τ	Fotonun aldığı yol başına fotoelektrik olay gerçekleşme olasılığı
γ	Foton parçacığı (Gama ışığı)
E	Enerji
Z	Atom numarası
λ	Dalga boyu
σ	Fotonun aldığı yol başına Compton olayı gerçekleşme olasılığı
κ	Fotonun aldığı yol başına çift oluşum gerçekleşme olasılığı
A	Kütle numarası
n	Nötron
P	Proton
α	Alfa parçacığı (Helyum atom)
N	Parçacık sayısı

KISALTMA LİSTESİ

eV	Elektron volt
MCNP	Monte Carlo Nano Particle
MeV	Mega elektron volt
PET	Positron Emission Tomography
PMT	Photomultipliar Tube
SiPM	Silicon Photomultipliar
SNM	Special Nuclear Materials
SPECT	Single Photon Emission Computed Tomography

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 İnorganik scintilatörlerin tarihsel gelişimi [3] 2
Şekil 2.1 Bir nötronun malzeme içerisindeki rastgele etkileşim kayıtları [10] 7
Şekil 2.2 MCNP kodunun çalışma prensibi 8
Şekil 2.3 Sintilatör ve PMT 11
Şekil 2.4 Silikon Fotoçoğaltıcı [12] 12
Şekil 2.5 Stoke kayması 15
Şekil 2.6 Plastik sintilatörün çalışma prensibi 15
Şekil 2.7 Kuantum noktasının absorpsiyon ve emisyon dalga boyu 16
Şekil 2.8 Fotoelektrik olay 17
Şekil 2.9 Fotoelektrik tesir kesitleri 17
Şekil 2.10 Compton olayı 18
Şekil 2.11 Compton olayı tesir kesitleri 18
Şekil 2.12 Çift oluşum 19
Şekil 2.13 Çift oluşum tesir kesitleri 19
Şekil 2.14 Fotonun madde ile 3 temel etkileşiminin, foton enerjisi ve Z ile ilişkisi [14] . 20
Şekil 2.15 Elastik saçılma 21
Şekil 2.16 Elastik olmayan saçılma 22
Şekil 3.1 Simülasyon geometrisinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünümü 25
Şekil 3.2 PPO Konsantrasyonunun foton etkileşimi ve kalınlıkla ilişkisi 27
Şekil 3.3 POPOP Konsatrasyonunun foton etkileşimi ve kalınlık ile ilişkisi 28
Şekil 3.4 Konsantrasyonunun nötron etkileşimi ve kalınlık ile ilişkisi 28
Şekil 3.5 POPOP Konsantrasyonunun nötron etkileşimleri ve kalınlıkla ilişkisi 29
Şekil 3.6 Katkılı Plastik sintilatörde nötron reaksiyonlarının kalınlıkla değişimi 31
Şekil 3.7 Katkılı Plastik sintilatörde foton reaksiyonlarının kalınlıkla değişimi 32
Şekil 3.8 0.6 MeV'lik Nötron Kaynak için yüzey akısının kalınlık ve parçacık enerjisi ile değişimi 33
Şekil 3.9 0.6 MeV'lik Nötron Kaynak için yüzey akısının kalınlık ile değişimi 33
Şekil 3.10 0.6 MeV'lik Nötron kaynak için bırakılan enerjinin parçacık enerjisi ve kalınlıkla değişimi 34
Şekil 3.11 0.6 MeV'lik Nötron kaynak için bırakılan enerjinin parçacık enerjisi ile değişimi 34
Şekil 3.12 0.6 MeV'lik Foton kaynak için yüzey akısının parçacık enerjisi ve kalınlık ile değişimi 35
Şekil 3.13 0.6 MeV'lik Foton kaynak için yüzey akısının kalınlık ile değişimi 35

Şekil 3. 14 0.6 MeV'lik Foton kaynak için bırakılan enerjinin parçacık enerjisi ve kalınlık ile değişimi..... 36
Şekil 3.15 0.6 MeV'lik Foton kaynak için bırakılan enerjinin kalınlık ile değişimi..... 36

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Lüminesant katkılar ve çıkış emisyonu dalga boyları [13] 14
Çizelge 2.2 Nötron absorplanma reaksiyonları 23
Çizelge 3.1 Parçacık sayıları ile simülasyon süresi ve bağıl hatanın değişimi 26
Çizelge 3.2 Katkıların parçacık etkileşimlerine etkisi 30

ÖZET

MONTE CARLO YÖNTEMİ KULLANILARAK ORGANİK SİNTİLATÖR OPTİMİZASYONU

Nihan ERMİŞ GÜLENÇ

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI

Bilimin ve teknolojinin birçok farklı alanında etkin şekilde kullanılan simülasyon yöntemleri, nükleer fizik uygulamalarında, güvenlik, maddi kaynak ve zaman olguları açısından büyük bir kolaylık sağlamış ve önemli bir araç olmuştur. Nötron, foton ve elektronun madde ile etkileşimini simüle etme becerisine sahip Monte Carlo Nükleer Parçacık Taşınma (MCNP) kodu başarılı örnek uygulamaları ile sintilatörlerin tasarımında da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada MCNP kodu kullanılarak plastik bir sintilatörün kalınlık ve katkı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonda ana malzeme olarak polistiren, birincil katkı olarak PPO (2,5-Diphenyloxazole) ve ikincil katkı olarak POPOP (1,4-bis [5-phenyloxazol-2yl] benzene) kullanılmıştır. Silindirik yapıdaki sintilatör modelinin 0.2 ile 2.5 MeV enerji aralığındaki simülasyonları ile öncelikle kalınlığı belirlenmiş daha sonra 0.6 MeV' de farklı birincil ve ikincil katkıların etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sintilatör, MCNP, katkı optimizasyonu, PPO, POPOP

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF ORGANIC SCINTILLATOR USING MONTE CARLO METHOD

Nihan ERMİŞ GÜLENÇ

Department of Phsysics

MSc. Thesis

Adviser: Assist Prof. Özgür AKÇALI

Simulation methods that are used effectively in many different areas of science and technology have provided a great convenience and an important tool in terms of safety, material resources and time in nuclear physics applications. Monte Carlo Nuclear Particle Transport (MCNP) code, which has the ability to simulate neutron, photon, and electron interaction with matter, is also used in the design of scintillators with succesful sample applications.

In this study, thickness and additive optimization of a plastic scintillator was performed using MCNP code. In the optimization, polystyrene was used as the main material, PPO as the primary additive and POPOP as the secondary additive. The simulations of the cylindrical scintillator model are done at 0.2 to 2.5 MeV energy range. Innitialy the effective thickness is determined and then the effect of different primary and secondary additives at 0.6 MeV are investigated.

Keywords: Scintillator, MCNP, additive optimization, PPO, POPOP

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kuantum teorisinin gelmesi ile klasik fiziğin zorladığı deterministik yaklaşımın yerini olasılıksal yaklaşıma bırakması simülasyon programlarında da aynı geçişin yapılmasını sebep olmuştur. Bu noktada deterministik metoda sahip bilgisayar programlarının modellemede zorlanacağı karmaşık problemlerde oldukça faydalı bir program olan MCNP kodu, radyoterapi, radyasyon önlemleri ve ölçümü, nükleer güvenlik gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

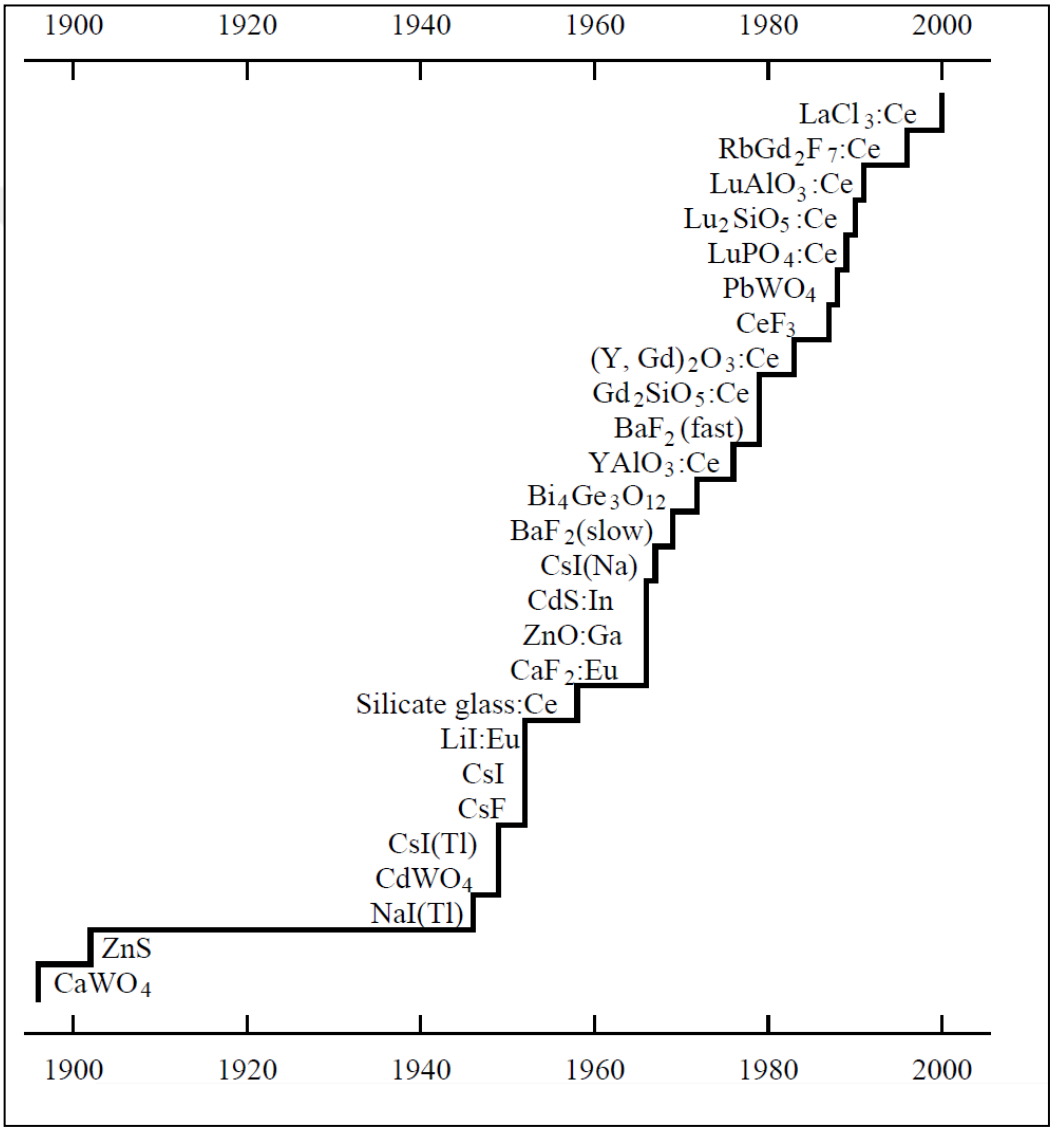
Radyasyonun tayininde birden fazla sintilatör tipi kullanılmakta olup hepsinin avantajlı ve dezavantajlı olduğu noktalar bulunmaktadır. Plastik sintilatörlerin avantajları arasında hızlı tepki vermeleri, kolay üretilmeleri, şekillendirilebilmeleri ve çeşitlilikleri gelmektedir [1]. Ayrıca suya, havaya ve birçok kimyasala inert oldukları için radyoaktif numuneler ile direk temas edebilirler [2]. Üretim maliyetlerinin en aza indirilebilmesi için sintilatörün yapısının ve içeriğinin en uygun şekilde seçimi çok önemlidir.

Bu çalışmada Monte Carlo metodu kullanılarak plastik bir sintilatör optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonda ana malzeme olarak polistiren, birincil katkı olarak PPO ve ikincil katkı olarak POPOP kullanılmıştır. Silindirik yapıdaki sintilatör modelinin 0.2, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8 ve 2.5 MeV enerjilerindeki simülasyonları ile öncelikle kalınlığı belirlenmiş daha sonra aynı enerjilerde farklı birincil ve ikincil katkıların etkisi incelenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

İlk keşfi 19. yüzyılın sonlarına dayanan sintilatör malzemeler günümüzde nükleer tıp, astrofizik, madencilik, güvenlik, tahribatsız muayene, parçacık fiziği gibi birçok alanda

kullanılmaktadır. İlk zamanlarda daha basit, film inorganik sintilatör malzemeler kullanılmasına karşın, sintilasyon sürecinin zaman içerisinde daha iyi tanınmasıyla çok çeşitli organik ve inorganik sintilatör malzemeler keşfedilmiş ve özel amaçlar için kullanılmıştır. Sintilatörlerin zaman içerisinde çeşitlenmesi ile amaca daha uygun sintilatörlerin belirlenmesi ve optimizasyonu büyük önem kazanmıştır. Bu noktada devreye giren Monte Carlo kodunun bahsi geçen bütün alanlarda üretim öncesi tasarımda kullanılması neredeyse kaçınılmaz hale gelmiştir.



Şekil 1.1 İnorganik sintilatörlerin tarihsel gelişimi [3]

Nükleer tıp alanındaki tayin ve görüntüleme cihazlarının tasarımı sintilatör özelliklerinin sınırlarının zorlandığı konuların başında gelmektedir. Modern tıbbi yaklaşımın ortaya koyduğu kişisel tedaviye olan odaklanma, izotopik görüntülemeyi, dedektör

hassasiyeti, yer, zaman ve enerji çözünürlüğü konularında gelişime zorlamaktadır. Son yıllardaki sintilasyon ile ilgili çalışmalar, dünyadaki kanser vakalarının artışı ve erken teşhisin önemi sebebiyle, özellikle izotopik görüntüleme yöntemleri olan Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) ve Positron Emission Tomography (PET) üzerinde yoğunlaşmaktadır. İlgili yöntemlerin istenilen hassasiyete ve doğruluğa ulaşabilmesi cihazın kalbi niteliğindeki sintilatör malzemelerin optimizasyonuyla direk olarak ilişkilidir. Monte Carlo kodu 1995 yılından beri tomografi alanındaki sintilasyon malzemeleri hakkındaki çalışmalarda kullanılmıştır. Örnek olarak, Mahani vd. [4] pikseller haline getirilmiş CsI(Na) kristallerinin daha yüksek çözünürlük vermesi için Monte Carlo kodu ile optimizasyonunu gerçekleştirilmiş ve pikselleştirilmiş dedektörlerden en iyi kalitede sonuç elde etmek için Monte Carlo optimizasyonunun şart olduğunu belirtmiştir. Çalışmanın sonucunda dedektör hassasiyetinden ödün verilerek daha yüksek çözünürlük elde edildiği ve 1.5x1.5 mm^2 boyutundaki kristallerin ve 0.1 mm' lik epoksi boşlukların en uygun boyutlar olduğu belirlenmiştir.

SPECT ve PET gibi tomografik yöntemlerde kullanılan radyoaktif maddelerin doğru seçimi de büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamdaki karşılaştırmalar yine Monte Carlo kodunun yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Örneğin bir çalışmada (Guimaraes vd. [5]) üzerinde ^{166}Ho ve ^{90}Y kaynakları bulunan mikroküreciklerin karaciğere gönderilmesi ile oluşan ışımalar simüle edilmiştir. Çalışma sonucunda ^{166}Ho' un kaynak bölgesinin belirlenmesi noktasında daha hassas olduğu belirtilmiştir. Nükleer tıp alanındaki bu ve benzeri çalışmalar sayesinde erken teşhisin çok büyük önem kazandığı kanser vakalarının teşhisi ve tedavisi daha kesin ve daha doğru şekilde gerçekleşmeye devam etmektedir.

