

**DEĞİŞİK YAĞ ORANLARINA SAĞIP PARAFİN  
WAXLARDA HIZLI NÖTRONLARIN MAKROSKOPİK  
SOĞRULMA TESİR KESİTLERİNİN BELİRLENMESİ  
VE DEĞİŞEN YAĞ ORANININ ZIRHLAMA  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Bünyamin AYGÜN**

**Yüksek Lisans Tezi  
Fizik Anabilim Dalı  
Prof. Dr. Gökhan BUDAK  
2010  
Her Hakkı Saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEĞİŞİK YAĞ ORANLARINA SAHİP PARAFİN WAXLARDA  
HIZLI NÖTRONLARIN MAKROSKOPİK SOĞRULMA TESİR  
KESİTLERİNİN BELİRLENMESİ VE DEĞİŞEN YAĞ ORANININ  
ZIRHLAMA ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Bünyamin AYGÜN

FİZİK ANABİLİM DALI

ERZURUM

2010

Her Hakkı Saklıdır

Prof. Dr. Gökhan BUDAK danışmanlığında, Bünyamin AYGÜN tarafından hazırlanan bu çalışma 22/07/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL

İmza: 

Üye: Prof. Dr. Gökhan BUDAK

İmza: 

Üye: Doç. Dr. Yüksel ÖZDEMİR

İmza: 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

( imza )

Prof. Dr. Ömer Akbulut

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEĞİŞİK YAĞ ORANLARINA SAHİP PARAFİN WAXLARDA  
HIZLI NÖTRONLARIN MAKROSKOPİK SOĞRULMA TESİR KESİTLERİNİN  
BELİRLENMESİ VE ZIRHLAMA ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Bünyamin AYGÜN

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gökhan BUDAK

Parafin Wax'ın nötron parçacıklarını iyi soğuran bir materyal olduğu iyi bilinir. Bu çalışmada, farklı yağ oranlarına sahip yedi Parafin Wax numunesinin hızlı nötronları soğurma değişimleri incelenmiştir. Böylece, parafine belli oranlarda yağ katılarak daha iyi nötron soğurucu malzeme elde etmek amaçlanmıştır. Monte Carlo Simülasyon tekniği kullanılarak karpid, yağ, su, borik asit, boron ve %30 çelik, %40 alüminyum, %30 boron karışımı gibi bazı materyaller 4,5 MeV'lik nötronlarla ayrı ayrı ışınlanarak nötron soğurganlıkları gözlemlendi ve yağın parafin wax'ın içinde diğer materyallerden nötronları soğurmada daha uygun olduğu belirlendi.

**2010, 79 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Parafin wax, hızlı nötron, Monte Carlo Simulasyon tekniği, soğurganlık, zırhlanma

## **ABSTRACT**

Master Thesis

THE INVESTIGATION OF EFFECTS ON THE SHIELDING AND THE  
DETERMINATION OF THE MACROSCOPIC ABSORPTION CROSS SECTION  
OF FAST NEUTRONS IN PARAFFIN WAXES HAVING DIFFERENT OIL RATES

Bünyamin AYGÜN

Ataturk University

Graduate School of Applied and Natural Sciences

Physics Department

Advisor: Prof. Dr. Gökhan BUDAK

It is well known that paraffin wax is a favorable absorber material for neutron particles. In this study, the absorption changes of fast neutrons have been examined for seven paraffin wax samples having different oil rates. So, it has been aimed at obtaining a better neutron absorber by mixing oil ratios to paraffin. To observe neutron absorption, some materials such as carbide, oil, water, boric acid, boron and 30 % steel, 40 % aluminium, 30 % boron mixtures are radiated separately with 4.5 MeV neutrons by using Monte Carlo simulation technique, and it was obtained that oil was more suitable absorber for neutrons than the other materials in the paraffin wax.

**2010,79 page**

**Keywords:** Paraffin Wax, fast neutrons, Monte Carlo Simulation technique, absorption, shielding

## TEŐEKKÖR

Bu alıŐma Atatürk Üniversitesi Fen Fakóltesi Fizik Bölümü X-ışınları Floresans laboratuvarında yapılmıŐtır.

Bu araştırma için beni yönlendiren, çalıŐmalarım süresince görüŐ ve önerilerinden istifade ettiğim değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Gökhan BUDAK'a teşekkür ederim.

AraŐtırmalarımnda önerilerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Abdulhalik KARABULUT ve Sayın Doç. Dr. Yüksel ÖZDEMİR'e her aŐamada bana destek olan, deneylerimde ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde yardım eden Sayın ArŐ. Gör. Turgay KORKUT'a ve Sayın ArŐ. Gör. Murat AĞBABA'ya ve numunelerin temininde ve hazırlanmasında yardımcı olan Mercan Kimya Sanayi ve Ticaret Anonim Őirketine teşekkür ederim.

ÇalıŐmalarım boyunca manevi yardımlarını esirgemeyerek bana destek olan sevgili eŐime de teŐekkürlerimi sunarım.

Bünyamin AYGÜN

Temmuz 2010

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>i</b>
1.1. Bugüne Kadar Yapılan Çalışmalardan Bazıları .....	2
<b>2. KURAMSAL TEMELLER</b> .....	<b>5</b>
2.1. Atom ve Genel Özellikleri .....	5
2.2. Atomun Yapısı .....	5
2.3. Atomun Nükleonları .....	7
2.3.1. Elektronlar .....	7
2.3.2. Protonlar .....	7
2.3.3. Nötronlar ve keşfi.....	8
2.3.3.a. Nötronların özellikleri .....	9
2.3.3.b. Nötronların kullanım alanları.....	10
2.3.3.c. Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması.....	12
2.4. Nötron Kaynakları.....	13
2.4.1. $\alpha$ - <i>Be</i> kaynakları.....	12
2.4.2. Foto-nötron kaynakları.....	15
2.4.3. Kendiliğinden fisyon.....	18
2.4.4. Nükleer reaksiyonlar .....	18
2.4.5. Reaktörler .....	19
2.5. Enerjilerine Göre Nötronların Maddeyle Meydana Getirdikleri Etkileşimler ....	19
2.5.1. Elastik saçılma .....	20
2.5.2. İnelastik saçılma.....	21
2.5.3. Nötron yakalanması .....	22
2.5.4. Nükleer Reaksiyonlar.....	22

2.5.5. Filyon olayı.....	22
2.5.6. Yüksek enerji hadron sağnağının retilmesi .....	23
2.6. Nötronların Soğrulması ve Yavaşlatılması .....	23
2.7. Monte Carlo Simülasyon Tekniği .....	25
2.8. Monte Carlo Simülasyon Tekniğiyle Nötronları İyi Soğuran Maddelerin Belirlenmesi .....	26
2.9. Radyasyon ve eşitleri.....	28
2.9.1. Radyasyon nedir.....	29
2.9.2. Radyasyonun oluşması.....	29
2.10. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	30
2.10.1. Dalga tipi radyasyonlar .....	30
2.10.1. a. $\gamma$ -işinleri.....	30
2.10.1.b. X-işinleri .....	31
2.10.2. Parçacık tipi radyasyonlar .....	31
2.10.2. a. $\alpha$ -parçacıkları.....	31
2.10.2. b. $\beta$ -parçacıkları.....	32
2.10.2.c. Serbest nötronlar .....	33
2.11. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar.....	34
2.12. İyon ve İyonizasyon .....	35
2.13. Radyoaktivlik.....	35
2.13.1. Doğal radyoaktivite.....	35
2.13.2. Yapay Radyoaktivite.....	36
2.14. Radyasyon Birimleri .....	36
2.14.1. Aktivite birimi.....	36
2.14.2. Işınlama birimi .....	37
2.14.3. Soğurulma doz birimi.....	37
2.14.4. Eşdeğer doz birimi .....	37
2.14.5. Etkin doz .....	37
2.15. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi .....	38
2.15.a. Fotoelektrik olay .....	40
2.15.b. Compton saçılması.....	41



2.15.c. Çift oluşumu .....	42
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	46
3.1. Nötron Dedektörleri .....	46
3.1.1. Dedektörün çalışması .....	47
3.1.2. Nötron dedektör tipleri .....	47
3.1.2.a. $BF_3$ Orantılı sayaçları .....	48
3.2. Deneyde Kullanılan Dedektör ve Özellikleri .....	48
3.3. Parafin Wax .....	50
3.3.1. Parafin wax'ın tanımı .....	50
3.3.2. Parafin wax'ın tarihçesi .....	50
3.3.3. Parafin wax'ın işlenmesi .....	50
3.3.4. Parafin wax'ın özellikleri .....	51
3.3.5. Parafin wax'ın kullanım alanları .....	52
3.4. Deneyde Kullanılan Parafin Wax'lar ve Özellikleri .....	54
3.4.1. Merwax RS60 (Farma) .....	54
3.4.2. Merwax M .....	54
3.4.3. Merwax S .....	55
3.4.4. Merwax SP .....	56
3.4.5. Merwax MP .....	56
3.4.6. Merwax HT .....	57
3.4.7. Merwax HH .....	58
3.5. Numunelerin Hazırlanması ve Ölçümler .....	58
3.6. Deney Düzenegi .....	59
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	60
4.1. Ölçülen Numunelerin Ölçüm Sonuçları .....	60
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ</b> .....	70
KAYNAKLAR .....	77
ÖZGEÇMİŞ .....	0

## SİMGELER DİZİNİ

$\overset{0}{\text{A}}$	Angström ( $10^{-10} m$ )
$\alpha$	Alfa parçacığı
ADS	Hızlandırıcı sürümlü sistemler
$\beta^- - \beta^+$	Beta parçacığı
Bq	Becquerel, radyoaktivite birimi
B	Manyetik alan
c	ışık hızı
C	Coulomb
d	Döteryum
e	Elektron
eV	Elektron volt
E	Enerji
EMR	Elektromanyetik Radyasyon
$\gamma$	Gama ışını
Gy	Gray, absorblanmış doz birimi
I	Şiddet
h	Planck sabiti
keV	Kilo elektron volt
$m$	Elektron kütlesi
$m_0$	Elektronun durgun kütlesi
M	Çekirdeğin kütlesi
MeV	Mega elektron volt
n	Nötron
NASA	Uluslar Arası Uzay Araştırma Merkezi
OTK	Onuncu tabaka kalınlığı
p	Proton
R	Röntgen, radyasyon şiddet birimi
Sv	Sievert, eşdeğer doz birimi

SI	Uluslar Arası Birim Sistemi
t	Tridyum
$\mu$	Mikro, alt birim ( $10^{-6}$ )
$\tau$	Lineer toplam soğurma katsayısı
UV	Ultraviyole ışınları
$\nu$	Frekans
$\xi$	Enerji yüzdesi
v	Nötronun hızı
YBCO	Yttrium-baryum-bakır-oksit
YTK	Yarı tabaka kalınlığı
Z	Atom numarası
$\sigma_i$	Toplam tesir kesiti
$\theta$	Kütle merkezi sistemindeki saçılma açısı
$\lambda$	Dalga boyu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Atom, yapısı ve nükleonları .....	6
Şekil 2.2. Atomdaki elektronlar.....	7
Şekil 2.3. Chadwick'in Deney Düzenegi ve Alfa parçacıklarının soğrulması.....	9
Şekil 2.4. Atomdaki nötronlar.....	9
Şekil 2.5. Alfa parçacıklarının ağır hedef berilyum için nötron verimi.....	14
Şekil 2.6. Berilyum (alfa-nötron) kaynaklar için tipik bir kaplama.....	14
Şekil 2.7. Alternatif ( $\alpha$ , n) kaynaklarının enerji spektrumları.....	15
Şekil 2.8. Basit bir fotonötron kaynağının yapısı.....	16
Şekil 2.9. $^{252}\text{Cf}$ 'nin parçalanması ile elde edilen nötronların enerji spektrumları.....	18
Şekil 2.10. Nükleer santral.....	19
Şekil 2.11. Nötron'un çekirdekten elastik saçılması.....	21
Şekil 2.12. Nötron'un çekirdekten inelastik saçılması .....	21
Şekil 2.13. Nötron yakalanması.....	22
Şekil 2.14. Fisyon olayı.....	23
Şekil 2.15. Nötronlarla diğer parçacıkların alüminyum, kurşun ve betondan vakumlu ortamda soğrulmalarının karşılaştırılması.....	28
Şekil 2.16. Radyasyon çeşitleri.....	28
Şekil 2.17. Çekirdek kararlığının nötron proton oranına bağlılığı .....	29
Şekil 2.18. $\alpha$ , $\beta$ - parçacıklarının ve $\gamma$ ışınlarının manyetik ve elektrik alandaki sapmaları .....	33
Şekil 2.19. Elektromanyetik spektrum.....	34
Şekil 2.20. Fotoelektrik Olay.....	41
Şekil 2.21. Compton saçılımı.....	42
Şekil 2.22. Çift Oluşumu.....	43
Şekil 2.23. Fotoelektrik, Compton ve Çift Oluşum olaylarının baskın olduğu yerler....	44
Şekil 2.24. Radyasyon Enerjisine göre Lineer Soğurma Katsayısındaki değişim.....	44
Şekil 3.1. Deneyde kullanılan ADM-606 Model NP serisi nötron dedektörü.....	49
Şekil 3.2. Parafin mumunun görünümü.....	51
Şekil 3.3. Parafin wax'ın bazı kullanım alanları.....	53

Şekil 3.4. Merwax RS 60'ın görünümü.....	54
Şekil 3.5. Merwax M'nin görünümü.....	54
Şekil 3.6. Merwax S'nin görünümü.....	55
Şekil 3.7. Merwax SP'nin görünümü.....	56
Şekil 3.8. Merwax MP'nin görünümü.....	56
Şekil 3.9. Merwax HT'nin görünümü.....	57
Şekil 3.10. Merwax HH'nin görünümü.....	58
Şekil 3.11. Deney Düzeneği.....	59
Şekil 4.1. Numune ölçüm sistemi.....	60
Şekil 4.2. Parafin Wax HH (ortalama yağ oranı %13,5)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği.....	64
Şekil 4.3. Parafin Wax HT (ortalama yağ oranı %10)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği.....	65
Şekil 4.4. Parafin Wax MP (ortalama yağ oranı %4)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği.....	65
Şekil 4.5. Parafin Wax SP (ortalama yağ oranı %2,5)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği.....	66
Şekil 4.6. Parafin Wax S (ortalama yağ oranı %1,75)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği.....	66
Şekil 4.7. Parafin Wax M (ortalama yağ oranı %1,25)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği.....	67
Şekil 4.8. Parafin Wax RS (ortalama yağ oranı %0,5)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği.....	67
Şekil 4.9. Parafin Wax RS, M, S, SP, MP, HT, HH'nin ortalama yağ oranlarına göre toplu ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması grafiği .....	68
Şekil 4.10. Parafin Waxlardaki yağ oranına göre geçen nötron sayısı ve makroskobik tesir kesitlerinin karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.1. Parafin Wax, HH, HT, MP, S, M, RS, SP'nin ortalama yağ oranlarına göre geçen nötron sayısının toplu ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması grafiği ....	73
Şekil 5.2. Artan yağ oranına göre doz transmisyonu.....	74
Şekil 5.3. Oluşan hata çubukları.....	75

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Nötronların genel özellikleri.....	10
Çizelge 2.2. Alternatif ( $\alpha$ ,n) izotopik nötron kaynakları.....	15
Çizelge 2.3. Foto-nötron kaynaklarının özellikleri.....	17
Çizelge 2.4. Nötronları iyi soğuran maddeler.....	27
Çizelge 2.5. Bazı $\alpha$ kaynakları.....	32
Çizelge 2.6. Eski ve yeni kullanılan radyasyon birimleri .....	38
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan nötron dedektörünün özellikleri.....	49
Çizelge 3.2. Merwax RS 60'ın özellikleri.....	54
Çizelge 3.3. Merwax M'nin özellikleri.....	55
Çizelge 3.4. Merwax S'nin özellikleri.....	55
Çizelge 3.5. Merwax SP'nin özellikleri .....	56
Çizelge 3.6. Merwax MP'nin özellikleri.....	57
Çizelge 3.7. Merwax HT'nin özellikleri.....	57
Çizelge 3.8. Merwax HH'nin özellikleri.....	58
Çizelge 4.1. Değişen Yağ Oranlarına Göre Sayım Sonuçları.....	61
Çizelge 4.2. Çizelge 4.1.'deki 100 sayımın ortalama değerleri.....	63
Çizelge 4.3. Ortalama yağ oranına göre nötron geçişi ve makroskopik tesir kesiti.....	69
Çizelge 5.1. Ortalama yağ oranına göre ortalama nötron geçişleri.....	72
Çizelge 5.2. Formül oluşturmada baz alınan değerler.....	74
Çizelge 5.3. Hata Çubuklarını oluşturan değerler.....	75
Çizelge 5.4. Yağ oranı farkı ile Transmisyon farkının karşılaştırılması.....	76
Çizelge 5.5. Yağ Oranlarına göre Transmisyon oranlarının karşılaştırılması.....	76

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşayışından beri zorunlu olarak Dũnya'nın yapısında bulunan radyoaktif çekirdeklerden, Gũneř sisteminde oluşan kozmik ışınlardan ya da insanoğlunun ¼rettiđi yapay radyasyonun etkisi altında yaşamaktadır. 1896 yılında Henrie Becquerel tarafından radyoaktivitenin keşfinden sonra, radyoaktivite ve radyasyon uygulamaları çalışmaları, artan ilgi ve merakla devam etmiştir. Radyasyondan yararlanma isteği yeni radyasyon kaynaklarının bulunmasına ve onların zararlı etkisini yok edecek ya da azami dereceye indirecek zırhlama çalışmaları yapılmaktadır. N¼tronlar n¼kleonların y¼ks¼z ¼yesidir. Bu nedenle n¼tronlar madde ile etkileşince Coulomb kuvvetinden etkilenmeden maddenin ilerine kadar n¼fuz edebilirler. N¼tronlar doğrudan iyonlaştırıcı radyasyon değillerdir ancak madde ile etkileştiklerinde ikincil radyasyona ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ve X-ışınları) sebep olarak iyonlaştırıcı ¼zelliđe sahip olurlar. N¼tronlar elektrik y¼k¼ taşımadıklarından pozitif ya da negatif y¼kl¼ parçacıklarla herhangi bir itme veya çekme şeklinde bir etkileşim olmaz. N¼tronların bu ¼zelliđinden yararlanılarak bir maddenin atom çekirdeği n¼tronlarla bombardıman edilerek elektronik yapı değişmeden atom çekirdeğinde değişiklikler oluşturulur. N¼tronla bombardıman edilen çekirdek n¼tronu soğurarak k¼tlesini artırabilir. Bu durumdaki atom kararsız hale gelir kararsız haldeki atom çeşitli ışıma yaparak kararlı hale gelir ki bu ışıma da radyasyon olarak adlandırılır. N¼tronlar diğer y¼kl¼ parçacıklardan (alfa, beta, gama) madde içinde daha girici olduğundan zırhlanması da aynı ¼l¼de zor olmaktadır. N¼tron radyasyonunun zırhlanması ¼ aşamada gerçekleştirilir. Y¼ksek enerjili n¼tronlar (R¼l¼tivistlik  $E > 10$  MeV) ve hızlı n¼tronlar ( $E \cong 200$  keV-10 MeV) n¼tronlar hidrojene karşı duyarlı olduğundan, birinci aşamada n¼tronlar hidrojen zengin olan su, polietilen, parafin, gibi maddelerden geçirilerek n¼tronların enerjileri azaltılır ve Epitermal ( $E \approx 0,4-100$  eV) ve Termal ( $E \cong 0,003-0,4$  eV) n¼tronlar elde edilir. İkinci aşamada, hidrojen zengin maddelerden sonra yavaş (termal) n¼tronlara karşı y¼ksek soğurucu tesir kesitine sahip kadmiyum, bor ve lityum gibi kalın malzemeler kullanılarak n¼tronların soğurulması sağlanır. ¼¼nc¼ aşamada ise, n¼tronların soğurulması sonucu, y¼ksek soğurucu tesir kesitine sahip madde tarafından yayımlanan gamaların tutulması için kurşun gibi, gama soğurucu maddeler kullanılır.

Bu çalışmada amaç hızlı nötronları literatürdeki çalışmalara paralel olarak daha iyi soğuracak bir malzeme üretmektir. Monte Carlo Similasyon Tekniği kullanılarak parafin wax, karpid, su, borik asit, yağ , boron ve %30 çelik, %30 alüminyum, %40 boron karışımı, hızlı nötronlarla bombardıman edilerek nötron soğurganlıkları incelendi ve parafin wax'a yağ katılıp deneysel sonuçların incelenmesine karar verildi.