Sintilatörlerin önemli kullanım alanlarından biri de güvenlik taramalarıdır. Bu alanda kullanılan cihazların tasarımı, sorunları ve gelişimi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu alanda Marc Gerrit Paff mevcut güvenlik kontrol sistemlerinde sıkça yaşanan yanlış alarm sorununu çözmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir [6]. Bu çalışmada çeşitli organik sintilasyon dedektöreri kullanan radyasyon kontrol monitörleri MCNP kodunun yardımıyla tasarlanmış, imal edilmiş ve test edilmiştir. Kontol noktalarından geçen tek veya birden fazla radyasyon kaynağının anında tayinini gerçekleştirilebilmesi için bir takım algoritmalar oluşturulmuştur. Algoritma içerisine

özel nükleer malzemeler (SNM) ve sık kullanılan medikal izotoplar eklenmiştir. Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezi' nde çeşitli radyasyon kaynakları ile yapılan testlerin sonucunda radyasyon tayin monitörlerinin özel nükleer malzemeler ile istenmeyen radyasyon kaynaklarını ayırt edebildiği görülmüştür. Radyasyon tayin geçitlerinde kullanılan sintilatörler ile ilgili MCNP simülasyonu ile desteklenmiş bir çalışma da Clarke vd. tarafından gerçekleştirilmiştir [7]. Bu çalışmada ^{3}He radyasyon kontrol geçidi (RPM) referans alınarak, üç farklı organik sıvı sintilatör farklı şekil ve boyutlarda kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. 7.62 cm çapında ve yüksekliğinde, 12.7 cm çapında ve yüksekliğinde, 25 cm çapında ve yüksekliğinde üç farklı sıvı organik sintilatör testedilmiş ve karşılaştırma için arka plan ve Cf-252 nötron ölçümleri kaydedilmiştir. Önceden belirlenmiş boyutlardaki dedektörlerin sayısının, arzu edilen hatalı alarm oranları içerisinde belirlenmesi için alıcı işletim karakteristiği (ROC[1]) eğrisi adı verilen istatistksel yöntem kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 12.7 cm çapında ve yüksekliğindeki sıvı organik sintilatörün, 10000' de 1' den az yanlış alarm oranının altında en az sayıda dedektör gerektirdiği ortaya konmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı MCNP kodunun yardımıyla belirli birincil ve ikincil katkılara sahip plastik sintilatörün en uygun maliyetli olacak şekilde boyutlarının ve içerik oranlarının belirlenmesidir.

1.3 Hipotez

MCNP kodunun kullandığı veri dosyaları deneysel çalışmalara dayandığından ve kuantum mekaniğinin olasılıksal yapısı kullanılarak organik sintilatörün geometrisi ve malzeme içeriğinin optimizasyonu gerçekleştirilebilir.

[1] Receiver operating characteristics

BÖLÜM 2

TEMEL BİLGİLER

2.1 Simülasyon, Deterministik Model, Stokastik Model

Simülasyon, teorik yada fiziksel gerçek bir sistemin, bilgisayar ortamında modellendikten sonra bu model ile sistemin işletilmesi amacına yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi, bu sistemlerin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığıyla değerlendiren bir tekniktir.

Simülasyonda kullanılan modellemelerde iki tür temel yaklaşım söz konusudur. Birinci model deterministik model diğeri ise olasılıksal ya da diğer bir adıyla stokastik modeldir. Deterministik modeller neden ve sonuç ilişkisinin tam olarak açıklanabildiği ve formüle edilebildiği modeller olup stokastik modeller ise neden ile sonuç ilişkisinin çok fazla parametreye bağlı olmasından dolayı tek bir sonuç yerine oluşabilecek sonuçların olasılıklarını değerlendirilmesini amaçlayan modellerdir.

2.1.1 Deterministik Model

Deterministik modellerde bütün girdi ve çıktı bağıntıları kesin olarak tanımlanmıştır. Girdi ve çıktıların kendilerine has ve iyi tanımlanmış yapıları vardır. Modelin içeriğinde olasılığa bağlı bir hesaplama yoktur. Aynı şartlar altındaki model aynı çıktıları verir.

Avantajları:

- Hızlı hesaplanabilir

- Kolay girdi dosyaları

Dezavantajları:

- Model içerisinde yapılması gereken yaklaşımlar (kabuller) sebebiyle düşük doğruluğa sahip.

2.1.2 Stokastik Model

Stokastik modellerde bir veya birden fazla girdi parametresi olasılıksal sonuçlar verir. Dolayısıyla aynı girdi birden farklı çıktı oluşturabilir. Simülasyonun birden fazla tekrarı ile olasılık dağılımı elde edilir.

Avantajları:

- Yüksek doğruluk

Dezavantajları:

- Zorlayıcı girdi dosyaları
- Uzun hesaplama süresi

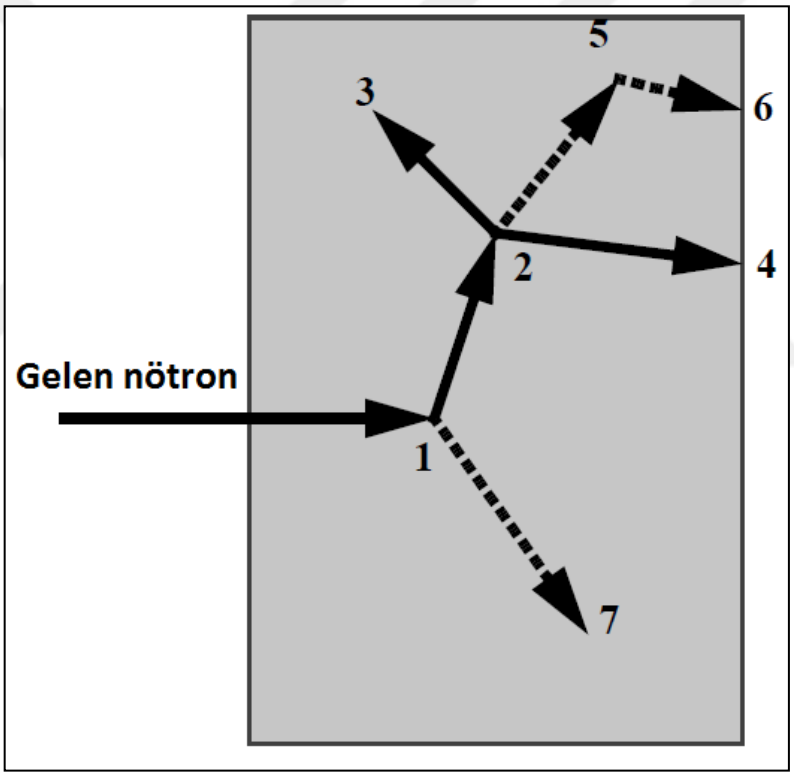
2.2 Monte Carlo Metodu ve MCNP

Monte Carlo metodu problemleri prensipte deterministik olsa bile rastgelelik ile çözmeye çalışan hesaplama algoritmaları bütünü olarak tanımlanabilir. Algoritmaların dayanağı ilgili modelin tekrarlanan rastgele simulasyonlardır. Özellikle 1930 yıllarından sonra kullanılmaya başlayan bu yöntem Los Alamos laboratuvarlarında nükleer silah geliştirilmesi projesinde çalışan bilim adamları tarafından oluşturulmuştur. Sonuçları diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, riski daha iyi temsil etmesi nedeniyle mühendislik, eğitimde ölçme ve değerlendirme, askeri savunma teknolojisi, fen ve mühendislik alanında, nükleer teknolojisi ve uzay sisteminde, istatiksel analiz ve sosyoekonomik sahalarında sıkça başvurulan bir yöntemdir [8]. Daha genel olarak, kullanıcıların çok çeşitli türdeki problemlerin çözümlerini kestirmesine izin veren, yaygınlıkla kullanılan sayısal bir prosedürdür [9].

MCNP nötron, foton ve elektronların zamana bağlı sürekli enerji taşınımını (transport), hali hazırdaki nükleer enerji ve atomik bilgileri kullanarak üç boyutlu geometride çözen

bir koddur. Kod farklı enerji aktarımı modlarında kullanılabilir; sadece nötron, sadece foton, sadece elektron taşınımı, nötron etkileşimleri sonucu oluşan fotonları içeren nötron ve fotonun birlikte taşınımı, nötron/foton/elektron taşınımı, foton/elektron taşınımı ve elektron/foton taşınımı [10].

MCNP kodu bir kaynaktan gelen birçok parçacığın oluşturulmasından ömrünün sonlanmasına kadarki süre içerisndeki etkleşimlerini takip eden ve kaydeden bir programdır. Bahsi geçen etkileşimler fizik kuralları ve parçacıkların ilgili maddeler ile etkileşim olasılıklarının birleşimiyle rastgele oluşturulur. Aşağıda şekil, bir nötronun parçalanabilir bir malzeme içerisindeki ömrüne ait rastgele etkleşim kayıtlarını içermektedir.



Şekil 2.1 Bir nötronun malzeme içerisindeki rastgele etkileşim kayıtları [10]

Yukarıdaki rastgele etkileşimler sırasıyla aşağıdaki şekildedir:

1- Nötron saçılımı, foton oluşumu

2- Fizyon, foton oluşumu

3- Nötron yakalanması

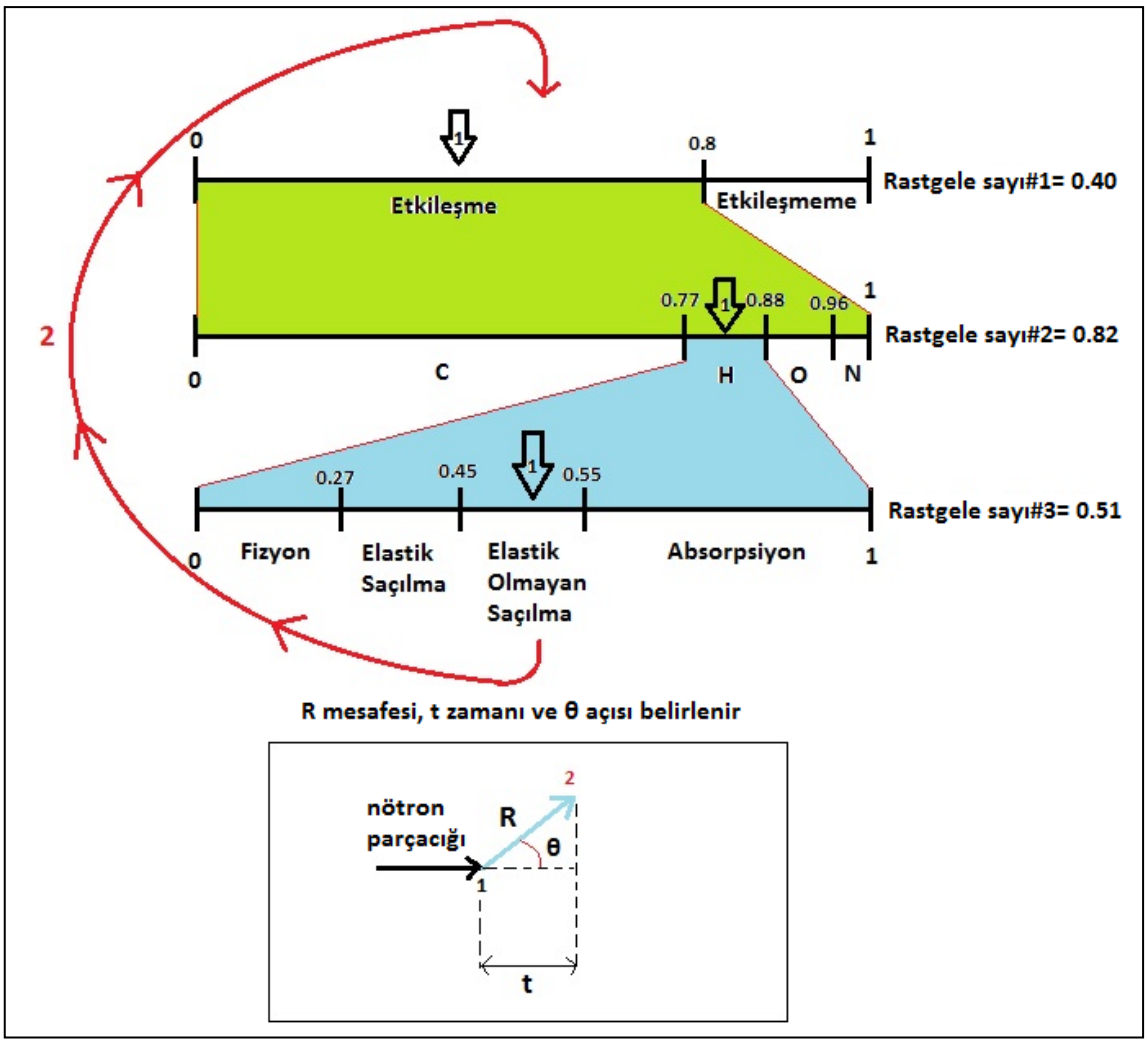
4- Nötron kaçışı

5- Foton saçılması

6- Foton kaçısı

7- Foton yakalanması

MCNP kodu sıralı olasılık senrayolarına dayalı bir yöntem kullanır. Olasılığa bağlı parametreler için kararı, kendi oluşturduğu 1 ve 0 arasındaki bir değer ile verir ve bir sonraki olasılığa bağlı parametreye geçer. Her bir parçacık için ilgili parçacık model alanından çıkana kadar ya da absorplanıp yok olana kadar takip edilir. Parçacığın ömrü sırasında oluşan diğer parçacıkların davranışı daha sonra incelenmek üzere kaydedilir.



Şekil 2.2 MCNP kodunun çalışma prensibi

Şekil 2.2’ de tesir kesrine yaklaşan bir nötron parçacığının davranışı şematik olarak gösterilmiştir. İlk belirlenen rastgele sayı ile nötronun ortam ile etkilşip etkileşmeyeceğine karar verilir. Bir sonraki adımda ikinci rastgele sayı ile nötronun hangi element ile etkileşim yapacağı belirlenir. Üçüncü rastgele sayı ile hangi etkileşimin gerçekleşeceğinin kararı verilir. Nötronun etkileşiminin sonucu olan R mesafesi, bu mesafe boyunca geçen t zamanı ve θ açısı belirlenir. Nötron bir sonraki tesir kesitine geldiğinde ilgili olasılıksal adımlar tekrar edilir. Şekilde verilmiş olan olasılıksal adımlar ve olasılık değerleri rastgele seçilmiştir.

2.3 Simülasyon Çıktılarının Güvenilirliği

MCNP kodu verdiği çıktı istenen farklı türdeki bilgileri (tally) güvenirliğini 10 farklı istatistiksel kontrolden geçirir. MCNP kodunun istatistiksel testlerinde kullandığı terimler ve ilgili ölçütler aşağıdaki gibidir:

Tally ortalaması (x_{ort}) : Elde edilen tally bilgilerinin aritmetik ortalamasıdır.

1- Tally ortalaması değeri problemin yarısından itibaren aşağı ya da yukarı eğilim göstermemeli sadece rastgele salınımlar içermelidir.

Relatif Hata (R): Tally değerlerinin standart sapmasının tally ortalamasına oranıdır.

2- Bağıl hata değeri parçacık sayısı arttıkça azalmalı,

3- Bağıl hata değerinin azalma oranı 1/(N)2 şeklinde olmalı,

4- Bağıl hata değeri 0.1’ den küçük olmalıdır.

Varyansın Varyansı (VOV): Relatif hata değerinin ne kadar doğruyu yansıttığının kontrolünü sağlayan parametredir. Relatif hata değerlerinin varyansını gösterir.

5- Varyansın varyansı 0.1’ den küçük olmalı,

6- Varyansın varyansı parçacık sayısı arttıkça azalmalı,

7- Varyansın varyansı azalma oranı 1/(N)2 şeklinde olmalıdır.

Başarım Ölçüsü (Figure of Merit): Sistemin performansını alternatiflerine göre karakterize eden bir değerdir. T: dakika cinsinden simülasyon süresi olmak üzere:

FOM=1/(R^2T) şeklinde ifade edilir.

8- Başarım ölçüsü (figure of merit) değerinin davranışı rastgele olmalı

9- Başarım ölçüsü değeri parçacık sayısı arttıkça sabit kalmalı

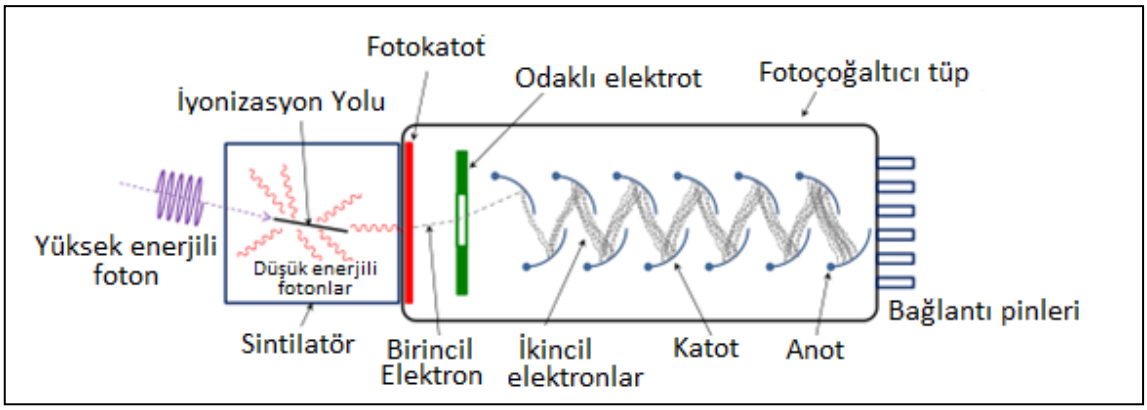
Olasılık dağılım fonksiyonu: MCNP kodunun tally ortalamasının güven aralığı tahminlerinin kalitesinin değerlendirilmesine olanak sağlamak üzere oluşturduğu bir fonksiyondur.