### 1.1. Bugüne Kadar Yapılan Çalışmalardan Bazıları

Donald *et al.* (1981), epitermal nötron aktivasyon analizi ile SLOWPOKE nükleer reaktörünü kullanarak 69 farklı elemente kadmiyum ve bor katkısı yaparak termal nötron zırhlama ve izotop yayınlama ölçümleri yapmışlar. Deney geometrisi olarak hazırlanan borlu ve kadmiyumlu malzemeleri silindirik şekilde parafin wax blok içerisine yerleştirmişler. (Au, Hf, In, Ir, Rh) elementlerle kadmiyum karıştırılarak elde edilen karışımla düşük enerjili nötron soğurmada iyi sonuç almışlar. (Ba, Cd, Mo, Ru, Sr, Zn ) elementleriyle de boron karışımı hızlı nötron soğurmada iyi sonuç vermiştir.

Yousif *et al.* (1995),  $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  - Be kaynaklarından elde ettiği 14 MeV'lik nötronlarla su, grafit ve kömür'ü ışınlayarak hidrojen içeriklerine göre nötron saçılmalarını ölçmüş ve saçılmaların hidrojene bağlılığını belirlemiştir. Dedektör zırhı için ise alüminyum kap içine 9,7 cm kalınlığında parafin wax, 2 mm kalınlığında kadmiyum kullanmışlardır. Csikai *et al.* (1999),  $^{239}\text{Pu}$  - Be kaynağından elde ettiği nötronların soğurulmasında hidrojen içeren soğurucu maddenin kalınlığına ciddi oranda bağlılığını gösterdiler. S. Jonah *et al.* (1999), 5Ci'lik  $^{241}\text{Am}$  - Be kaynağı kullanarak termal nötronlar elde etmişler. Hidrojen içeren bileşiklerdeki hidrojen oranını belirlemeye çalışmışlar. Hidrojen içeren büyük kütleli materyallerde uzun süreli beklemede nemden dolayı bozulma olmaktadır, bu çalışmayla nükleer analitik tekniği kullanarak H/nem oranını belirlemiştir. Bunun için de 30 cm yüksekliğinde ve 30 cm çapında parafin wax bloğu içine  $^{241}\text{Am}$  - Be kaynağını kaynakla materyal arasına 1 mm kalınlığında kadmiyum (Cd) materyali de 10 cm çapında ve 15 cm yüksekliğinde alüminyum içine



yerleştirmişler, kadmiyumdan 5x5 cm'lik bir termal nötron deliği açmışlar, İndiyum dedektörle  $In^{115}(n, \gamma) In^{116}$  reaksiyonuyla ölçümler yapmışlardır.

Sanz *et al.* (2001), ışın tedavisinde hastalara operasyon boyunca 18 MeV'lik istenilmeyen nötron alanı olduğundan bu tehlikeden hastanın etkilenmemesi için nötronları kolime etme çalışması yapmışlar.  $^{241}Am - Be$  kaynağından elde edilen nötronları ölçmek için dozimetreyi 25 cm çapında bir parafin siper içine yerleştirmişlerdir. Hastaların tedavi edilebileceği 0,6 mSv'lik nötronlar elde etmişlerdir. Akaho *et al.* (2002), ham petrol, parafin wax ve benzen içindeki ağırlıkça (O+C/H) oranı ve (C/H) oranındaki değişime karşılık gelen 37GBq değerinde  $^{241}Am - Be$  kaynağından elde ettikleri nötronların transmisionunu ölçmüşler. Hidrojen oranı arttıkça nötron geçişinin de o oranda düştüğünü ve oksijen, karbon toplamının hidrojene oranı arttıkça geçen nötron sayısında da o oranda arttığı gözlemlemişlerdir. Hunt *et al.* (2002), bir yüksek voltaj kaynağı, K-4000 Van de Graaffion hızlandırıcı kullanarak  $^{12}C(d, n)^{13}N$  reaksiyonu ile bir pozitron kaynağı yapmışlar. Bu kaynak pozitron üretirken aynı zamanda çok sayıda nötron ( $1,2 \times 10^{11} s^{-1}$ ) ürettiğinden, yüksek radyasyon tehlikesi ortaya çıkarıyordu. Sonuçta iyi bir zıhlama yapmak gerektiğinden nötronları zırlamak için silindirik bir zırh geliştirdiler. 40 cm kalınlığında %5 borat parafin ve onu takiben 2,5 cm kurşun tabaka ile  $E=0,28$  MeV'lik nötronların toplam doz oranını 46 mrem/h'den 130 cm uzaklıktan 5 mrem/h'e düşürdüğünü ölçmüşlerdir. Yücel ve Karadağ (2003),  $^{241}Am - Be$  izotopik nötron kaynaklarından elde edilen nötronlar için 1 mm kalınlığında kadmiyumlu (Cd) kadmiyumsuz termal ve epitermal nötronları ölçerek  $\alpha$  şeklinde bir faktör bulmuşlar.  $^{241}Am - Be$  izotopik nötron kaynağının etrafına 1 mm Cd ve katı parafin wax içine paslanmaz çelik yerleştirerek bir zırh yaptılar ve ölçümler aldılar. Kom Land *et al.* (2003), parafini sintilasyon sayacı içinde kullanarak hızlı ve yavaş nötron ölçümleri yapmışlardır. Adamiec *et al.* (2004),  $^{241}Am - Be$  kaynağı kullanarak yavaş ve hızlı nötronlar oluşturmuşlar. LiF içine 25 cm çapında parafin siper yerleştirerek çeşitli mesafelerden ölçüm yapabilen bir dedektör geliştirmişler. Dedektörden kaçan nötronlar parafin tarafından tutulduğundan ölçümler iyi sonuç vermiştir. Steyn *et al.*, 66 MeV'lik protonlarla bakır hedefi

bombardıman ederek,  $\gamma$  ve nötron radyasyonu elde etmişler. Silindirik bir radyasyon zırhlamada önce 30 cm kalınlığında demir, onun üstüne %2,5 boron karpid ( $B_4C$ ) içeren parafin wax en dışa da 1 cm kalınlığında çelik yerleştirerek ölçüm yapmışlar. İçteki demir tabaka hızlı nötronları tutmuş, 4 MeV'den daha az enerjili, nötronları parafin wax, yüksek termal ve termal nötronları da, boron karpid ( $B_4C$ ) soğurmuş ve zırh malzemesinin kalınlığını değiştirerek optimal parafin wax, demir, çelik kalınlığı belirlemişlerdir.

Mahmood *et al.* (2006), yüksek oranda tekrar eden yoğun plazma odaklı (DPF) nötron kaynağı kullanarak kısa ve uzun süreli sabit nötron alanları elde etmişler. Ölçümleri kendi geliştirdikleri İndiyum-Berilyum dedektörü ile yapmışlar. Dedektörün zırlanmasında parafin wax kullanmışlar. Hakimabad *et al.*(2007),  $^{252}Cf$  radyoizotopu ve  $^{241}Am - Be$  nötron kaynakları yaygın olarak laboratuvarlarda, tıpta ve endüstride kullanıldığından tıptaki kullanımında vücuttaki kimyasal bileşikler analiz edilirken bu kaynaklardan nötronların yanında yüksek oranda  $\gamma$  yayınlar ve bu  $\gamma$ 'lar da vücuda zarar verdiği gibi dedektörün backgroundunun da bozulmasına sebep olurlar bu problemleri ortadan kaldırmak için etkili bir  $\gamma$  - ışını zırhlaması geliştirdiler. Kaynağın etrafına kurşun ve onun üstüne de parafin wax yerleştirerek  $\gamma$ -ışınlarının kurşun nötronlarında parafin tarafından tutulmasını sağlayarak bu problemi büyük ölçüde ortadan kaldırdılar. Yin *et al.* (2008), Monte Carlo Simulasyon tekniğini, MCNP ve DORT sistemlerini kullanarak, hızlı nötron zırhlamada sandviç modeli geliştirmişlerdir. Sadece çelik, boron ve parafin wax karışımıyla ölçümler yapmışlar ve boron-parafin wax karışımının daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Zhu *et al.* (2009), 14 MeV'lik nötronlarla demirle zırhlanmış dedektörü demir yüzeyinden  $60^\circ - 120^\circ$  ve  $180^\circ$  derecelerden bombardıman ederek ölçüm almışlar ve dedektör backgroundunu deneysel ve MCNP ölçümlerini karşılaştırmışlardır. 14 MeV'lik nötronlar büyük kütleli zırh materyalini geçerken elastik ve inelastik saçılmalardan dolayı enerji birikmesine sebep olurlar. Dedektörün pozisyonu  $60^\circ$ 'de olduğunda ve  $E < 13$  MeV enerjideki nötronlar için daha çok soğrulduğunu gözlemlenmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Atom ve Genel Özellikleri

Evrendeki tüm maddeler atomlardan oluşmuştur. Her atom, küçük bir pozitif yüklü merkezi bir çekirdek ile belli sayıda elektron içerir. Elektronlar eksi elektrik yükü taşırlar ve çekirdek etrafında sınırları kesin olmayan bulutlar içinde veya kabuklarda hareket ederler. Atomun çekirdeği, elektronun eksi yüküne eşit bir artı yük taşıyan protonlar ve hiç yük taşımayan nötronlar içerir. Bu üç parçacığa nükleon adı verilir. Atomlar içerdikleri atomaltı parçacıkların sayısı ile birbirlerinden farklılık gösterirler. Aynı elementin atomları aynı sayıda protona sahiptirler, bu sayıya atom numarası denir. Aynı elementin atomları farklı sayıda nötron'a sahip olabilirler böyle olan sayılar o elementin izotoplarını belirler. Proton ve nötrona kıyasla elektronlar atoma daha zayıf güçle bağlı olduklarından elektron sayısı kolaylıkla değişebilir. Çekirdekdeki proton ve nötron sayısı ise nükleer fisyon, nükleer füzyon ve radyoaktif bozunma yoluyla değişebilir bu durumda atom başka bir elemente dönüşebilir.