10- Olasılık yoğunluğu fonksiyonunun kayması 3'ten büyük olmalıdır.

2.4 Sintilatörler

Yüklü bir parçacık bir maddenin içerisinden geçtiği zaman arkasında içerisinden geçtiği maddenin uyarılmış moleküllerini bırakır. Belli tip moleküller bu enerjinin küçük bir kesrini (~%3) optik fotonlar olarak yayarlar [1]. Sintilasyon (ışıldama) olarak adlandırılan bu sürecin gerçekleştiği yapılara sintilatör denmektedir. Parçacık dedektörü olarak ilk defa kullanılan materyal bir sintilatördür. 1903 yılında William Crookes, ZnS ekrana etki eden alfa parçacıkları ile sintilasyonu inceleyen ilk kişi olmuştur [2].

Sintilatörlerin oluşturduğu fotonların enerjisi tayin edilemeyecek kadar küçüktür. Bu sebeple fotoçoğaltıcı tüp (PMT) denilen yapılar kullanılarak nihai olarak 10^6 kat bir enerji artışı sağlanır. Sintilatörden çıkan foton, fotokatota çarpar ve fotokatottan çıkan elektronlar oluşturulmuş elektrik alan yardımıyla ilk dinot üzerine düşer. Dinotun üzeri, gelen her bir elektron için birden fazla elektron yayan özel bir malzeme ile kaplıdır. Böylelikle sıralı haldeki dinotlar sonucunda PMT'ye giren her bir fotona karşı ölçülebilir bir sinyal elde edilmiş olur.

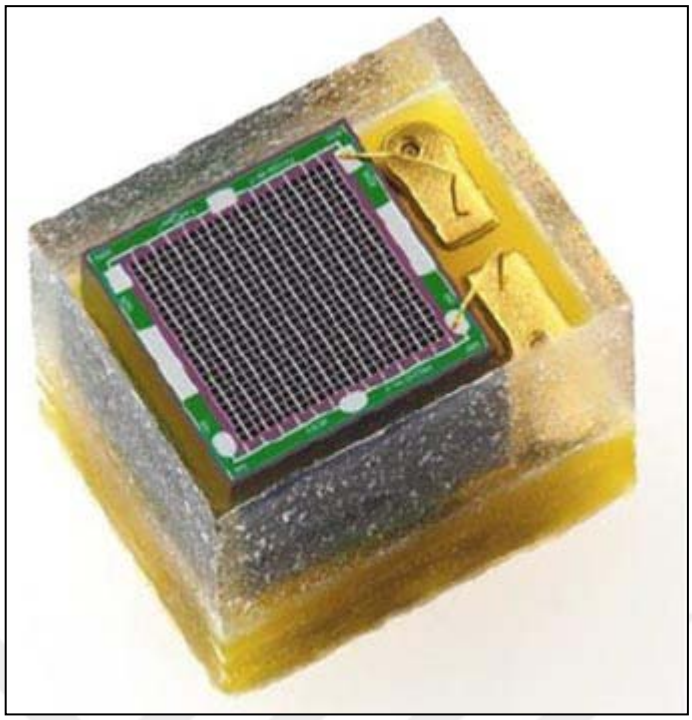


Şekil 2.3 Sintilatör ve PMT

Son yıllarda geleneksel fotoçoğaltıcı tüplerden farklı bir tasarıma sahip olan silikon fotoçoğaltıcılar (SiPM) geliştirilmiştir. Fotonun silikon içerisindeki ilerleme mesafesi üzerinden dalga boyunun ve enerjisinin belirlenmesi prensibine dayanan SiPM'lerin geleneksel PMT' lere göre büyük avantajları bulunmaktadır. Bunları sıralamak gerekirse:

- Geniş bir dalga boyu aralığında yüksek kuantum verimi
- Manyetik alana duyarsızlık
- Çok küçük boyutlarda algıçlar üretilmesine imkan vermesi
- Yüksek zaman performansı
- Düşük fiyat
- Radyasyon hasarına dayanıklılık
- Tek bir fotoelektronu bile algılayabilme hassasiyeti
- 10^6 mertebesinde bir kazanç [11].

Bu aletlerin dezavantajı ise sıcaklık değişimine karşı duyarlı olması ve dolayısı ile çok fazla gürültüye sebep olmasıdır.



Şekil 2.4 Silikon Fotoçoğaltıcı [12]

2.5 Organik Sintilatörler

Organik sintlatörler benzen halkası içeren aromatik hidrokarbon bileşikleridirler. Kendi içerisinde organik kristaller, organik sıvılar ve plastik sintilatörler olarak 3 grupta incelenirler.

2.5.1 Organik Kristal Sintilatörler

Organik kristaller tek bir materyalden oluşan sintilatörlerdir. Önemli organik kristal sintilatörler; naftalin ($C_{10}H_8$), antrasen ($C_{14}H_{10}$) , trans Stilbendir ($C_{14}H_{12}$).

Avantajları

- Kısa floresan süresi: birkaç ns (istisnai olarak antresan yaklaşık 30 ns)
- Mekanik olarak dayanıklılık

Dezavantajları

- Anizotropik ışık çıkışı
- Mekanik olarak işlenmesi zor

2.5.2 Organik Sıvı Sintilatörler

Organik sıvı sintilatörler bir veya birkaç organik sintilatörün organik bir çözücü içerisinde çözünmesi ile oluşurlar. Önemli sıvı sintilatörler; p-Terfenil (C_8H_{14}), PPO (CH_3CHCH_2O), PBD ($C_{20}H_{14}N_2O$), önemli organik çözücüler; polistiren (C8H8), toluen (C_7H_8) ve ksilen (C_8H_{10})' dir.

Avantajları

- Hızlı florasan özelliği : 3-4 ns
- Katkı eklenebilirlik

Dezavantajları

- Safsızlıklara karşı hassasiyet (özellikle oksijene)
- Sıvının kapalı bir sistemde bulunması sebebiyle istenilen boyut ve şekillerde tasarlanma zorluğu
- Sıvı organiklerin yüksek yanıcılık özelliği

2.5.3 Plastik Sintilatörler

Plastik sintilatörler sıvı organik sintilatörlerin katı hali olarak düşünülebilir. Sıvı organik sintilatörler ile benzer özellik gösterirler fakat ek olarak bir kap ihtiyacı yoktur [2].

Avantajları

- İstenilen boyut ve şekillerde tasarlanabilme
- Su, hava ve birçok kimyasala karşı dayanıklılık
- Ucuz maliyet
- Hızlı floresan özelliği

Dezavantajları

- Radyasyona karşı düşük dayanıklılık

Plastik sintilatörler (sıvı organik sintilatörler gibi) 2 farklı temel bileşenden oluşmaktadır.

1- **Organik çözücü**: Plastik sintilatörün ana malzemesidir. İçerisinde bir veya birden fazla sintilatör katkı içerir. Önemli organik çözücüler; polistiren (C_8H_8), poliviniltoluen ($CH_2CH[C_6H_4CH_3]$), polimetil metakrilat ($C_5O_2H_8$)

2- **Lüminesant katkılar:** Organik çözücü içerisinde bulunan birincil, ikincil ve nadiren üçüncül katkılardır. Geleneksel PMT' lerin 408 nm altındaki dalga boyuna sahip ışığa tepkisi büyük oranda düşmektedir. Lüminesant katkılar, sintilasyon özelliğine sahip tek bir çözücüden çıkan fotonların dalga boyunun PMT' lerin algılayabileceği aralığa çekilmesi için kullanılan malzemelerdirler ve bu sebepten "dalga boyu kaydırıcı" olarak da adlandırılırlar. Önemli lüminesant katkılar ve çıkış ışığı dalga boyları aşağıdaki listede verilmiştir.

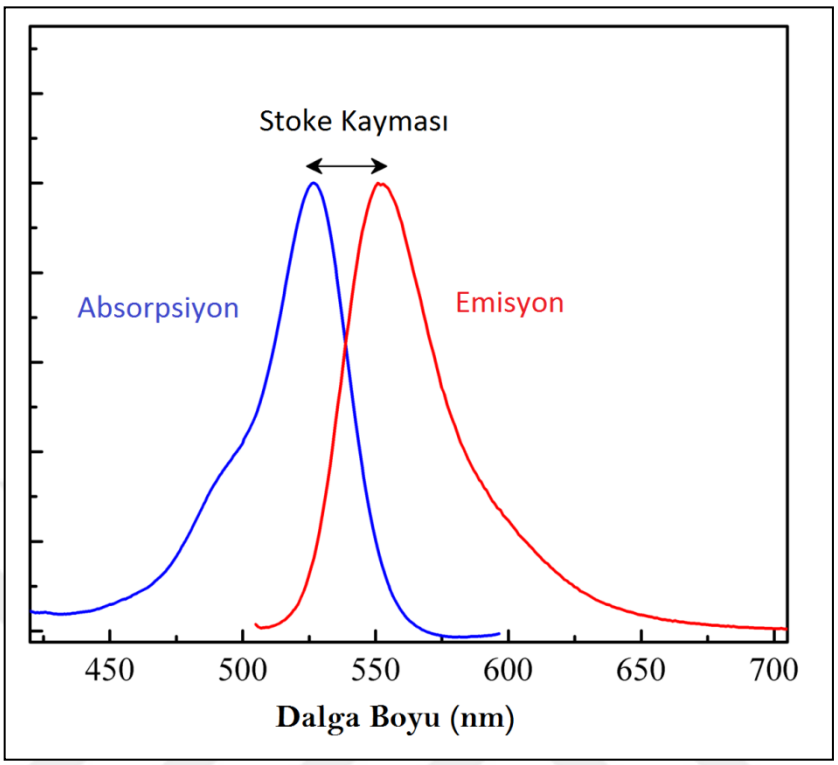
Çizelge 2.1 Lüminesant katkılar ve çıkış emisyonu dalga boyları [13]

Birincil Katkılar	
Katkı Adı	***Çıkış Emisyonu Dalga Boyu***
Bütil PBD	363 nm
Naftalin	322 nm
PPO	357 nm
p-Terfenil	340 nm
İkincil Katkılar	
Katkı Adı	***Çıkış Emisyonu Dalga Boyu***
BBQ	477 nm
Bis-MSB	420 nm
POPOP	410 nm
TPB	455 nm

2.5.4 Stoke Kayması

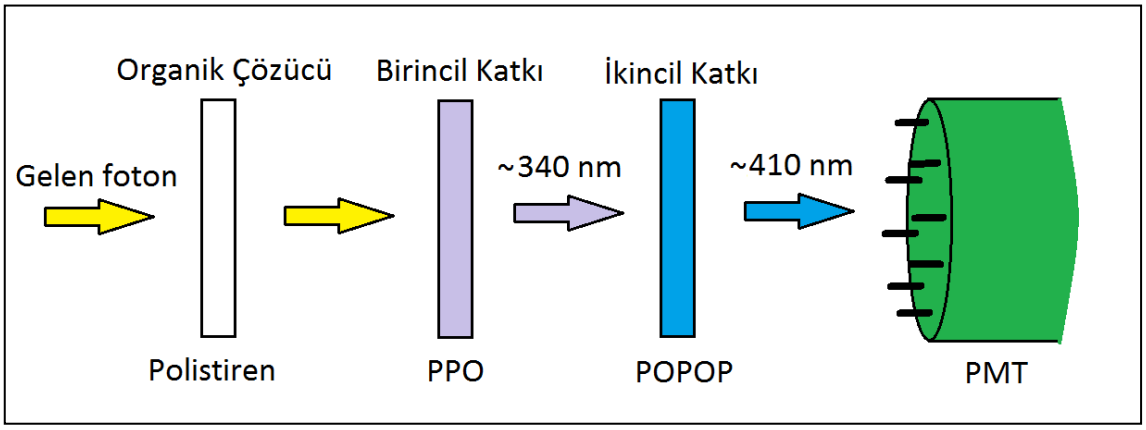
Bir sistem veya malzeme bir fotonu absorpladığı durumda uyarılmış hale geçer ve stabil hale gelebilmek için bir foton yayınlar. Yayınlanan fotonun enerjisi absorplanan fotonun enerjisinden düşük ise bu enerji farkına Stoke Kayması adı verilir. Bu enerji farkı aynı zamanda bir dalga boyu farkı da oluşturur ve yayınlanan fotonun dalga boyunun absorplanan fotonun dalga boyundan daha yüksek olmasını sağlar. Plastik

sintilatör içerisindeki katkılarda gerçekleşen Stoke Kayması olayları sayesinde işlevlerini yerine getirirler.



Şekil 2.5 Stoke kayması

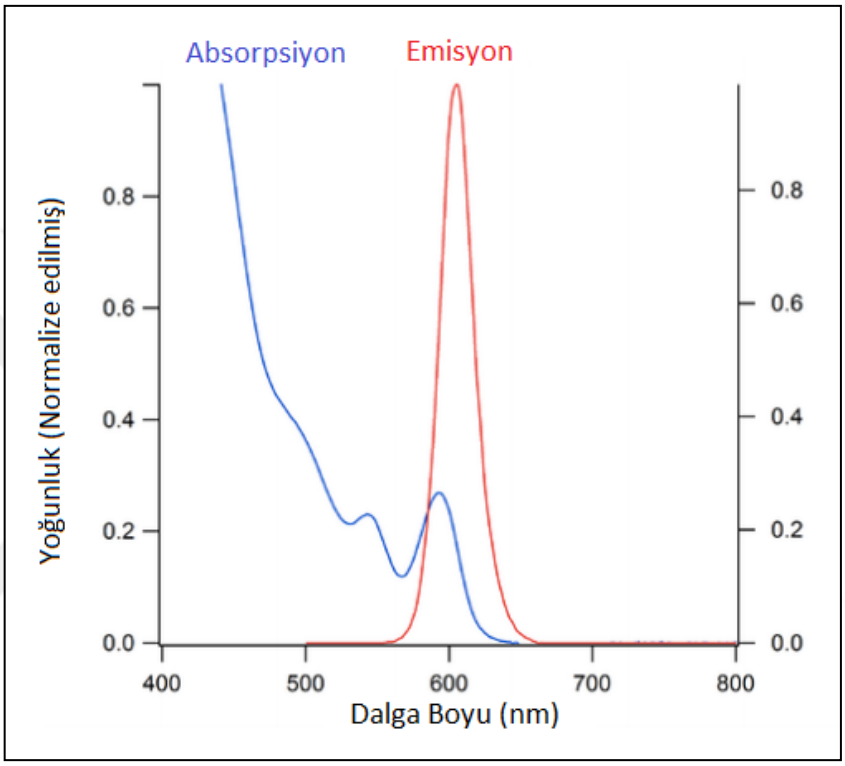
Bu çalışmada optimizasyonu yapılan plastik sintilatör içerisinde foton ilerleyişi aşağıda şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.6 Plastik sintilatörün çalışma prensibi

2.5.5 Kuantum Noktaları

Kuantum noktaları sıvı ve plastik sintilatörlerde kullanılan lüminesant katkılar gibi dalga boyu kaydırma işlevini yerine getirebilen son teknoloji ürünleridir. Bir atomdan büyük fakat bir virüsten küçük boyuta sahip olan kuantum noktaları lüminesant katkılara göre daha geniş bir dalga boyu aralığındaki fotonları absorplayabilmektedir. Diğer önemli bir avantajı da yayımladığı fotonların dalga boyunun ayarlanabilmesidir.



Şekil 2.7 Kuantum noktasının absorpsiyon ve emisyon dalga boyu

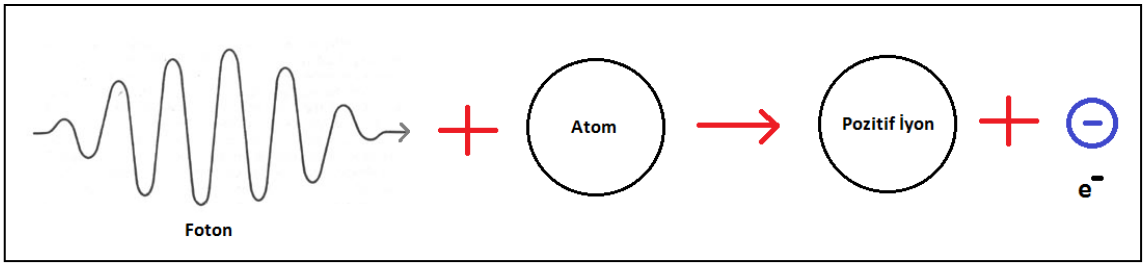
2.6 Fotonun Madde ile Etkileşimi

X-ışını ya da gama ışını olarak da adlandırılan fotonlar, ışık hızında hareket eden, kütlesi olmayan, yüksüz parçacıklardır. X-ışnı ve gama ışını arasında çok net bir ayrım olmamakla beraber enerjisi 1 MeV' in altındaki fotonlar genellikle X-ışını, enerjisi 1 MeV' in üstünde olan fotonlar gama ışını olarak adlandırılmaktadır.

Fotonun madde ile önemli etkileşimleri aşağıda kısaca anlatılmıştır.

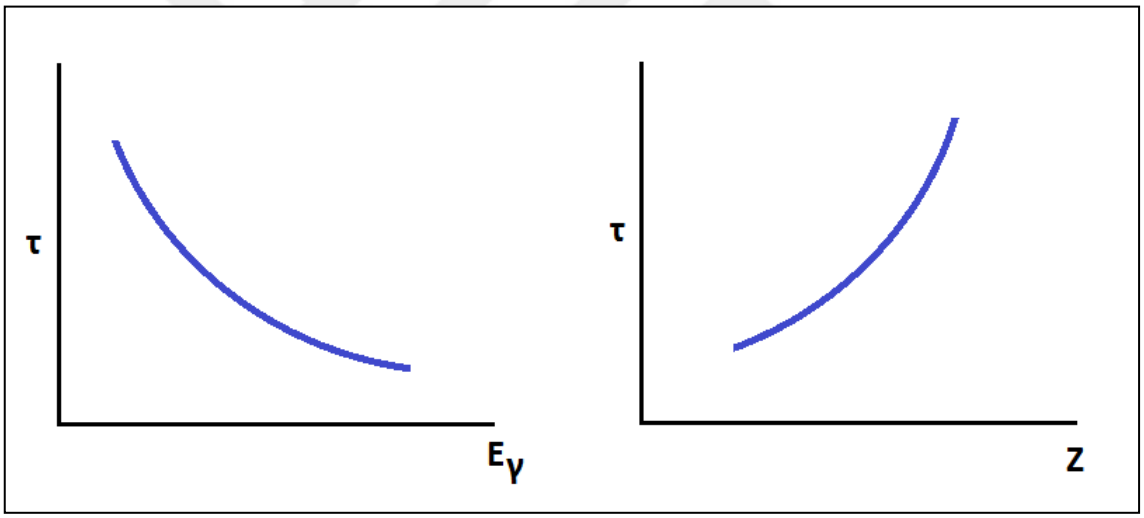
2.6.1 Fotoelektrik Etki

Fotoelektrik etki foton ile bağlı elektron arasına gerçekleşen bir olaydır. Fotoelektrik olayda foton atom tarafından absorplanır ve bir elektron atomdan fırlatılır.



Şekil 2.8 Fotoelektrik olay

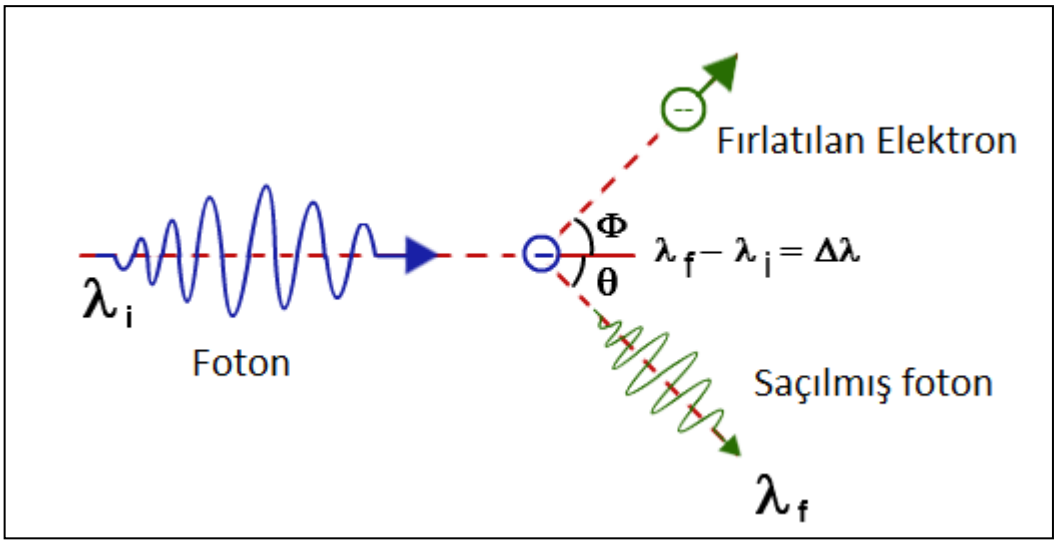
Fotoelektrik olay gerçekleşme olasılığı düşük enerjili fotonlarda ve absorblayıcı madde yüksek atom numaralı olduğunda artmaktadır. Aşağıda fotoelektrik olayın foton enerjisine ve materyalın atom numarasına bağlı tesir kesitleri verilmiştir.



Şekil 2.9 Fotoelektrik tesir kesitleri

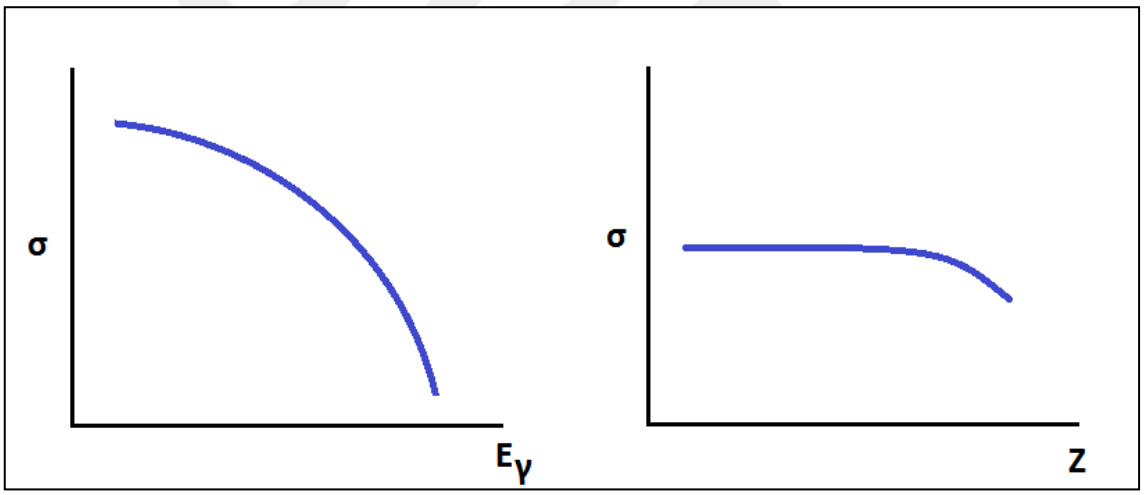
2.6.2 Compton Olayı

Compton olayı foton ile serbest bir elektron arasında gerçekleşir. Normal şartlar altında ortamdaki elektronların bağlı elektron olarak düşünülür fakat elektronu bağlı tutan enerjinin eV seviyesinde olduğu dikkate alındığında, fotonun enerjisinin ise keV veya daha yüksek seviyede olduğu durumlarda elektron serbest bir elektron olarak kabul edilebilir. Compton olayında foton, fotoelektrik olaydaki gibi kaybolmaz bunun yerine yönü ve enrjisi değişir.



Şekil 2.10 Compton olayı

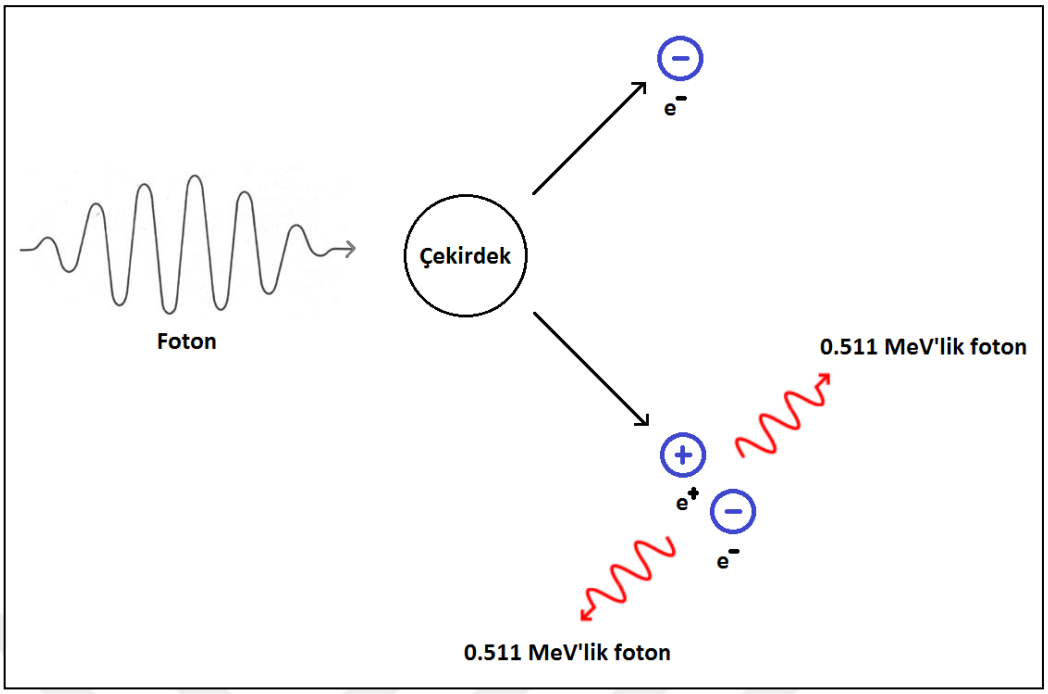
Compton olayının foton enerjisine ve Z' ye göre mesafe boyunca oluşma olasılığını gösteren tesir kesitleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.11 Compton olayı tesir kesitleri

2.6.3 Çift Oluşum

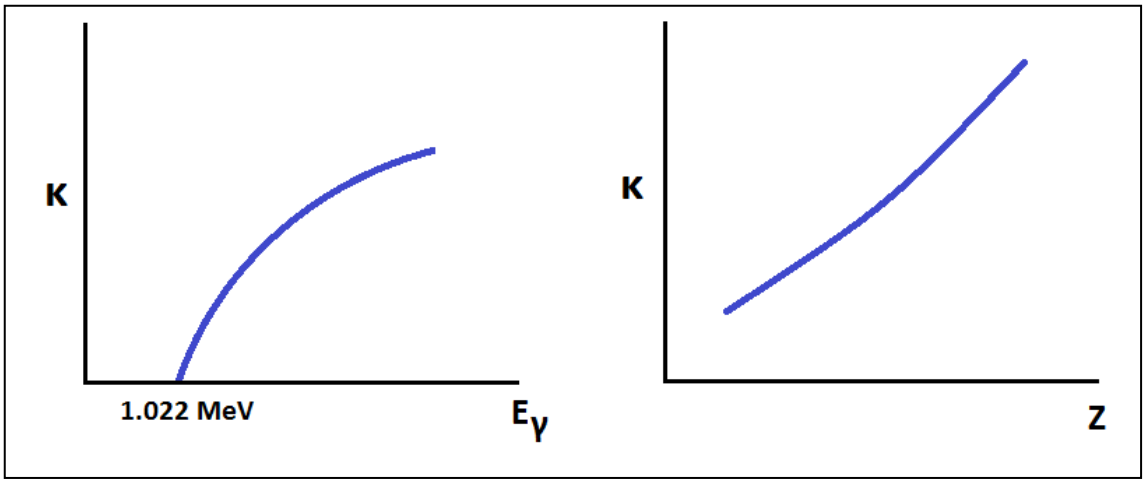
Çift oluşum foton ile atom çekirdeğinin etkileşimi ile gerçekleşmektedir. Foton atom çekirdeğine çarptıktan sonra kaybolur ve çekirdekten bir elektron, pozitron çifti açığa çıkar.



Şekil 2.12 Çift oluşum

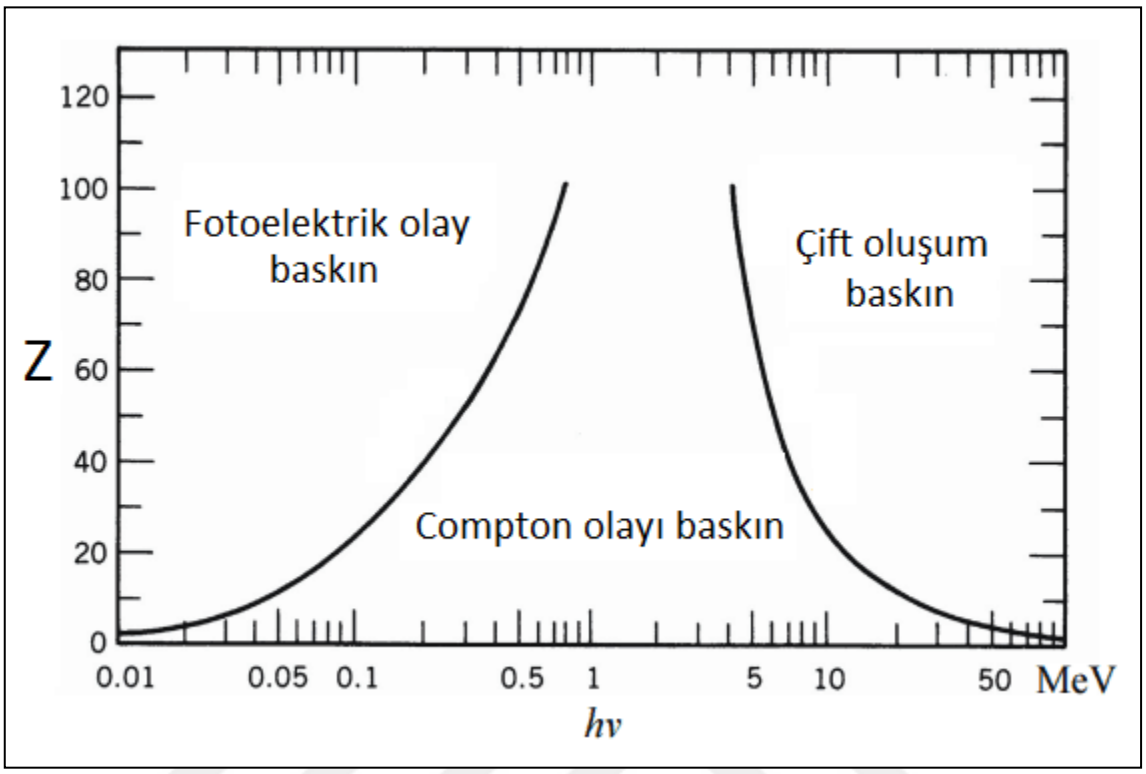
Çift oluşum sonrası ortaya pozitron ve elektron bir birlerinden farklı yönlerde ilerler. Artı yüklü olan pozitron yakınlaştığı ilk elektron ile birleşerek çift anhilasyon denilen olayı gerçekleştirir ve elektron ile beraber yok olur, ortaya 2 adet 0.511 MeV enerjili foton ortaya çıkar.

Alınan yol başına çift oluşumun gerçekleşme olasığı atom numarası ile çok az değişmekte, fotonun enerjisi ile artmaktadır.



Şekil 2.13 Çift oluşum tesir kesitleri

Önceki maddelerde anlatılan 3 önemli foton etkileşiminin, çeşitli absorplayıcı maddeler ile etkileşimi şekil 2.14' de gösterilmiştir.