### 2.2. Atomun Yapısı

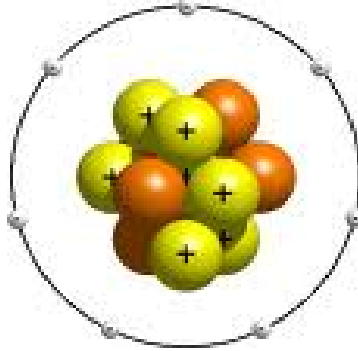
Atomun yapısını açıklayan ve günümüzde kabul edilen son teori Kuantum Atom Teorisidir. Kuantum Atom Teorisine göre atom modeli Borh atom modelinden farklıdır. Bohr Atom Modeline göre atomun merkezindeki çekirdeğin etrafında elektronlar belirli enerji seviyelerindeki çemberler şeklinde yörüngelerde dolanmaktadırlar. Yörüngeler arası elektron geçişleri atomun renkli görünmesini sağlarlar. Ancak bu model birçok spektrumunu açıklayamamıştır. Kuantum Atom Modelinde ise atomun merkezinde bulunan çekirdeğin etrafındaki elektronlar orbital denilen belli bölgelerde bulunurlar. Belli enerji seviyesine sahip bu orbitaller küresel bir katman oluştururlar. Bu küresel katmanlarda orbitallerin belli bölgelerde bulunan belli enerji seviyesine sahip bu orbitaller de küresel bir katman oluştururlar. Bu küresel katmanlarda orbitallerin belirli şekilleri ve açıları (yönelimleri) vardır.

Orbitallerin bulunduğu katmanların enerji seviyelerini baş kuantum sayısı belirler.  $n=1,2,3\dots$  gibi tam sayılarla ifade edilir, elektronun enerjisini tayin eder ve yazıldıkları sırayla K,L,M,N,...kabuklarına karşılık gelir. Elektronun bağlanma enerjisi  $1/n^2$  ile değişir.

$l$  orbital kuantum sayısı elektronun çekirdek etrafındaki açısal momentumunu kontrol eder ve  $0,1,\dots(n-1)$  gibi tam değerler alır. Bu değerlerde sırayla s,p,d,f,...alt kabukları gösterir ve orbitallerin şekillerini belirler.

$m_l$  manyetik kuantum sayısı uygulanan bir B manyetik alanına paralel açısal momentumu tayin eder ve yalnız  $+l$  den  $-l$ 'ye kadar tam değerler alabilir.

$s$  spin kuantum sayısı  $+1/2$  ve  $-1/2$  değerlerini alabilir. İşareti onun  $l$  orbital kuantum sayısına paralel veya antiparalel olduğunu gösterir. Böylece bir atom içindeki elektron bu dört kuantum sayısı ile karakterize edilebilir. Aynı atom içinde dört kuantum sayısı  $n, l, m_l, s$ , aynı olan iki elektron bulunmaz (Pauli Prensipleri).

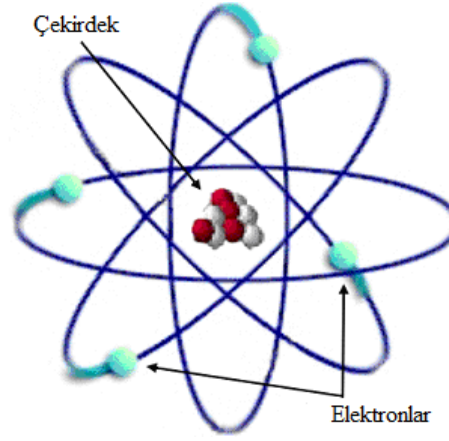


**Şekil 2.1.** Atom, yapısı ve nükleonları

## 2. 3. Atomun Nükleonları

### 2. 3. 1. Elektronlar

Atom çekirdeğinin çevresinde dönen negatif elektrik yüklü zerreciklerdir. Atomdaki elektron sayısı elementin cinsine göre değişir. Elektronlar çekirdeğin etrafında ondan çok daha büyük olan elektron bulutunu oluştururlar.



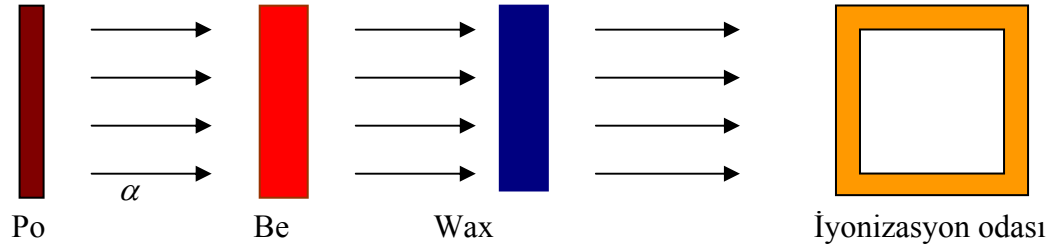
Şekil 2.2. Atomdaki elektronlar

### 2. 3. 2. Protonlar

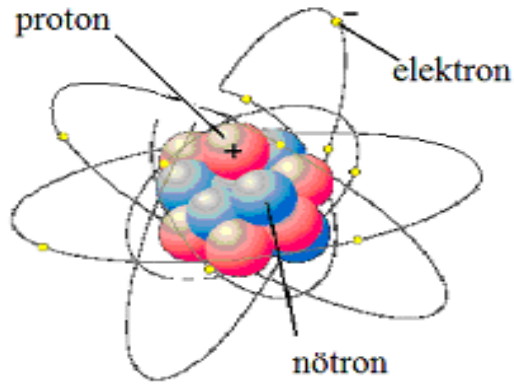
Atom çekirdeğini meydana getiren öğelerden biridir. Pozitif elektrik yüklü zerreciklerdir. Ağırlığı elektronun 1840 katıdır. Taşıdığı elektrik yükünün oranı elektronunkiyle aynıdır. Atomların cinsine göre çekirdekteki proton sayısı değişir. Protonlar atomda çok küçük bir hacimde birbirlerine çok yakın bir durumda bulunurlar ancak birbirlerini itmeleri gerekir. O zaman protonları bir arada tutan çekim kuvvetleri vardır. İşte bu kuvvetlere çekirdek kuvvetleri denir.

### 2. 3. 3. Nötronlar ve keşfi

Atom nükleonlardan meydana gelmiştir. Proton, nötron ve elektron. Nükleonların yüksüz üyesi nötrondur. 1930 yılında W. Bothe ve H. Becker, radyoaktif polonyum elementinden çıkan çok hızlı alfa parçacıklarıyla berilyumu bombardıman ederek çok delici ancak direkt iyonlaştırıcı olmayan bir ışınım elde ettiler. Bu ışınları ilk anda bir X ışını ya da gamma ışınları gibi elektromanyetik ışın olduklarını düşündüler. Ancak 1931'de Curie-Juliot Po kaynağından çıkan  $\alpha$  parçacıklarını bir Berilyum (Be) parçası üzerine düşürdüler. Bunun arkasında bir wax parafin levhası koydular. Parafin böyle deneyler için uygun olacak şekilde yüksek bir hidrojen atomu konsantrasyonu sağlar. Bu ışınların parafinden geçerken iyonizasyon akımını artırdığını ancak parafin levhası yerine alüminyum, bakır, gümüş, kurşun gibi levhalar konduğunda akımın değişmediğini gözlemlədiler parafinden yüksek enerjili protonlar yayınlandığını ve iyonizasyon akımının artmasına neden olduğunu fark ettiler. Eğer bu ışın gerçekten gama ışını olsaydı protonların parafinden Compton olayı gibi koparılması gerekirdi. Compton saçılmasındaki formülleri kullanarak bu kadar yüksek enerjili bir proton koparabilmek için en az 52 MeV'lik bir gama ışınına ihtiyaç vardır. Bu da olası değildir. 1932'de Chadwick berilyum ışınlarını parafinden başka birçok maddeye yönelterek incelemeye başladı. Bu maddeler bu ışınlarla bombardıman edildiklerinde bu maddelerin çekirdeklerinde de geri tepeler; fakat hidrojenden çok daha düşük bir hızla hareket ederler. Geri tepen çekirdeğin atom ağırlığı arttıkça geri tepme hızının azalması berilyum ışınlarının elektromanyetik ışına olmadığını gösterir. Çünkü bu olay ancak kütlesi protonun kütlesine yakın bir parçacıkla meydana gelebilir. Bu parçacık büyük nüfuz etme gücüne de sahiptir. Bu da ancak elektrikçe yüksüz olmasıyla mümkündür. Yüklü parçacıklar, atomun içerisindeki elektrik alanları tarafından saptırılırlar. Elektrikçe yüksüz gamma ışınlarının alfa veya beta ışınlarına göre yüksek giricilik özelliğinin olması da bu yüzdendir. Chadwick bu berilyum ışınına kütlesi yaklaşık protonunkine eşit ve yüksüz bir parçacık olan nötron ismini verdi.



**Şekil 2.3.** Chadwick'in Deney Düzenegi ve Alfa parçacıklarının soğrulması



**Şekil 2.4.** Atomdaki nötronlar

### 2. 3. 3. a. Nötronların Özellikleri

Nötronlar protonlarla atomun çekirdeğini oluştururlar. Nötronların kütlesi yaklaşık protonunki kadardır ( $1,6748 \times 10^{-27}$  kg). Hidrojen dışında bilinen bütün atomların çekirdeklerinde nötronlar vardır. Hidrojenden sonra en basit atom olan Helyum'un çekirdeğinde iki proton, iki nötron vardır. Bir elementin atomları hep aynı durumda değildir. Çekirdeklerindeki nötron sayıları değişebilir. Nötronun elektrik yükü olmadığından, atomun çekirdeğinde farklı sayıda nötron bulunması o atomun kimyasal özelliğini değiştirmez. Nötron sayısının az ya da çok olması atomun sadece kütlesini değiştirir. Bir elementin ağırlıkça birbirinden farklı atomlarına o elementin "izotopları" denir.

**Çizelge 2.1.** Nötronların genel özellikleri (<http://tr.wikipedia.org/wiki/nötron>)

<i>Sınıfı</i>	<i>Baryon</i>
<i>Bileşimi</i>	<i>Bir yukarı, iki aşağı</i>
<i>Ailesi</i>	<i>Fermiyon</i>
<i>Grup</i>	<i>Kuark</i>
<i>Etkileşimi</i>	<i>Yer çekimsel, Elektromanyetik, Güçsüz, Güçlü</i>
<i>Anti-parçacığı</i>	<i>Anti-nötron</i>
<i>Keşfi</i>	<i>James Chadwick (1932)</i>
<i>Sembol</i>	<i>N, n<sub>0</sub></i>
<i>Kütle</i>	<i>1,674 927 29(28) × 10<sup>-27</sup> kg</i>
<i>Ortalama Yarı Ömrü</i>	<i>885, 7(8) s (serbest)</i>
<i>Elektrik yükü</i>	<i>0 Coulomb</i>
<i>Elektrik Dipol Moment</i>	<i>&lt; 6, 3 × 10<sup>-26</sup> e cm</i>
<i>Elektrik Polarizesi</i>	<i>1,16(15) × 10<sup>-3</sup> fm<sup>3</sup></i>
<i>Manyetik Moment</i>	<i>-1,913 0427(5) M<sub>n</sub></i>
<i>Manyetik Polarizesi</i>	<i>3, 7 (20) × 10<sup>-4</sup> fm<sup>3</sup></i>
<i>Spin</i>	<i>½</i>
<i>Izo-Spin</i>	<i>½</i>
<i>Parite</i>	<i>+1</i>

### 2. 3. 3. b. Nötronların kullanım alanları

Enerji çeşitlerine göre nötronlar çok çeşitli teknolojik alanlarda kullanılmaktadır ve kullanım alanları aşağıda verilmiştir:

- ❖ Nötronlar hidrojen atomlarına duyarlıdır. Bu nedenle hidrojen atomlarının farklı yerlere yerleştirilmesinde ve yeni ilaç dizaynında önemli olan daha hassas moleküler yapının tespit edilmesinde kullanılır.
- ❖ Büyük biyolojik moleküller çok sayıda hidrojen atomu içerdiklerinden bir biyomolekülün bir parçasının görülebilmesi için izotop yerleştirilir. Bu hidrojen atomlarının ağır hidrojen (döteryum) ile yerleştirilmesiyle yapılır. Döteryum atomları ile hidrojen atomlarında nötronlar farklı saçılırlar. Kontrant değişimi denilen bu yöntemle kromozomdaki bir proteinin ya da nükleik asit gibi farklı çeşit moleküller görülebilir. Bu şekilde bir makro molekülün her parçası hakkında bilgi toplanılabilir.



- ❖ Sudaki hidrojeninden saçılan nötronları kullanarak bir jet uçağının kanatlarında küçük bir nem tespit edilerek mikroskobik çatlak ve korozyon işaretlerinin tam yeri tespit edilerek değiştirilecek parça saptanır.
- ❖ Nötronların sudaki hidrojeninden saçılması NASA Ayda ve Marsta kozmonogların ulaşamadığı kutup noktalarında kullanarak su olup olmadığı bulma çalışmalarında kullanılıyor.
- ❖ Hidrojenin yanında nötronlar ağır atomlar arasındaki diğer hafif atomları da yerleştirebilirler. Nötronların bu özelliği YBCO (Yttrium-barium-Copper oxide) içindeki hafif oksijen atomlarının kritik pozisyonlarını tespit etmede de kullanılabilir. YBCO'nun yüksek sıcaklıklı süper iletken seramik malzeme olması yolunda çalışmalar sürüyor. YBCO telleri elektrik motorlarının, jeneratörlerin, iletim hatlarının, trafoların manyetik cihazların (parçacık hızlandırıcılar, tıbbi tanı makineleri, havada giden süper hızlı trenler vb. ) enerji verimliliğini artırmak için kullanılabilir.
- ❖ Bir nötron pusula ibresi gibi bir yönü işaret eden bir manyetiğe benzer. Bu manyetizasyonun yönü ve büyüklüğü bir manyetik momentin manyetik momentleri aynı yönü gösteren polarize nötronları üretebilir. Bu nötronlar manyetik malzemenin özelliklerinde kullanılabilir. (cd, kredi kartları )
- ❖ Termal nötronların enerjileri hareketli atomların enerji seviyesinde olduğundan atomların ve moleküllerin hareketlerinin gözlenmesinde kullanılabilir.
- ❖ Nötronlar kemiklerin gelişim evrelerinin izlenmesi ve kemiklerin mineralize olmaları osteoporoz gibi bozulmalarında da kullanılabilir.
- ❖ Nötronlar yüksek enerjili plastik üretmek için polimerlerin geliştirilmesinde de kullanılabilir. Bu plastikler Cd vb ürünlerin üretilmesinde kullanılır.

Genel olarak:

- ❖ Fizik, Jeofizik ve Kimya araştırmalarında
- ❖ Hidrojen atomlarının moleküllerdeki yer tayininde
- ❖ Uzay araştırmalarında
- ❖ Materyal bilimi araştırmaları
- ❖ Uçak sanayinde ve Silah yapımında
- ❖ Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler (ADS)

- ❖ Süper iletken üretiminde
  - ❖ Kristalize malzemeler üretiminde
  - ❖ Tıbbi tanı malzemelerinde
  - ❖ Manyetizma ve süper iletkenlik
  - ❖ Transuronic (uranyum içeren) elementleri belirlemek
  - ❖ Nötron lambası ile nano ürünler gibi ileri teknoloji ürünlerini test etmede
  - ❖ Toryumla birleşerek nükleer enerji üretiminde, radyoaktif kalıntıların yok edilmesinde
  - ❖ Medikal izotop üretiminde
  - ❖ Nötron aktivasyon analizinde
  - ❖ Kanser tedavisinde
  - ❖ Yüksek enerjili plastik üretiminde
- kullanılırlar.

### 2. 3. 3. c. Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması

Nötronlar farklı farklı nükleer reaksiyonlarla elde edebilirler. Bu nükleer reaksiyonlarla elde edilen nötronlar genelde yüksek enerjilidirler. Nötronları çeşitli enerjilerde elde etmek için yüksek enerjili nötronlar farklı madde atomlarıyla çarpıştırabilirler ve böylece daha düşük enerjili nötronlar elde edilmiş olur. Nötronları enerjilerine göre şöyle sıralayabiliriz:

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1. Soğuk nötronlar                 | $E < 0,003 \text{ eV}$                     |
| 2. Yavaş (termal) nötronlar        | $E \cong 0,003\text{eV} - 0,4 \text{ eV}$  |
| 3.Yavaş (epitermal) nötronlar      | $E \approx 0,4\text{eV} - 100 \text{ eV}$  |
| 4. Orta nötronlar                  | $E \cong 100 \text{ eV} - 200 \text{ keV}$ |
| 5. Hızlı nötronlar                 | $E \cong 200 \text{ keV} - 10 \text{ MeV}$ |
| 6. Yüksek Enerjili (Rölativistlik) | $E > 10 \text{ MeV}$                       |

### 2. 4. Nötron Kaynakları

### 2. 4. 1. $\alpha$ - Be kaynakları

Bu reaksiyon laboratuvarlarda nötron elde etmek için uygun bir nötron kaynağı olarak kullanılabilir. Bu reaksiyonda bir  $\alpha$  parçacığı ile berilyumun kararlı izotopu olan  ${}^9\text{Be}$  ile çarpıştırılmasıyla 13 MeV'e kadar nötronlar elde edilebilir:



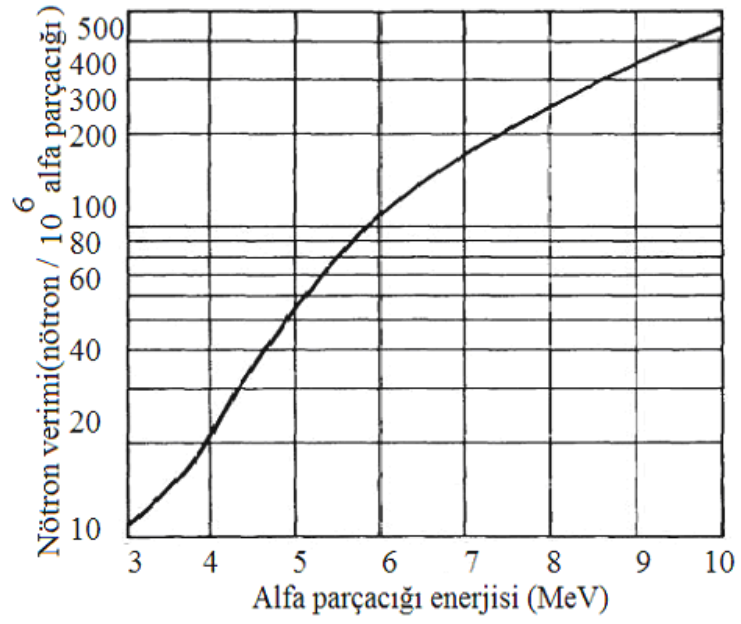
Burada  $\alpha$  kaynağı olarak uzun ömürlü bir  $\alpha$  yayınlayıcı  ${}^{226}\text{Ra}$  'yı kullanabiliriz.  ${}^{226}\text{Ra}$  yaklaşık 5-8 MeV'lik  $\alpha$  yayınlar. Bu kaynakla elde edilen nötronlar aşağıdaki sebeplerden dolayı tek enerjili değildir.

1-Berilyuma gelen birçok  $\alpha$  grubunun olması.

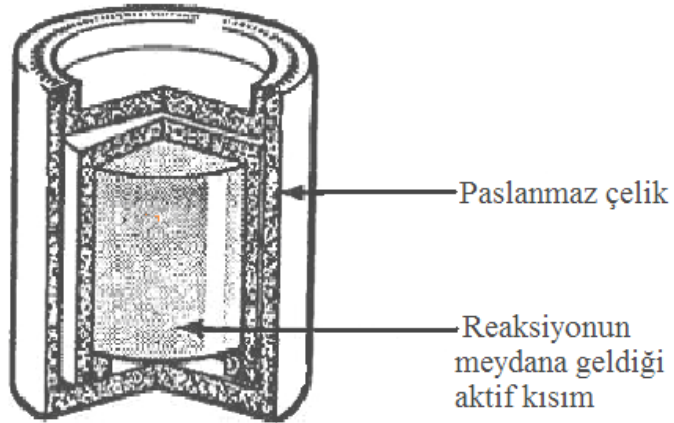
2-Berilyum içindeki çarpışmalar sonucu  $\alpha$  'ların yavaşlaması.

3-Geliş doğrultuları bilinmeyen  $\alpha$  'lara göre yayınlanan nötronların doğrultularının farklı oluşu.