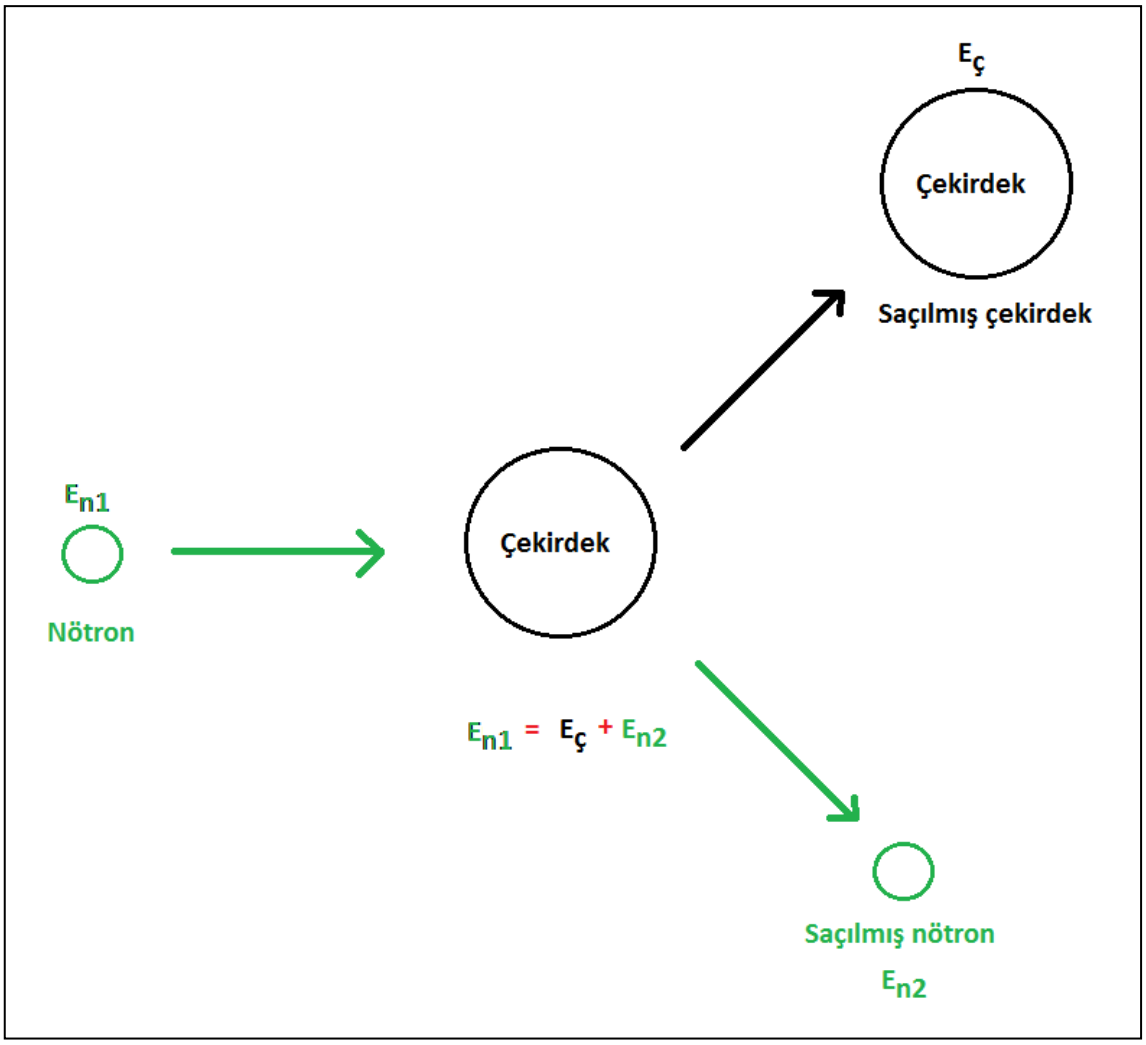
Şekil 2.14 Fotonun madde ile 3 temel etkileşiminin, foton enerjisi ve Z ile ilişkisi [14]

2.7 Nötronun Madde İle Etkileşimi

Nötronlar fotonlar gibi yüksüz parçacıklardır. Bu sebeple madde ile etkileşimlerinde yüklü parçacıkların madde ile etkileşimini etkileyen Coloumb kuvvetinden etkilenmezler ve sadece çekirdek ile etkileşime girerler.

2.7.1 Elastik Saçılma

Elastik saçılmada nötron çekirdek ile çarpışır ve çarpışmanın etkisiyle çekirdek ve nötron farklı yönlerde hareket ederler. Bu olayda gelen nötronun enerjisi çarpışma sonrasındaki nötron ve çekirdek arasında paylaşılır.

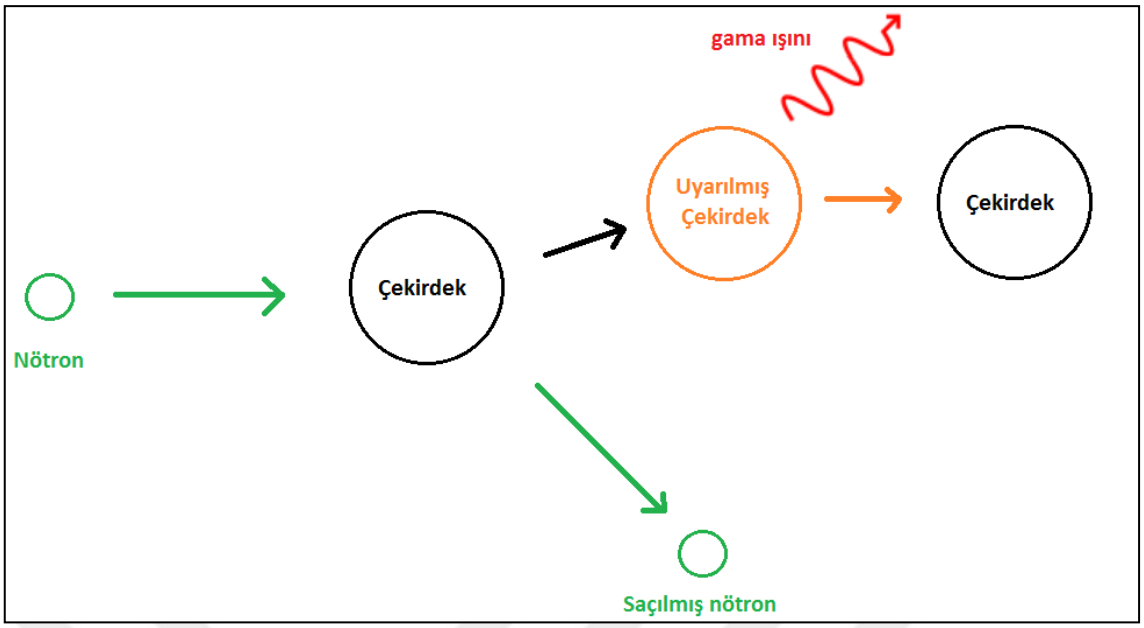


Şekil 2.15 Elastik saçılma

Hedef çekirdek çok büyükse nötron çok az bir enerji kaybeder ve aynı hızla yoluna devam eder. Hedef çekirdek küçük olduğu durumda ise nötron enerjisinin çoğunu kaybeder.

2.7.2 Elsatik Olmayan Saçılma

Elastik olmayan saçılmada, elastik saçılmadan farklı olarak gelen nötronun enerjisi çekirdeği uyarır. Uyarılmış olan çekirdek daha sonra gama ışını yayınlayarak eski haline döner.



Şekil 2.16 Elastik olmayan saçılma

2.7.3 Nötron Absorpsiyonu

Nötronun çekirdek tarafından absorbe edilmesi olayıdır. Bu olay sonucunda nötron yok olur fakat reaksiyon gerçekleştikten sonra farklı bir veya birkaç parçacık açığa çıkar. Önemli absorpsiyon reaksiyonları aşağıdaki çizelgede 2.2' de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Nötron absorplanma reaksiyonları

$n + {}^{A}_{Z}X \xrightarrow{(n,p)} {}^{A}_{Z-1}Y + p$
$n + {}^{A}_{Z}X \xrightarrow{(n,\alpha)} {}^{A-3}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$
$n + {}^{A}_{Z}X \xrightarrow{(n,2n)} {}^{A-1}_{Z}X + 2n$
$n + {}^{A}_{Z}X \xrightarrow{(n,\gamma)} {}^{A+1}_{Z}X + \gamma$
$n + {}^{A}_{Z}X \xrightarrow{Fizyon} {}^{A_1}_{Z_2}Y + {}^{A_2}_{Z_3}Y + n + n$

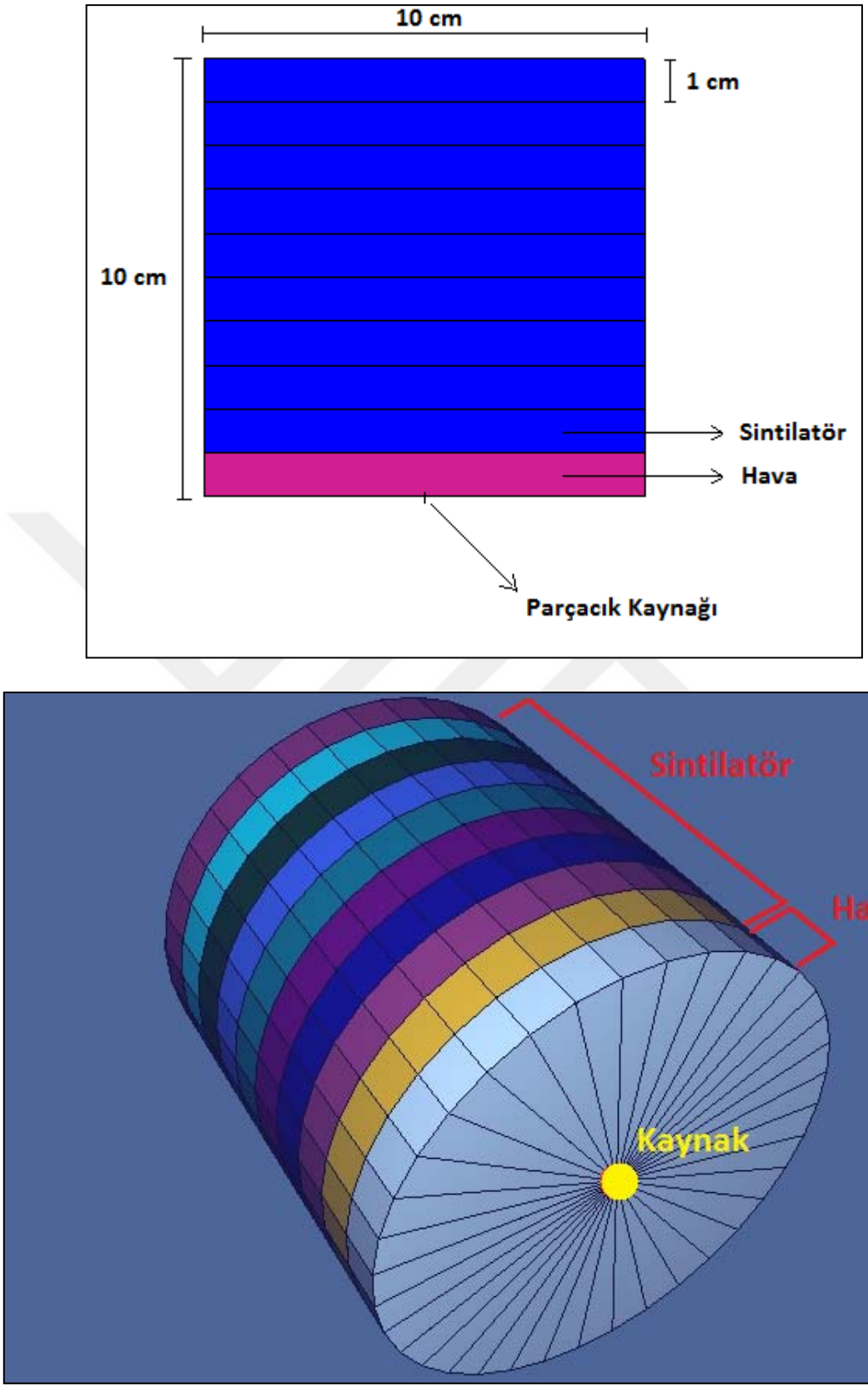
BÖLÜM 3

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

3.1 Simülasyon Geometrisi

MCNP, problem geometrisini 3 boyutlu kartezyen koordinat sisteminde kullanıcının tanımladığı birincil ve ikincil yüzeylerin birleşmesiyle oluşan hücreler üzerinden tanımlar.

Simülasyon geometrisi olarak alt yüzeyindeki dairesinin merkezi x:0,y:0,z:0 koordinatında bulunan, 10 cm çapında 1 cm yüksekliğinde silindir şeklinde içeriği hava olan bir hücre tanımlanmıştır. Hava hücresine bitişik 9 cm yüksekliğinde ve 10 cm çapında bir dedektör tanımlanmıştır. Dedektör, içerisinde farklı mesafelerdeki etkileşimleri incelemek için, her biri 1 cm yüksekliğinde ve 10 cm çapında olan 9 adet silindirik hücreye bölünmüştür. Bu 9 hücre aynı sintilatör malzemesini içermektedir.



Şekil 3.1 Simülasyon geometrisinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünümü

3.2 Parçacık Kaynağı

Parçacık kaynağı x:0,y:0,z:0 koordinatında, hava hücresinin alt tabanında bulunan noktasal bir kaynaktır. Kaynaktan çıkan parçacıklar z+ yönünde 1 cm' lik hava hücresini geçtikten sonra daha sonra sintilatöre ulaşmaktadır.

Çalışmada kaynaktan belirli bir enerji ile çıkan parçacıklar ayrı ayrı simüle edilmiştir. Bu enerjiler 0.2, 0.6, 0.8, 1.2, 1.5, 1.8 ve 2.5 MeV' dir.

3.3 Parçacık Sayısı

Kaynaktan gönderilecek parçacık sayısına karar verilmek için 5000, 50000, 500000 ve 5000000 adet foton parçacığı için 0.2 ve 1 MeV enerjilerinde ayrı simülasyonlar gerçekleştirilmiş gerçekleştirilmiştir.

MCNP kodu gerçekleştirilen simülasyon bilgilerinin belirli kısmı önemini kaybettiği için belirli bir kısmı da %10'dan fazla hata içerdiği için kabul edilmez. Gerçekleştirilen simülasyonların MCNP kodunun kabul ettiği bilgi yüzdeleri ile simülasyon süreleri karşılaştırılmıştır. 5000 ve 50000 parçacık sayıları için kabul edilebilir bilgi yüzdeleri düşük seviyededir. 500000 ile 5000000 parçacık arasındaki kabul edilebilir bilgi yüzdesi farkı %5 iken simülasyon süresi 9 kat artmıştır. Bu sebeple 500000 parçacık kullanılmasına karar verilmiştir.

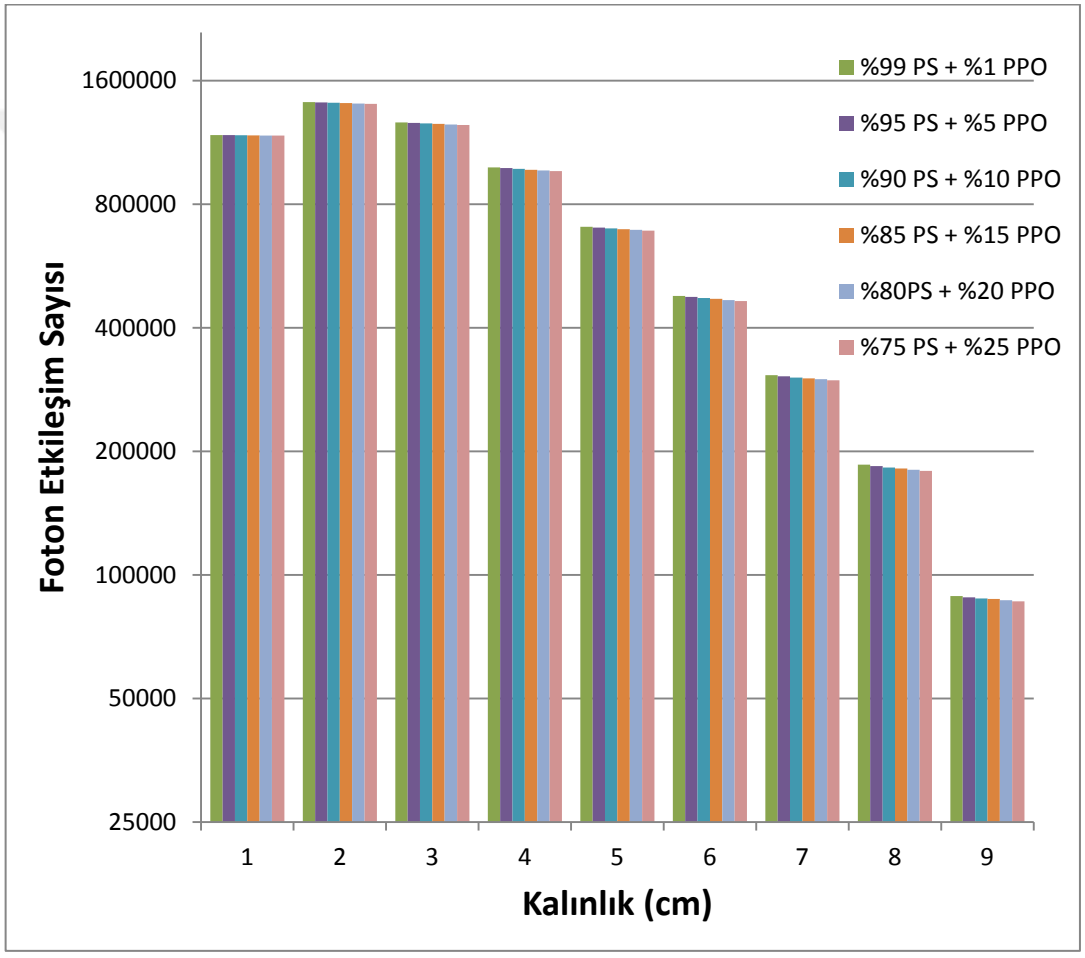
Çizelge 3.1 Parçacık sayıları ile simülasyon süresi ve bağıl hatanın değişimi