4-Bazı  ${}^{12}\text{C}$  izotopunun uyarılmış enerji seviyelerinde olma ihtimali.  ${}^{226}\text{Ra}$  Ci cinsinden aktiflik başına saniyede  $10^7$  nötron (5 MeV) üretebilir.  ${}^{226}\text{Ra}$  ve radyoaktif ürünleri de yüksek enerjili  $\gamma$  ışını yayınladıklarından dolayı radyum - berilyum kaynağı yerine yaygın olarak  ${}^{210}\text{Po}$  (138 gün),  ${}^{238}\text{Pu}$  (86 yıl) ve  ${}^{241}\text{Am}$  (486 yıl) kaynakları kullanılmaktadır. Bu kaynaklar Ci cinsinden aktiflik başına saniyede  $2-3 \times 10^6$  nötron üretebilirler. Aşağıda Şekil 2.5'de görüldüğü gibi ağır hedef berilyuma gelen  $\alpha$  'ların enerjilerinin artışına bağlı olarak üretilen nötronlarında enerjileri o ölçüde artmaktadır.



Şekil 2.5. Alfa parçacıklarının ağır hedef berilyum için nötron verimi

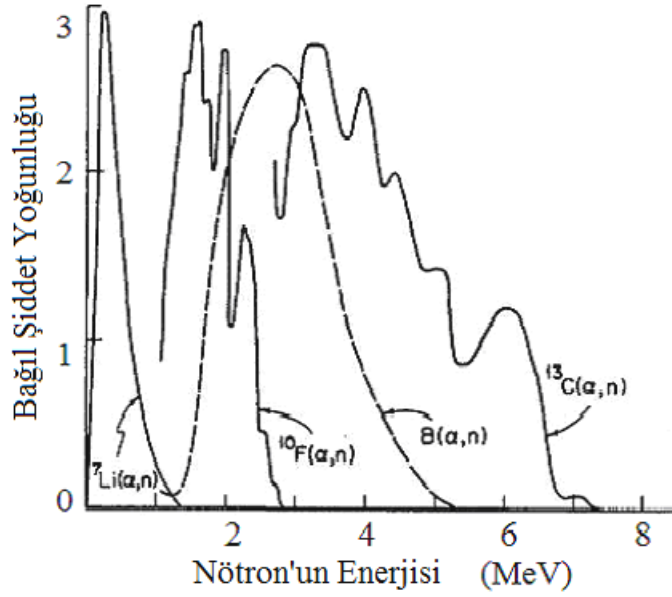


Şekil 2.6. Berilyum (alfa-nötron) kaynaklar için tipik bir kaplama (Wiley 1996)

Alfa parçacığının oluşturduğu reaksiyonlar nötron kaynağı olarak kullanılabilir ancak hepsi Be reaksiyonlarıyla karşılaştırıldığında birim alfa aktivitesi daha düşük nötron verimine sahiptirler. Daha iyi reaksiyon sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Alternatif ( $\alpha, n$ ) izotopik nötron kaynakları

Hedef	Reaksiyon	Q değeri (MeV)	$10^6$ $\alpha$ parçacığı başına nötron verimi
Tabii Be	$^{10}\text{Be} (\alpha, n)$	+ 1,07	$^{241}\text{Am} - \alpha$ parçacığı için 13
Be	$^{11}\text{Be} (\alpha, n)$	+0,158	$^{241}\text{Am} - \alpha$ parçacığı için 13
F	$^{19}\text{F} (\alpha, n)$	-1,93	$^{241}\text{Am} - \alpha$ parçacığı için 4,1
$^{13}\text{C}$	$^{13}\text{C} (\alpha, n)$	+2,2	$^{241}\text{Am} - \alpha$ parçacığı için 11
Tabii Li	$^7\text{Li} (\alpha, n)$	-2,79	
Be	$^9\text{Be} (\alpha, n)$	+5,71	$^{241}\text{Am} - \alpha$ parçacığı için 70

**Şekil 2.7.** Alternatif ( $\alpha, n$ ) kaynaklarının enerji spektrumları (Wiley 1996)

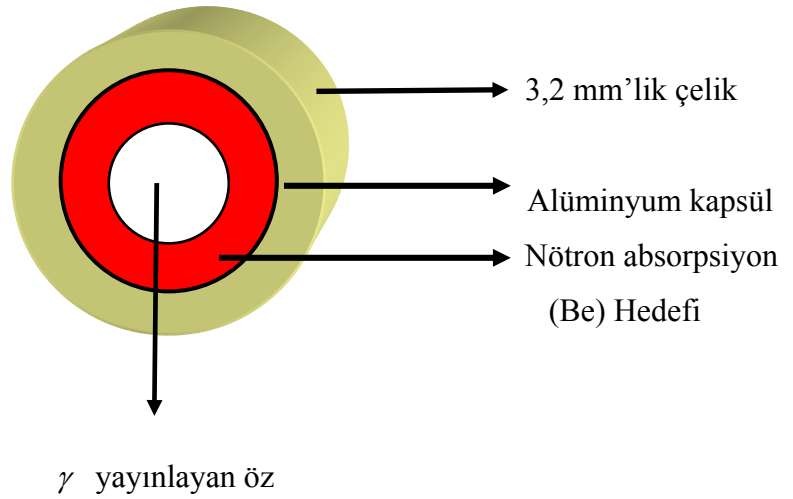
#### 2. 4. 2. Foto-nötron kaynakları

Bu kaynaklarla  $\alpha - n$  kaynaklarına benzer bir yöntemle  $\gamma - n$  kaynağı olarak gamaların  $^9\text{Be}$  ile çarpıştırılmasıyla nötron elde edilebilir. Bu kaynaklarla eğer foton kaynağı tek

enerjili ise elde edilecek nötronlarda tek enerjili olabilir. Bu da tek enerjili nötronları birçok alanda kullanma olanağı verir.  $^{24}\text{Na}$  izotopu tarafından yayımlanan 2,76 MeV'lik  $\gamma$ -ışınlarının soğrulması ile  $^9\text{Be}$ 'un zayıf bağlı bir nötronunu koparabilir ve yaklaşık enerjisi 0,8 MeV'lik nötron elde edebilir.



$^{24}\text{Na}$ 'un verimi Ci cinsinden aktifliği başına  $2 \times 10^6$  nötron/s olup bu değer yeterlidir fakat yarı ömrü kısadır (15 saat). Daha uzun ömürlü olan  $^{124}\text{Sb}$  (60 gün)  $\gamma$  kaynağı kullanılarak 24 keV'lik düşük enerjili nötronlar elde edilebilir.



**Şekil 2.8.** Basit bir fotonötron kaynağının yapısı

Foto nötron kaynaklarının dezavantajı çok büyük  $\gamma$  ışını aktiviteli kaynakların belli enerjili nötronları üretmek için kullanılmasıdır.

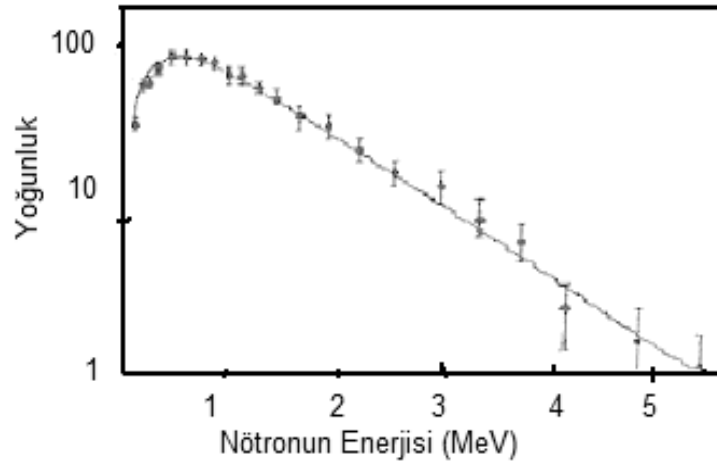
**Çizelge 2.3.** Foto-nötron kaynaklarının özellikleri (Wiley 1996)

$\gamma$ ışını yayınlayıcısı	Yarı ömür	$\gamma$ ışınının enerjisi (MeV)	Hedef	Nötron enerjisi (keV)	$10^{10}$ Bq'lık aktivite için nötron verimi (n/s)
$^{24}\text{Na}$	15 saat	2,7541	Be	967	340 000
		2,7541	d	263	330 000
$^{28}\text{Al}$	2,2 dakika	1,7787	Be	101	32 600
$^{38}\text{Cl}$	37,3 dakika	2,1676	Be	446	43 100
$^{56}\text{Mn}$	2,58 saat	1, 8107	Be	129	
		2,1131		398	91 500
		2,9598		1,1491	
		2,9598	d	365	162
$^{72}\text{Ga}$	14,1 saat	1,8611	Be	174	64 900
		2,2016		476	25 100
		2,5077		748	
		2,5077	d	140	
$^{76}\text{As}$	26,3 saat	1,7877	Be	109	
		2,0963		383	3 050
$^{88}\text{Y}$	107 gün	1,8361	Be	152	229 000
		2,7340		949	
		2, 7340	d	253	160
$^{116}\text{In}$	54,1 dakika	2,1121	Be	397	15 600
$^{124}\text{Sb}$	60,2 gün	1,6910	Be	23	210 000
$^{140}\text{La}$	40,3 saat	2,5217	Be	760	10 200
		2,5217	d	147	6 600

Bu  $\gamma$  yayınlayıcıların çoğunun yarı ömürleri kullanımları sırasında kısa olduğundan nükleer reaktörlerde yeniden aktiflenmeleri gerekmektedir.

### 2. 4. 3. Kendiliğinden fisyon

$^{252}\text{Cf}$  (2,65 yıl) gibi kendiliğinden fisyonla uğrayan izotoplar yaygın olarak nötron kaynağı olarak kullanılabilirler. Nötronlar doğrudan fisyon reaksiyonu sonucu üretilir ve her parçalanma başına yaklaşık 4 nötron elde edilir. Bozunmaların sadece %3 nötron ve kalanı ise  $\alpha$  bozunumudur. 1gr  $^{252}\text{Cf}$  başına  $2,3 \times 10^{12}$  nötron/s düşer. Buradaki nötron enerjileri yaklaşık 1-3 MeV'dir.



Şekil 2.9.  $^{252}\text{Cf}$  kendiliğinden parçalanması ile elde edilen nötronların enerji spektrumları

### 2. 4. 4. Nükleer reaksiyonlar

Nötronlar birçok reaksiyonla elde edilebilir. Reaksiyonun başlaması için gerekli yüklü parçacıkları parçacık hızlandırıcılarla hızlandırılması gerekir. Bu nedenle radyoaktif bozunma kaynaklarına göre nispeten pekte kullanışlı değildir. Kullanılan yüklü parçacığın enerjisi ile yayınlanan nötronların yayınlanma açısını istenilen şekilde ayarlanarak istenilen enerji düzeyinde ve tek enerjili nötron demetleri elde edilebilir. Genelde aşağıdaki reaksiyonlar kullanılır:





#### 2. 4. 5. Reaktörler

Bir nükleer santralin yakınlarında nötron akısı oldukça yüksek olabilir ve  $\text{cm}^2$  başına yaklaşık  $10^{14}/\text{s}$  5-7 MeV' lik nötronlar elde edilebilir. Bu nötronlar reaktör içinde termal nötronlara kadar yavaşlatılsalar da, reaktör korunda hızlı nötronlar bulunabilir. Reaktör kazanının zırhından açılacak küçük bir delikten gelecek nötronlar laboratuvar deneylerinde kullanılabilir. Gelen hızlı nötronlar su veya parafin gibi maddelerle yavaşlatılarak çeşitli enerjilerde nötron elde edilebilir. Gelen yüksek düzeydeki nötronlardan nötron soğrulmasıyla radyoizotop da üretilebilir.



Şekil 2.10. Nükleer santral

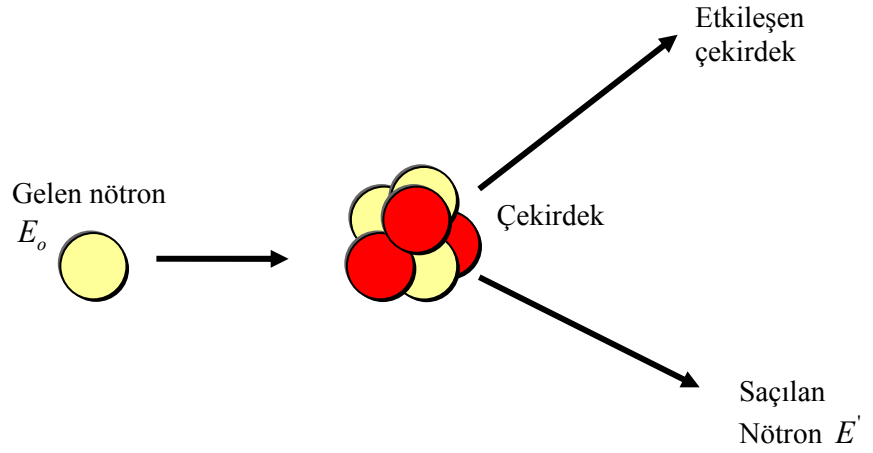
#### 2. 5. Enerjilerine Göre Nötronların Maddeyle Meydana Getirdikleri Etkileşimler

Nötronlar  $\gamma$ -ışınları gibi yük taşımadıklarından dolayı Coulomb kuvvetinden etkilenmeden maddeyle etkileşirler. Coulomb kuvvetleri yüklü parçacıklar ve elektronlar için maddeyle etkileşimde enerji kaybettiren ana sebeptir. Nötronlar herhangi bir etkileşme yapmaksızın maddenin içine santimetrelerce

ilerleyebildiklerinden sıradan büyüklüğe sahip bir detektörle tamamen gözlemlenemeyebilirler. Etkileşmenin sonucu olarak nötronlar ya tamamen görünmezler ya da daha çok ikincil radyasyonla yer değiştirebilirler veya ilaveten nötronların enerjileri ve doğrultuları önemli derecede değiştirilir.  $\gamma$ -ışınlarının aksine nötron etkileşmelerinin sonucu oluşan ikincil radyasyonlar neredeyse her zaman ağır yüklü parçacıklardır. Bu parçacıklar ya nötronların indüklediği nükleer reaksiyonlar sonucu olarak üretilebilirler ya da nötron çarpışmalarının sonucu olarak enerji alan soğurucunun kendi çekirdekleri olabilir.

### **2. 5. 1. Elastik saçılma**

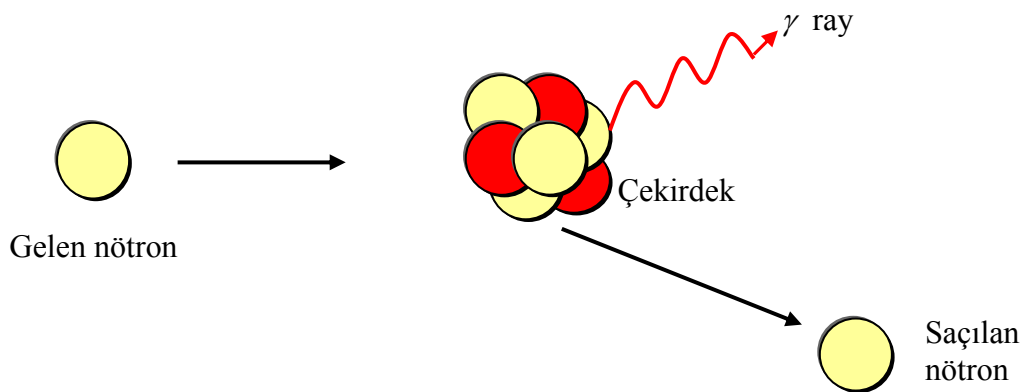
MeV mertebesinde enerjiye sahip olan nötronların temel enerji kaybetme mekanizmasıdır. Çarpışan iki parçacığın toplam kinetik enerjisi korunur. Bu çarpışma (n, n) şeklindeki reaksiyonlardır. Nötron bir atom çekirdeğine çarpar ve kinetik enerjisinin bir kısmını ona aktardıktan sonra kendi geliş doğrultusundan saparak farklı bir doğrultuda çekirdekten uzaklaşır. Burada çekirdeğin yapısında değişiklik olmaz. Yavaş nötronlar küçük kinetik enerjilerinden dolayı bu çarpışmada enerjilerinin küçük bir kısmını çekirdeğe aktarabilir. Bu etkileşim yavaş nötron detektörlerinin temelini oluşturabilecek bir etkileşme değildir. Yine de elastik saçılmalar mümkün olduğunca olma eğilimindedir ve farklı bir etkileşme yapmadan önce soğurucuyla yavaş nötronları termal dengeye getirmeye çalışır. Bu nedenle yavaş nötronların enerji aralığındaki enerjilere sahip olan nötronların çoğunluğu oda sıcaklığında yaklaşık 0,025 eV ortalama enerjiye sahip olan termal nötronlar arasında bulunacaktır.



**Şekil 2.11.** Nötronun çekirdekten elastik saçılması

### 2. 5. 2. İnelastik saçılma

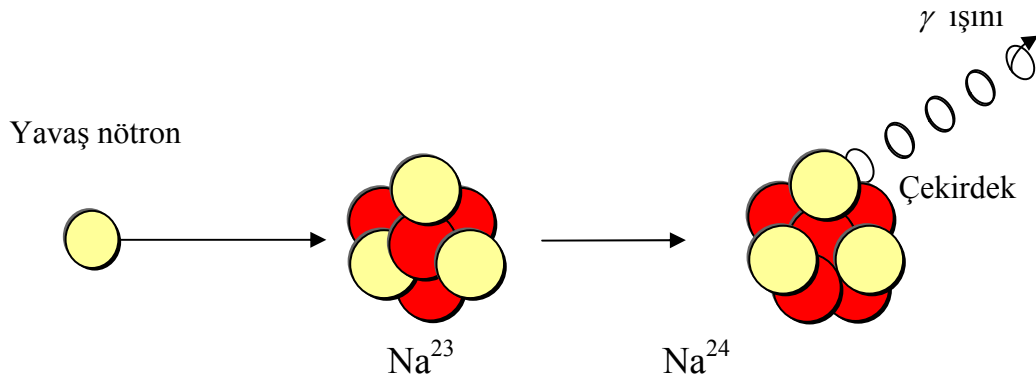
Bu saçılma  $(n, n')$   $(n, 2n')$  gibi reaksiyonların olduğu durumlarda ortaya çıkan saçılmadır. Bu çeşit reaksiyonlarda, çekirdek uyarılmış durumda bırakılır ve bu çekirdek daha sonra gama veya radyasyonun diğer çeşit formları ile bozunur. Nötronun çekirdeği uyarması için yeterince enerjiye (1 MeV veya fazla) sahip olması gerekir. Bu eşik enerjisinin altında, sadece elastik saçılma olur.



**Şekil 2.12.** Nötronun çekirdekten inelastik saçılması

### 2. 5. 3. Nötron yakalanması

$n + {}^A X \longrightarrow \gamma + {}^{A+1} X$  şeklindeki reaksiyonlardır. Nötron yakalanması için tesir kesiti  $\cong \frac{1}{v}$  ile değişir.  $v$  nötronun hızıdır. Bu sebeple düşük enerjilerde nötron yakalanma olasılığı yükselir.



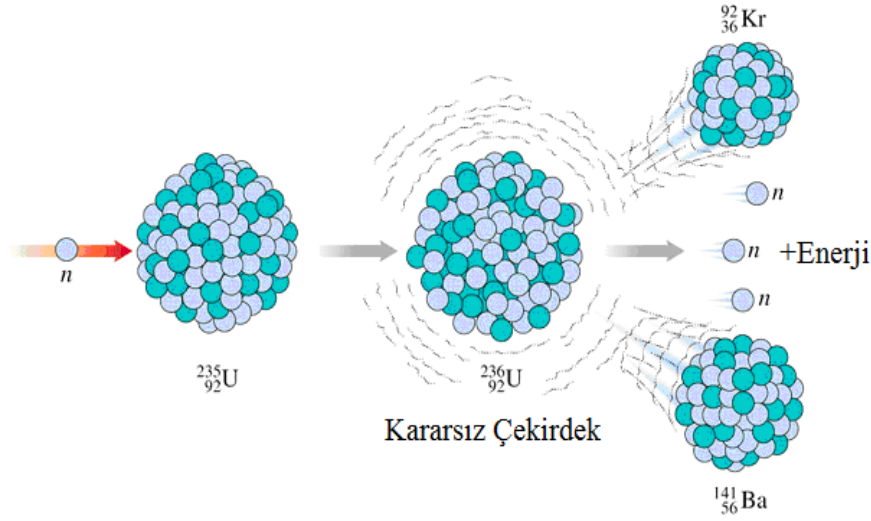
Şekil 2.13. Nötron yakalanması

### 2. 5. 4. Nükleer Reaksiyonlar

eV ile keV mertebesinde enerjiye sahip nötronların çekirdek tarafından yakalanıp yüklü parçacığın yayınlanmasıdır. Oluşan reaksiyonlar (n, p), (n, d), (n,  $\alpha$ ), (n, t) gibi reaksiyonlardır.