Parçacık Sayısı	Geçersiz veri (%)	Yüksek hata (%)	Kabul edilen veri (%)	Simülasyon Süresi (dk)
5000000	15	0	85	93.9
500000	15	5	79	10.3
50000	16	28	56	1.1
5000	18	61	22	0.1

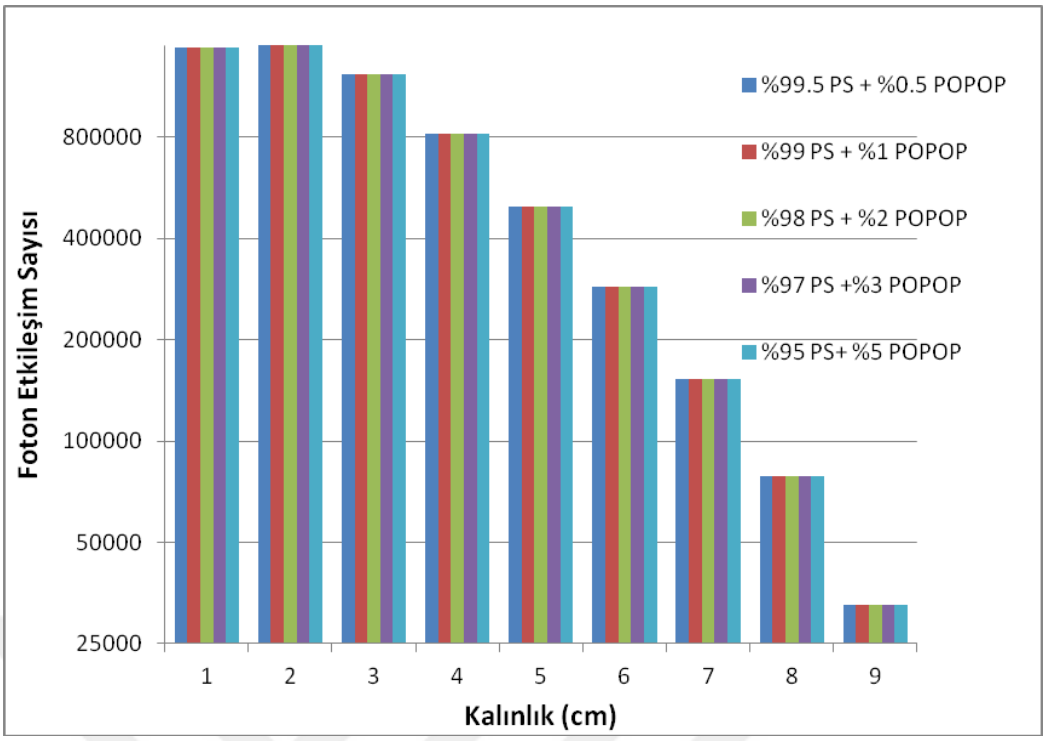
3.4 Malzeme Optimizasyonu

3.4.1 Etkileşim Sayılarının İncelenmesi

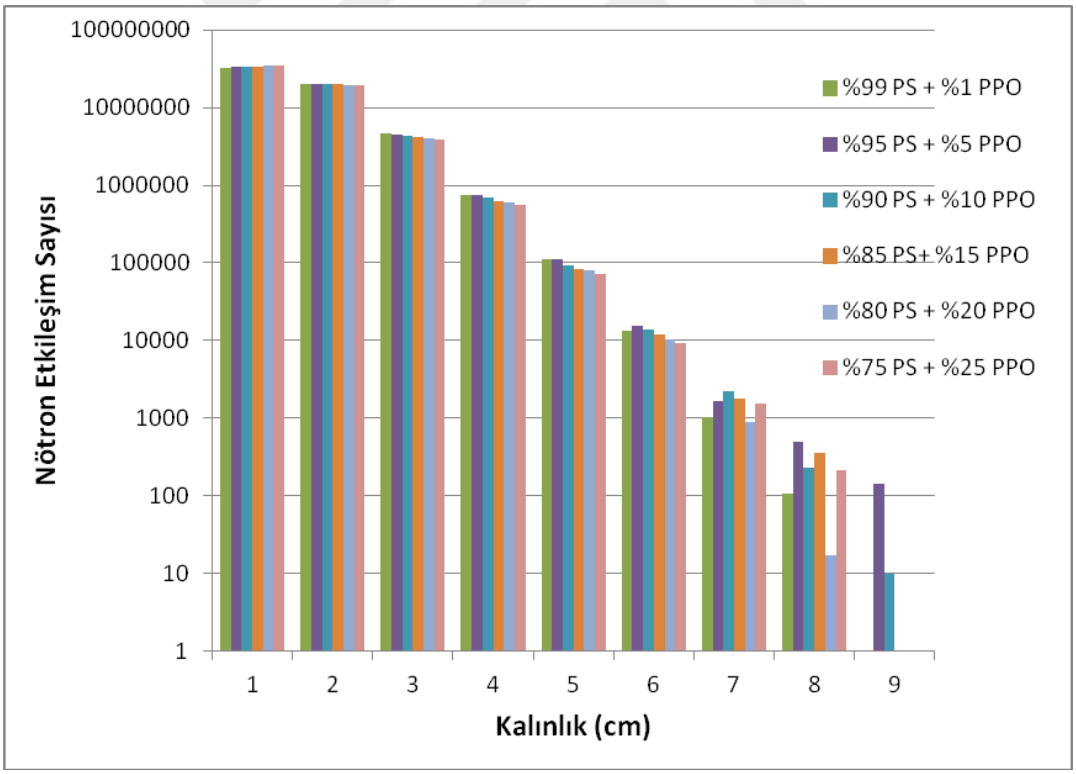
Sintilatörde ana malzeme olarak polistriren (PS - C_8H_8) kullanılmıştır. Birincil (PPO - CH_3CHCH_2O) ve ikincil (POPOP - $C_{24}H_{16}N_2O_2$) katkı maddelerinin farklı konsantrasyonlarının malzeme içerisindeki etkileşim sayısı ile ilişkisi yapılan simülasyon işlemleri ile ayrı ayrı incelenmiştir.



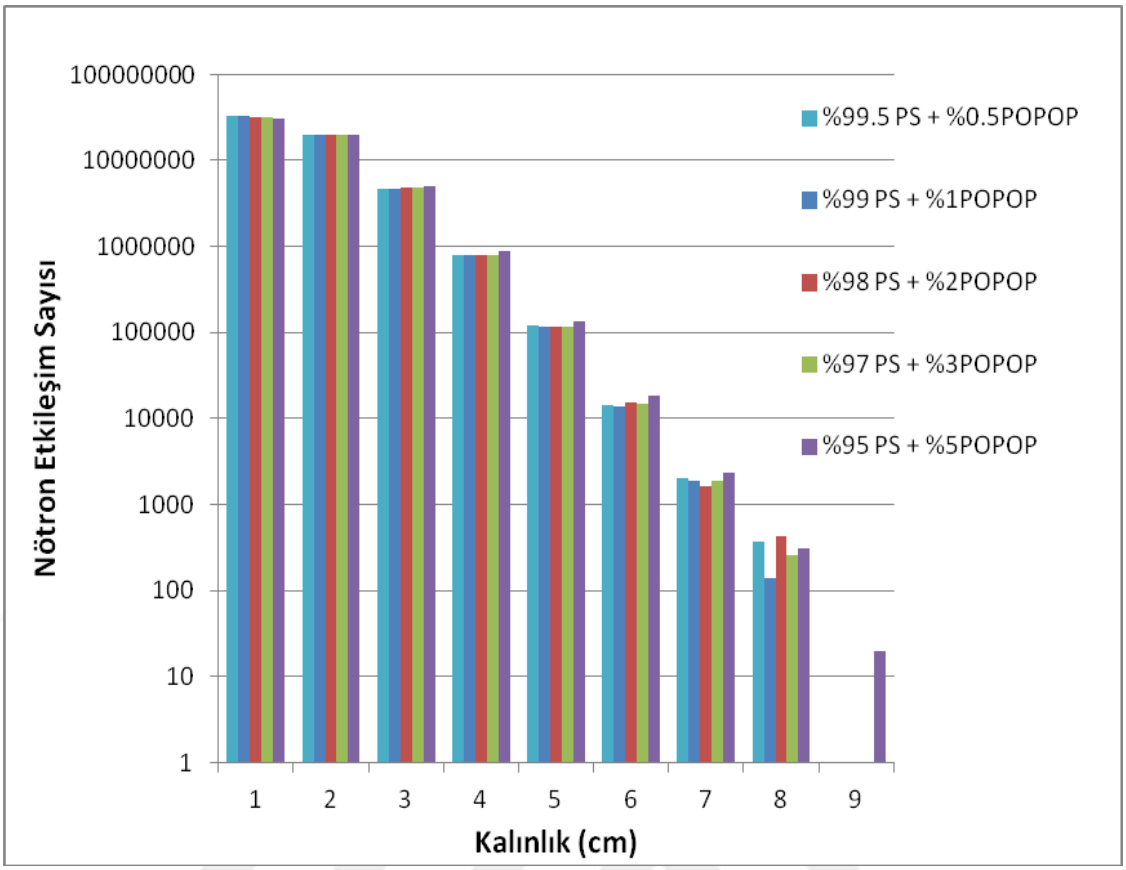
Şekil 3.2 PPO Konsantrasyonunun foton etkileşimi ve kalınlıkla ilişkisi



Şekil 3.3 POPOP Konsatrasyonunun foton etkileşimi ve kalınlık ile ilişkisi



Şekil 3.4 Konsantrasyonunun nötron etkileşimi ve kalınlık ile ilişkisi



Şekil 3.5 POPOP Konsantrasyonunun nötron etkileşimleri ve kalınlıkla ilişkisi

PPO ve POPOP konsantrasyonunun etkileşim sayısına etkisinin göz ardı edilebilecek kadar az olduğu görülmüştür. Bu sebeple iki katkı maddesi için de minimum konsantrasyonlar seçilmiştir. %1 PPO, %0.5 POPOP ve %98.5 PS için elementlerin yüzdesi Çizelge ‘de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Sintilatördeki Element Yüzdeleri

Element	Miktarı(%)
Karbon	91.89
Hidrojen	7.75
Oksijen	0.32
Azot	0.04

3.4.2 Etkileşim Türlerinin İncelenmesi

Katkıların %5’lik konsantrasyonu için ayrı olarak gerçekleştirilen simülasyonların sonuçları, katkısız polistiren simülasyonu (nötron ve foton kaynak için) sonuçları ile

karşılaştırılmıştır. Katkıların etkileşim türlerine etkisi (pozitif veya negatif yönde) incelenmiştir.

Çizelge 3.3 Katkıların parçacık etkileşimlerine etkisi

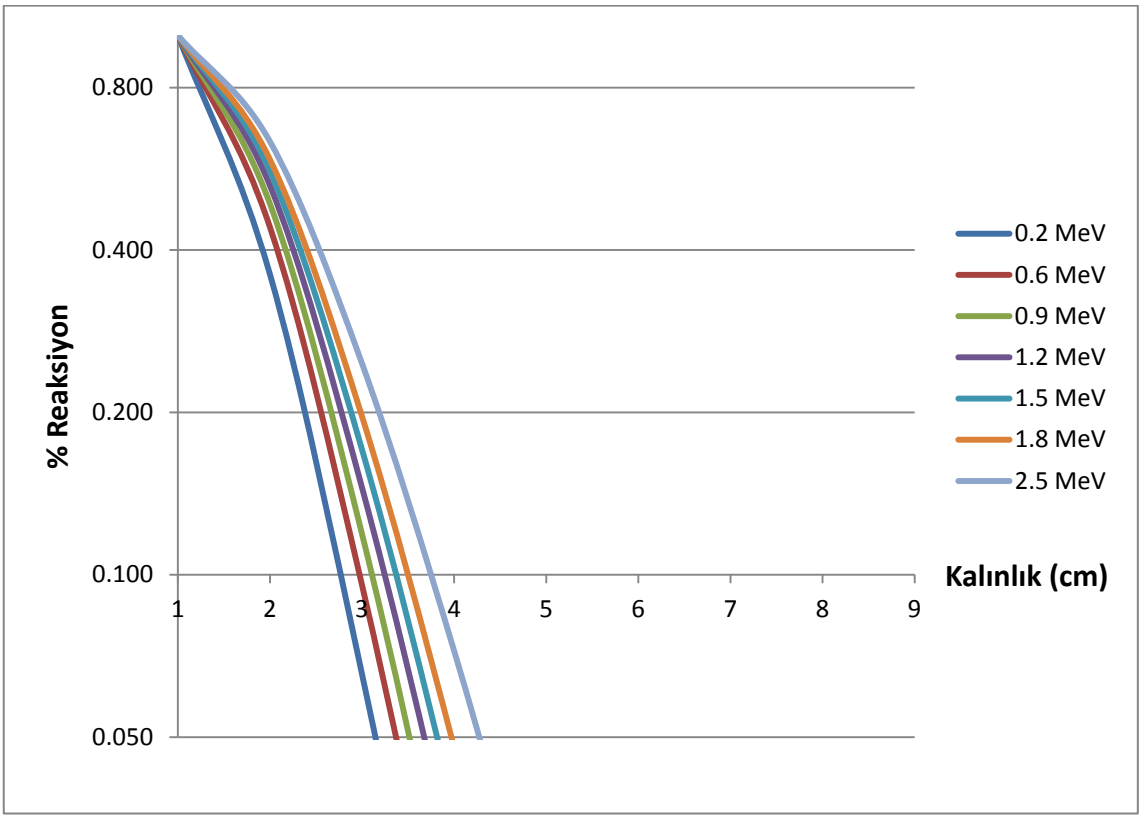
Etkileşimler		**Foton Kaynak**		**Nötron Kaynak**	
		PPO	**POPOP**	**PPO**	**POPOP**
Foton Oluşumu	*Nötron Etkileşimleri*	0	0	+	-
	Bremsstrahlung	-	-	+	-
	Çift Yokolma	0	0	+	+
Foton Kaybı	*Kaçma*	-	-	+	-
	Yakalama	+	+	+	-
	Çift Oluşum	0	0	+	+
Elektron Oluşumu	*Çift Oluşum*	0	0	+	+
	Compton Olayı	-	-	-	-
	Fotoelektrik	+	+	+	-
Nötron Kaybı	*Kaçma*	0	0	-	-

Çizelge 3.2 incelendiğinde katkıların genel olarak gerçekleşen *Bremsstrahlung* ve *Compton olaylarının* sayısını azalttığı, fotoelektrik olayların sayısını arttırdığı görülmektedir. Bu sonuçlar katkıların dalga boyu kaydırıcı özelliğinin gerçekleşmesi için var olması gerektiğini fakat konsantrasyonlarının minimum tutulması gerektiğini göstermektedir.

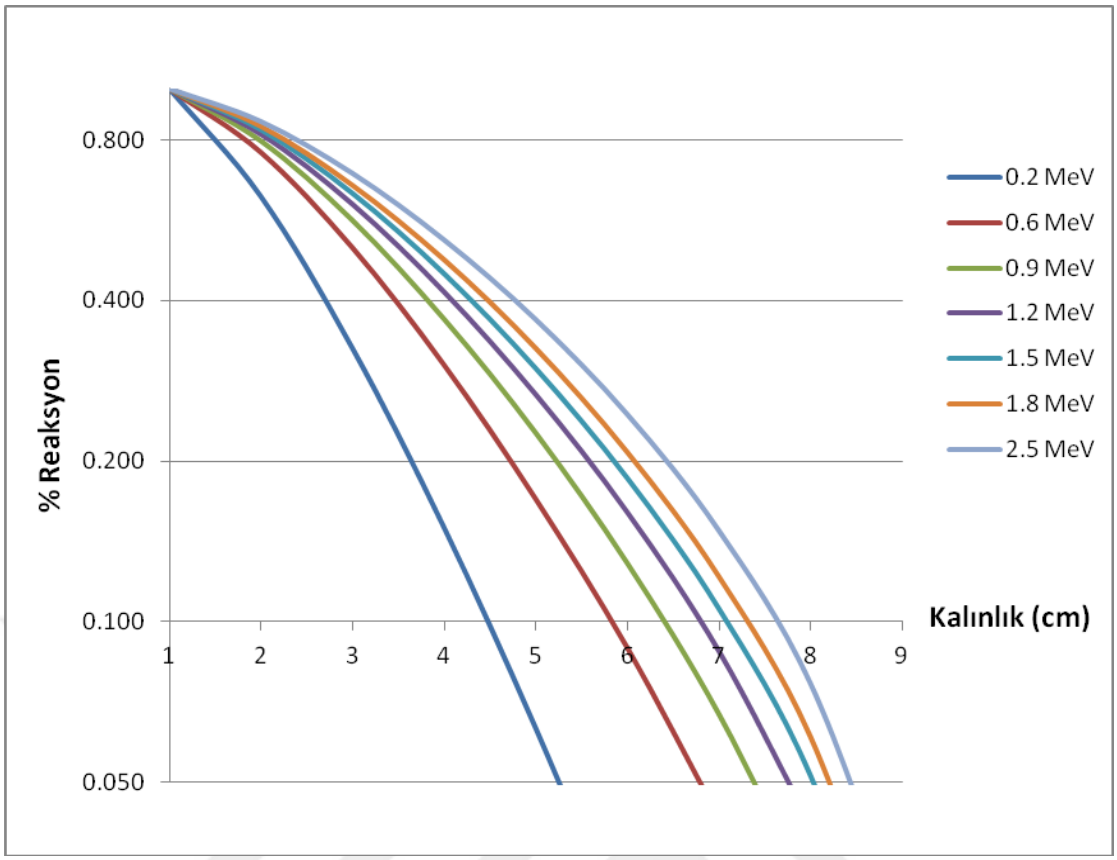
3.5 Kalınlık Optimizasyonu

3.5.1 Gerçekleşen Reaksiyon Miktarlarının İncelenmesi

Katkılı sintilatörlerde foton ve nötron parçacıkları ayrı ayrı simüle edilmiş ve gerçekleşen reaksiyon yüzdelerinin kalınlıkla değişimi incelenmiştir.

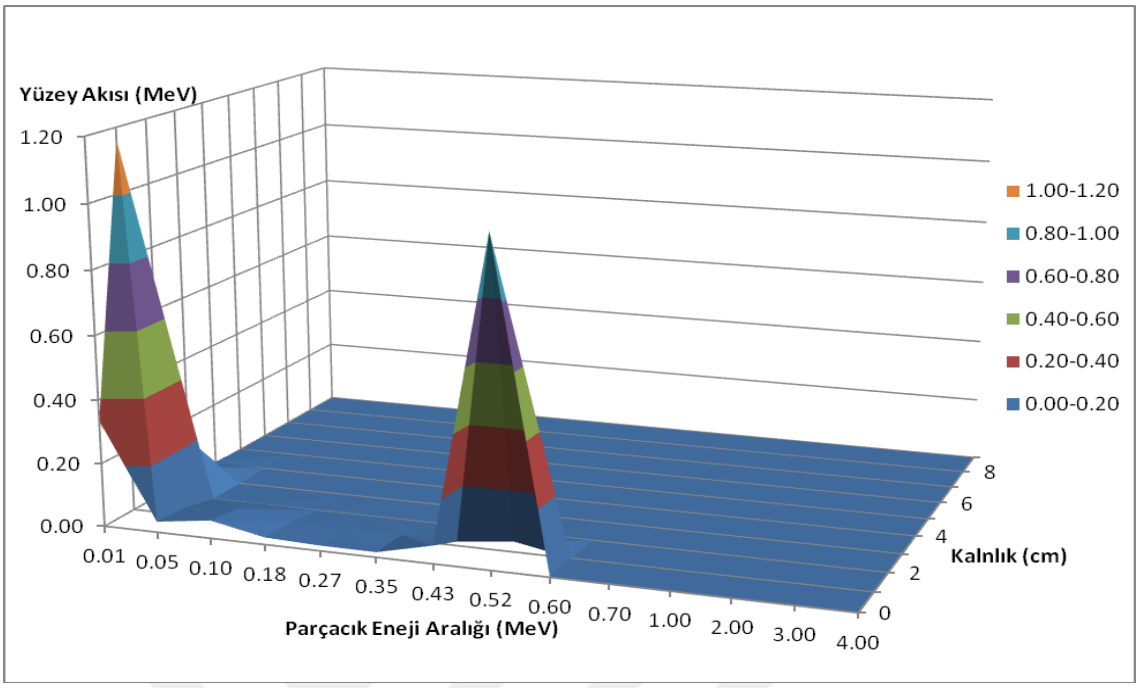


Şekil 3.6 Katkılı Plastik sintilatörde nötron reaksiyonlarının kalınlıkla değişimi

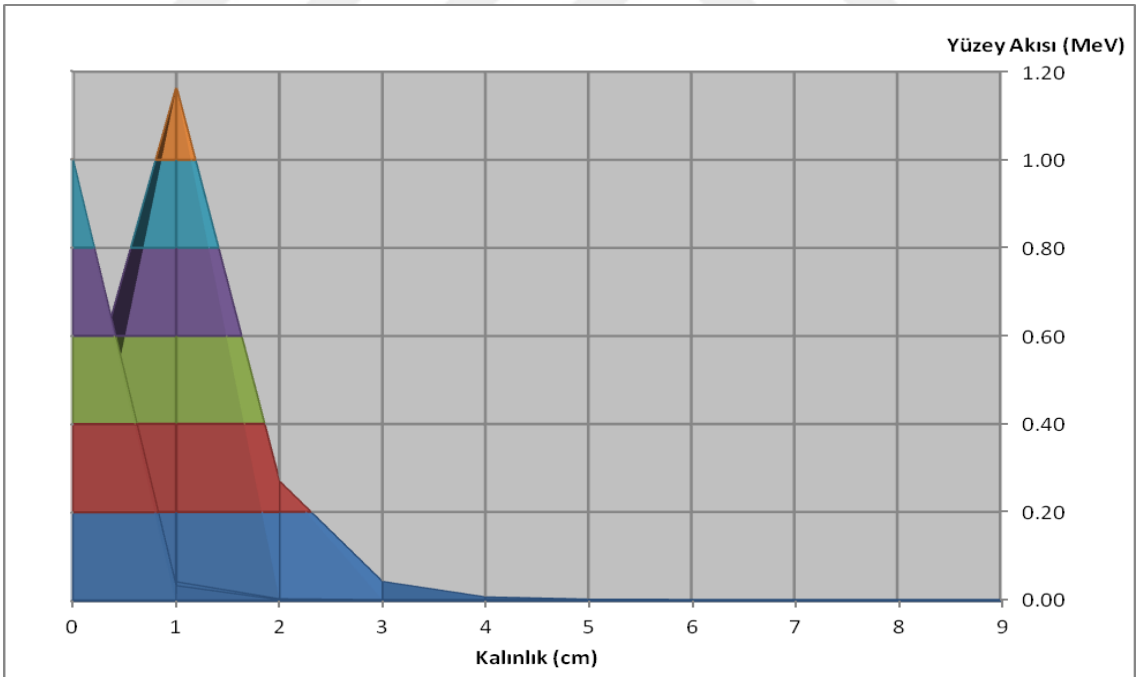


Şekil 3.7 Katkılı Plastik sintilatörde foton reaksiyonlarının kalınlıkla değişimi

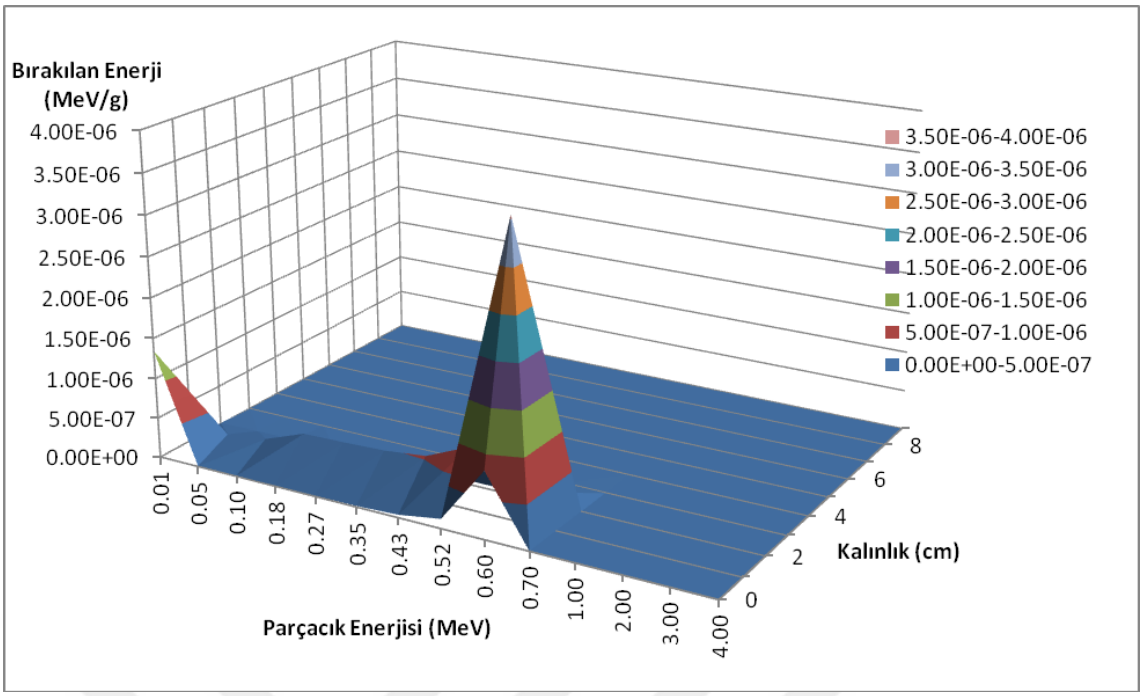
3.5.2 Yüzey Akısı ve Bırakılan Enerjinin İncelenmesi



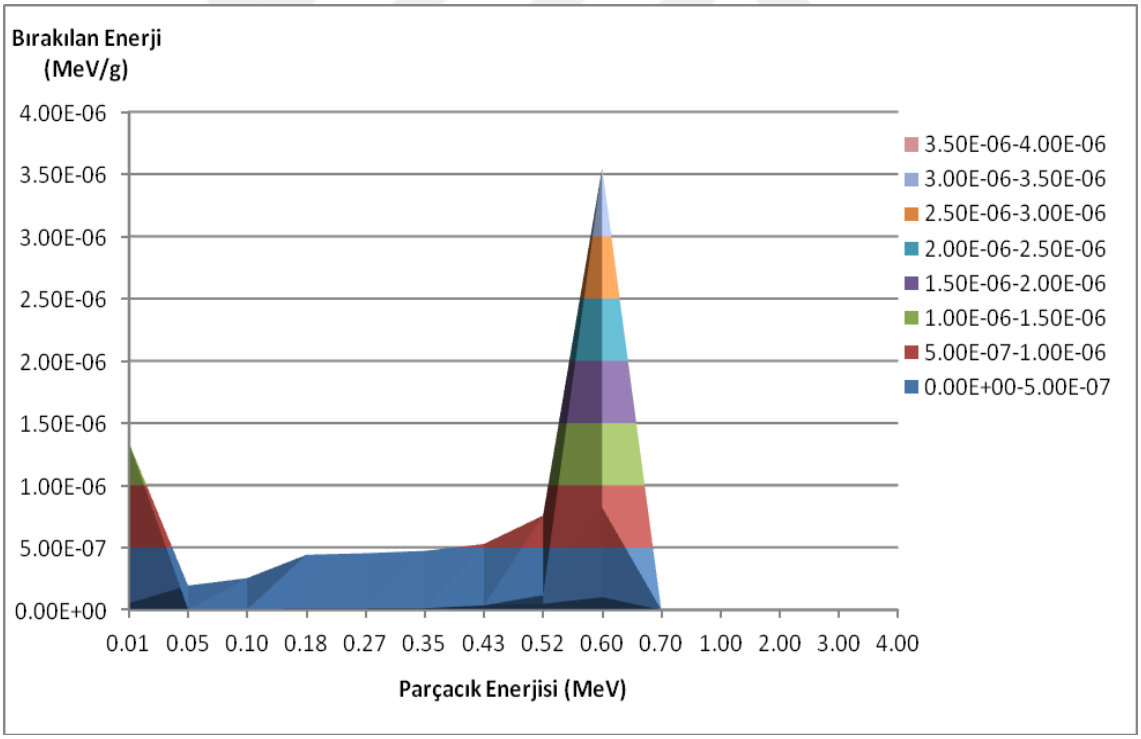
Şekil 3.8 0.6 MeV'lik Nötron Kaynak için yüzey akısının kalınlık ve parçacık enerjisi ile değişimi



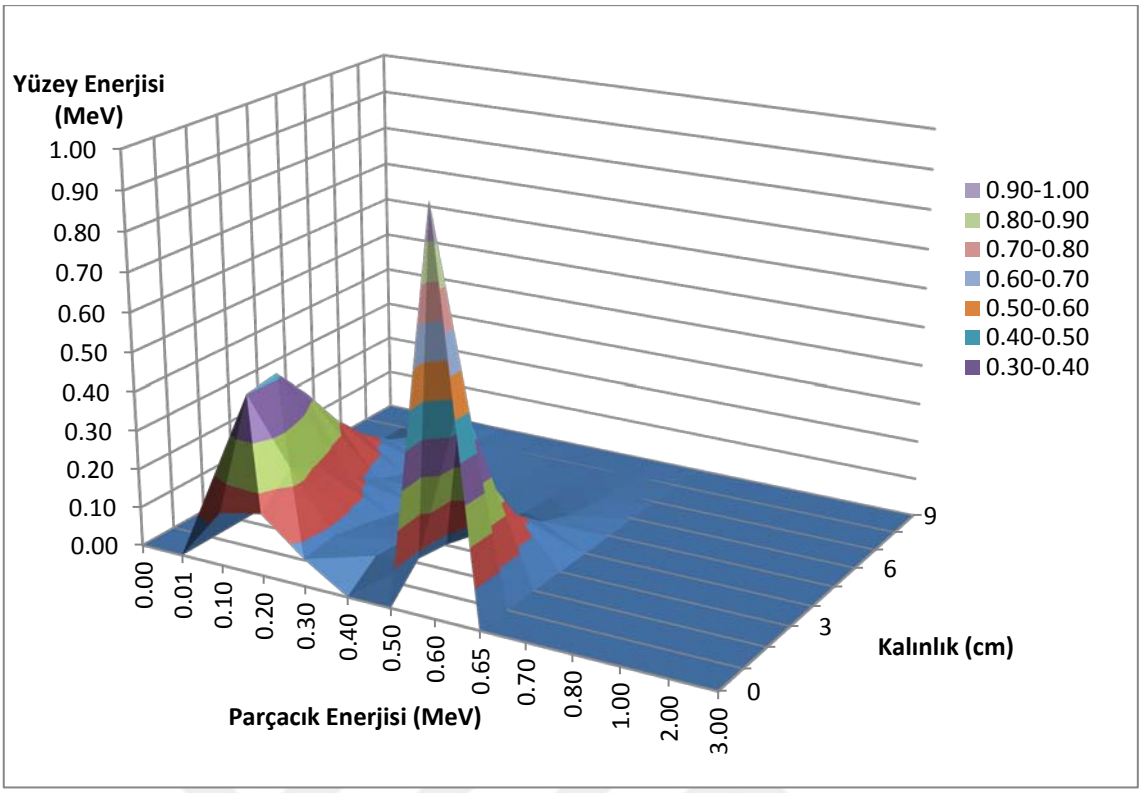
Şekil 3.9 0.6 MeV'lik Nötron Kaynak için yüzey akısının kalınlık ile değişimi



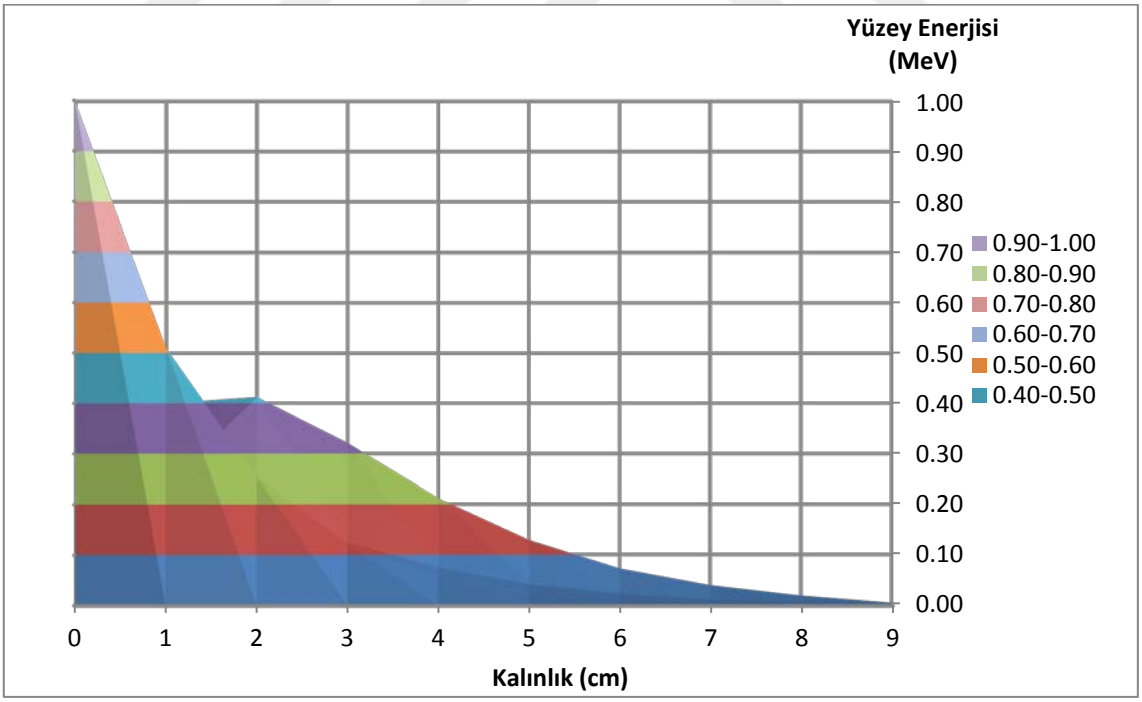
Şekil 3. 10 0.6 MeV'lik Nötron kaynak için bırakılan enerjinin parçacık enerjisi ve kalınlıkla değişimi



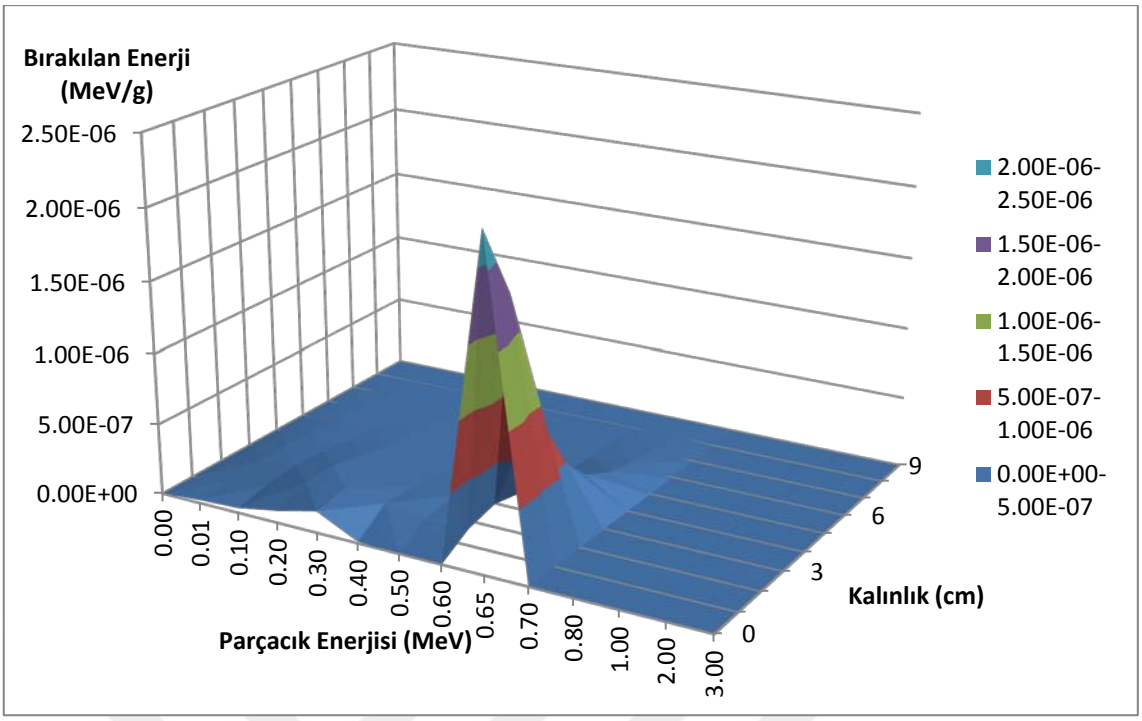
Şekil 3.11 0.6 MeV'lik Nötron kaynak için bırakılan enerjinin parçacık enerjisi ile değişimi



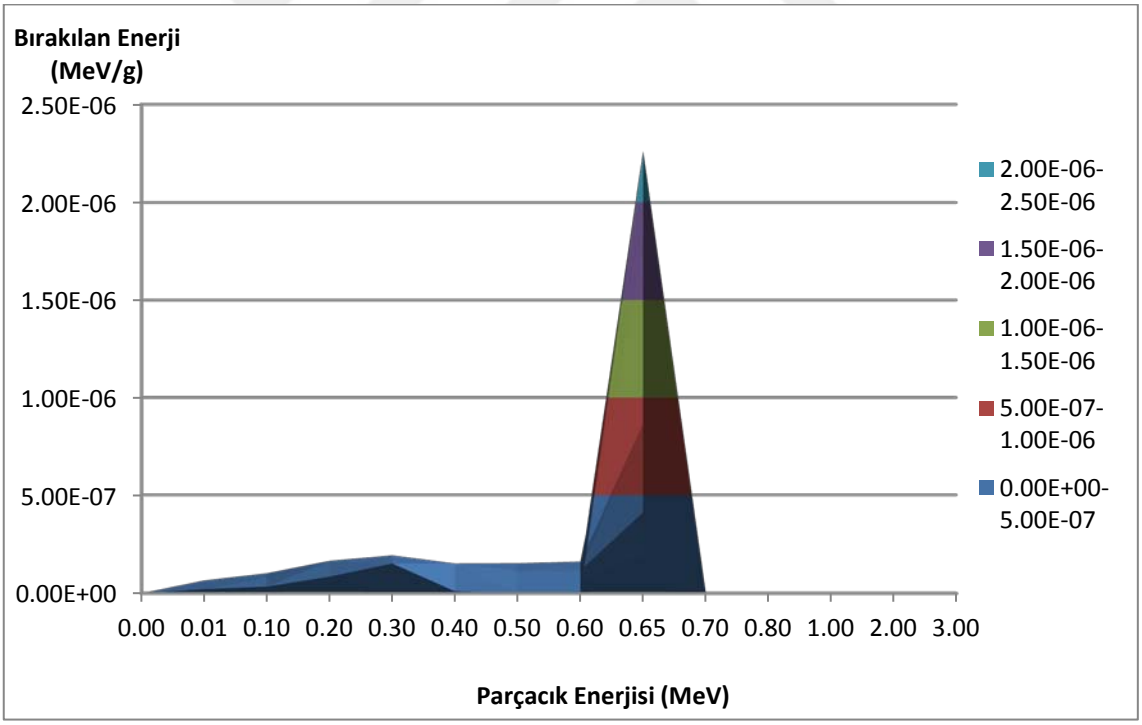
Şekil 3.12 0.6 MeV'lik Foton kaynak için yüzey akısının parçacık enerjisi ve kalınlık ile değişimi



Şekil 3.13 0.6 MeV'lik Foton kaynak için yüzey akısının kalınlık ile değişimi



Şekil 3. 14 0.6 MeV'lik Foton kaynak için bırakılan enerjinin parçacık enerjisi ve kalınlık ile değişimi



Şekil 3.15 0.6 MeV'lik Foton kaynak için bırakılan enerjinin kalınlık ile değişimi

Nötron kaynak için; Şekil 3.9' da yüzey akısı değerlerinin tamamına yakın bir bölümünün bu durum Şekil 3.6' daki grafiği doğulamaktadır. Benzer şekilde foton kaynak için; Şekil 3.13'de görülen yüzey akısı dağılımı Şekil 3.7' deki etkileşim dağılımını doğrulamaktadır.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada MCNP kodu kullanılarak çift katkılı organik sintilatör için kalınlık ve katkı bolluk oranlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Foton ve nötron kullanılarak 10 cm çapında ve 10 cm yüksekliğindeki silindir hacmi üzerinde 1 cm aralıklarla seçilen yüzeylerden geçen parçacık akımı ve bu yüzeyler arasında kalan hücrelerde enerji bırakımı kullanılarak, plastik bir sintilatörün en uygun tasarım kriterleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler, %90' lık bir tutulum sağlayabilmek için nötron kaynak kullanıldığında 2.8 ile 3.8 cm, foton kaynak kullanıldığında 4.5 ile 7.5 cm aralığının yeterli olduğunu göstermiştir. Fakat sintilatör önüne yerleştirilecek moderatör ile 4 cm kalınlığın her iki parçacık için ideal olacağı düşünülmektedir. PPO ve POPOP' un en uygun katkı oranları ise sırasıyla %1 ve %0.5 olarak belirlenmiştir. MCNP' de optik foton takip etmenin imkanı olmadığından katkı miktarı düşük tutularak, sintilatörün ışık veriminde kayıp olmaması değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada parçacıkların sintilatöre dik şekilde ve tek yönlü olarak gönderilmiştir. Parçacıkların geniş açılı bir şekilde gönderilmesi özellikle uygun kalınlık aralığını belirli bir yönde kaydırabileceği öngörülmektedir. Bu sebeple farklı kaynaklar ile (noktasal açılı) simülasyonlar yapılarak elde edilen sonuçların bu çalışma ile beraber değerlendirilmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] TAEK, (2011). Ticari Polistiren Kullanılarak Düşük Maliyetli Plastik Sintilatör Üretimi, Teknik Rapor 2011/16, Ankara.

[2] Tsoulfanidis, N. ve Landsberger, S., (2015). Measurement & Detection of Radiation, Fourth Edition, CRC Press, Boca Raton.

[3] Derenzo, S.E., Weber, M. J., Bourret-Courchesne, E. ve Klintenberg, M. K., (2003). "The quest for the ideal inorganic scintillator", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 505, (1-2):111-117.

[4] Mahani, H., Raisali, G. ve Kamali-Asl, A., (2017). "Monte Carlo Optimization of Crystal Configration for Pixelated Molecular SPECT Scanners", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 844:1-6.

[5] T.C. Guimaraes, C. da C., Morallas, M. ve Martinelli, J. R., (2014). "Monte Carlo Simulation Of Liver Cancer Treatment With ^{166}Ho-Loaded Glass Microspheres", Radiation Physics and Chemistry, 95:185-187.

[6] Paff, M. G., (2017). "Organic Scintillation Detectors for Spectroscopic Radiation Portal Monitors", Doktora Tezi, University of Michigan, Nuclear Engineering and Radiological Sciences, Michigan.

[7] Paff, M. G., Clarke, S. D. ve Pozzi, S. A., (2016). "Organic Liquid Scintillation Dedector Shape and Volume Impact on Radiation Portal Monitors", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 825:31-39.

[8] Lux, I. ve Laszlo, K., (1991)., Monte Carlo particle transport methods : neutron and photon calculations, 1st Edition, CRC Press, Boca Raton.

[9] Dunn, W. ve Shultis, J. K., (2011). Explorin Monte Carlo Methods, 1st Edition, Elsevier, Manhattan.

[10] X-5 Monte Carlo Team MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, (2003). Los Alamos National Laboratory.

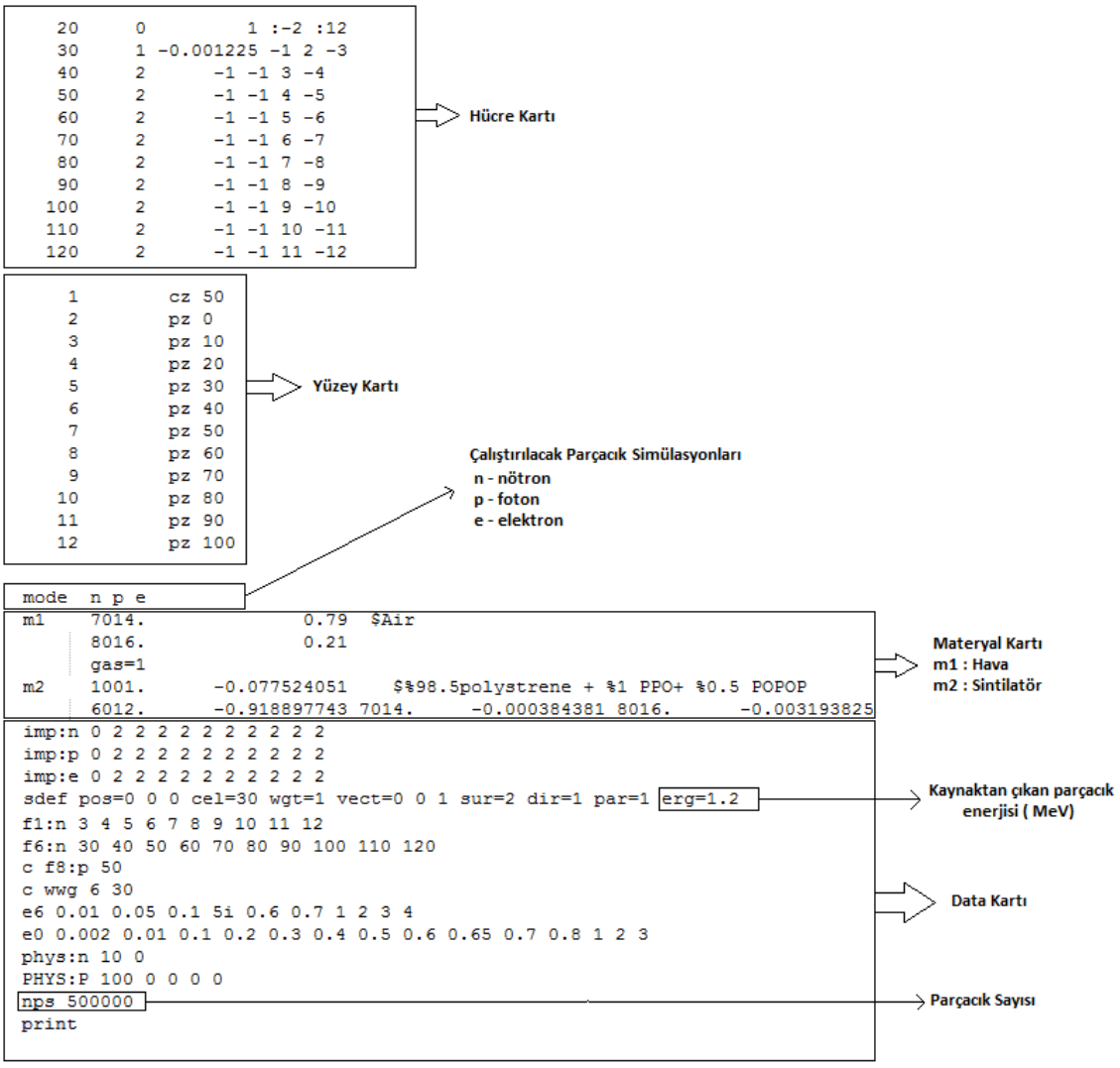
[11] Yılmaz, A., Denizli, H. ve Iori, M., (2016). "Characterization Study Of Silicon Photomultiplier", FCC Physics, Detector and Accelerator Workshop, İstanbul.

[12] Acal Bfi, Silicon Photomultipliers, Active area1.2x1.2mm^2, https://www.acalbfi.com/be/, 08 Nisan 2018.

[13] National Diagnosics, Fundamentals of Liquid Scintillation, https://www.nationaldiagnostics.com/liquid-scintillation/article/mechanism-liquid-scintillation-counting, 08 Nisan 2018.

[14] Knoll, G. F., (2000). Radiation Detection and Measurement, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., Ann Arbor.

MCNP KOD ÖRNEĞİ



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Nihan ERMİŞ GÜLENÇ
Doğum Tarihi ve Yeri	:09.07.1988 / Bakırköy
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:nhnermis@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Fizik Bölümü	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Sayısal	Pertevniyal Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2015	Haliç Çevre Laboratuvarı	Kalite Mühendisi
2014	Toraman Hijyen Laboratuvarı	Laboratuvar Müdürü