### 2. 5. 5. Filyon olayı

Termal enerjili ( $E \cong 0,003-0,4$  eV) nötronların çekirdek ile etkileşmesi sonucu çekirdeğin parçalanmasıdır. Bu parçalanma sonucunda iki ürün çekirdeğin yanı sıra daha birçok element meydana gelmektedir.



Şekil 2.14. Filyon olayı

### 2. 5. 6. Yüksek enerji hadron sağnağının üretilmesi

Enerjisi 100 MeV veya daha fazla olan yüksek enerjili (Rölâtivistik) nötronlar bir çekirdek içinde tutulduklarında çeşitli tipte parçacıklardan oluşan bir sağanağa sebep olabilirler. Nötronların madde ile etkileşebilmesi için toplam olasılık bu ayrı ayrı etkileşmelerin tesir kesitlerinin toplamı olmalıdır.

### 2. 6. Nötronların Soğrulması ve Yavaşlatılması

Nötronlar madde içinden geçerken nötronların nükleer reaksiyonlar aracılığı ile zayıflarlar. Hızlı nötronlar için  $(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$  ya da  $(n, 2n)$  gibi reaksiyonların olması olasıdır. Ancak termal ve yavaş nötronların yok olması  $(n, \gamma)$  yakalama reaksiyonlarıdır. Nötronlar madde içinde  $d_x$  kalınlığında bir mesafe aldıklarında maddenin birim yüzeyi başına  $n d_x$ , atomla çarpışır (n, madde'nin birim yüzeyindeki atom sayısıdır)  $\sigma_t$  toplam tesir kesiti olmak üzere I, nötron şiddetindeki kayıp ise

$$d_1 = -I\sigma_t n d_x \quad (2.8)$$

şeklinde olur. Şiddet soğurucu kalınlığı ile üstel olarak yazılırsa

$$I = I_0 e^{-\sigma n x} \quad (2.9)$$

olur. Bu soğurma sırasında düşük enerjili ve değişik tesir kesitine sahip nötronlar meydana gelebilir. Bu etkiler hesaba katılacak olursa denklem (2.9) kullanılamaz. Bu sadece ilk enerjili nötronların şiddet değişiminin hesaplanmasında yardımcı olur. Ancak ilk enerjisi  $E$  ve hızı  $v$  olan bir nötron durgun olan  $A$  kütleli bir hedef atomuyla elastik bir çarpışma yaparsa enerji ve momentum korunum yasaları dikkate alındığında  $E$  ilk ve  $E'$  son enerjili nötronların enerji oranları

$$\frac{E}{E'} = \frac{A^2 + 1 + 2A \cos \theta}{(A+1)^2} \quad (2.10)$$

olur. Burada  $E$  nötronun ilk enerjisi,  $E'$  nötronun son enerjisi,  $\theta$  kütle merkezi sistemindeki saçılma açısıdır. Saçılma olmadığı durumlarda  $\theta = 0^\circ$  olur ki ve o zamanda

$$E/E' \cong 1 \quad (2.11)$$

olması beklenir. Maksimum enerji kaybı merkezi çarpışmada meydana gelirse o zamanda  $\theta = 180^\circ$  olur ve (2.10)'daki denklem yeniden yazılırsa

$$(E/E')_{\min} = \frac{(A-1)^2}{(A+1)^2} \quad (2.12)$$

elde edilir.  $A=1$  için (hidrojenden saçılma) nötronun tüm enerjisini çarptığı protona verdiği anlamına gelir. 10 MeV ve daha düşük enerjili nötronların saçılması s dalgası şeklindedir. Her nötron birkaç defa saçılacağı için enerji kaybı ard arda hesaplanmalıdır. Çünkü ikinci saçılmalarda nötronlar artık tek enerjili olmayacaklardır. Bu saçılmalar  $\theta$ 'dan bağımsızdır. Nötronlar, diğer parçacıklara ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) oranla madde içinde

alacağı mesafe fazla olduğundan nötronları durdurma ve soğurma kalınlığı nötronların sahip olabileceği enerji aralığına göre değişir. Nötronlar soğurulmanın yanında soğurucu malzemenin çekirdeği tarafından yakalanarak gama yayınlanmasına da sebep olabilirler. Bu nedenle gamaların da tutulması için bir malzemeye ihtiyaç duyulur. Nötronların soğurucu malzemenin içindeki giricilik mesafesinin azaltılması soğurucu tarafından sağlanan doz eşdeğerinin azaltılmasını belirler. Nötronların soğurulması için kaynak önüne yeterli kütle (yüksek atomik kütleli yoğun bir materyal) konulmalıdır. Nötronların şiddetlerinin azaltılması için hidrojen ile elastik saçılma yapması gerekir. Bu nedenle az bütçeli ve en kolay soğurucu madde betondur çünkü yüksek hidrojen içeriğine sahiptir (Krane 2002).

## **2. 7. Monte Carlo Simülasyon Tekniği**

Simülasyon, Yüksek Enerji Fiziğindeki çalışmalarda deney öncesi ve deney sonrası olası durumları tahmin etmede kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte GEANT4 ve FLUKA gibi hazır paket programları kullanılmaktadır. Bilgisayar simülasyonu, sistem dizaynı ve analizinde hızla popüler olan bir araçtır. Simülasyon, mühendis ve planlamacılara sistemin dizaynı ve işletimiyle ilgili zamanında ve zekice kararlar vermeleri için yardımcı olur. Simülasyon tek başına problemleri çözemez, fakat problemi açıkça tanımlar ve sayısal olarak alternatif çözümleri değerlendirir. Durum analizi yapabilen bir teknik olan simülasyon, karışık sayılan problemler için sayısal ölçüm ve analiz yapabilir ve kısa zamanda en iyi alternatif çözümü bulmaya yardımcı olur. Yeni bir sistemi kurmadan veya işletme evresini test etmeden önce bilgisayarda sistemi modelleyerek, sistem ilk çalıştırıldığında karşılaşılabilecek birçok olumsuzluğu önceden görmemize yardımcı olur. Devreye alma aşamasında iyi ürün elde etmek için aylar belki de yıllar süren çalışmalar simülasyonla günlere hatta saatlere sıkıştırılmış olur.

FORTRAN altyapısı ile çalışan FLUKA programı, proton ve elektron hızlandırıcı sürüm sistemlerinin zırhlanması tasarımlarında, parçacıkların geçişinde, madde ile etkileşimlerinde, dedektör tasarımlarında, dozimetride, nötron fiziğinde ve

radyoterapide vb. çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu program ile ağır iyonların, termal ve daha düşük enerjideki nötronların anti parçacıkların, enerjisi 1 keV'den 1000 TeV'e kadar değişen protonların ve elektronların, 20 TeV ve daha yukarı enerjiye sahip hadronlar ve müonlar gibi 60 farklı taneciğin madde ile etkileşimlerinin karşılaştırılmasında yüksek doğrulukla kullanılır. İyi bilinen ilerlemiş kompleks Birleşik Geometri (CG) versiyonu ile işlem yapılır. Bu geometri yüklü parçacıkların elektrik ve manyetik alanda izledikleri yollara göre tasarlanmıştır. Başka bilgisayar programlarına gerek duymadan rahatlıkla kurulabilir.

## **2. 8. Monte Carlo Simulasyon Tekniğiyle Nötronları İyi Soğuran Maddelerin Belirlenmesi**

<sup>241</sup>Am – Be nötron kaynağı kullanılarak 4,5 MeV'lik hızlı nötronlar elde edildi. Daha sonra bu hızlı nötronlarla %100 konsantrasyona sahip Parafin wax, Karpid, Yağ, Su, Borik asit, Boron ve %30 Çelik, %30 Alüminyum, %40 Boron içeren karışım bombardıman edilerek numunelerin hızlı nötronların ne kadarını soğurduğu ve ne kadarını geçirdiği eş değer doz ölçümü mSv/saat cinsinden yapıp bulunan sonuçlar aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 2.4'de görüldüğü gibi nötron transmisyonu yağda diğer numunelere göre daha düşüktür ve yağ nötronları diğer numunelerden daha iyi soğurmuştur bu sonuç yağın tesir kesitinin daha yüksek olduğunu gösterir.

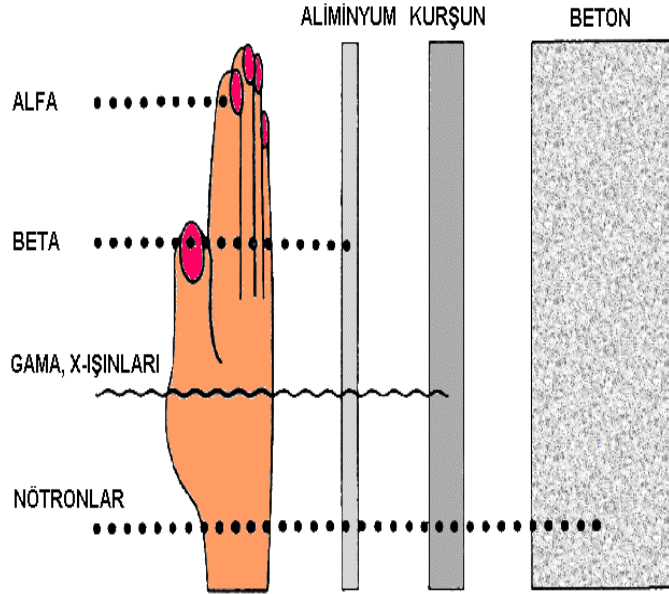


**Çizelge 2.4.** Nötronları iyi soğuran maddeler

<b>Parafin wax</b>	<b>Karpid</b>	<b>Yağ</b>	<b>Su</b>	<b>Borik asit</b>	<b>Boron</b>	<b>%30 Çelik %30Al %40 Boron</b>	<b>Nötron Transmisyonu (Monte Carlo Simülasyonu) (mSv/saat)</b>
%100	0	0	0	0	0	0	0,9007691
0	%100	0	0	0	0	0	0,8941790
0	0	%100	0	0	0	0	0,8271992
0	0	0	%100	0	0	0	0,9193891
0	0	0	0	%100	0	0	0,9081490
0	0	0	0	0	0	%100	0,8787691
0	0	0	0	0	%100	0	0,8989495

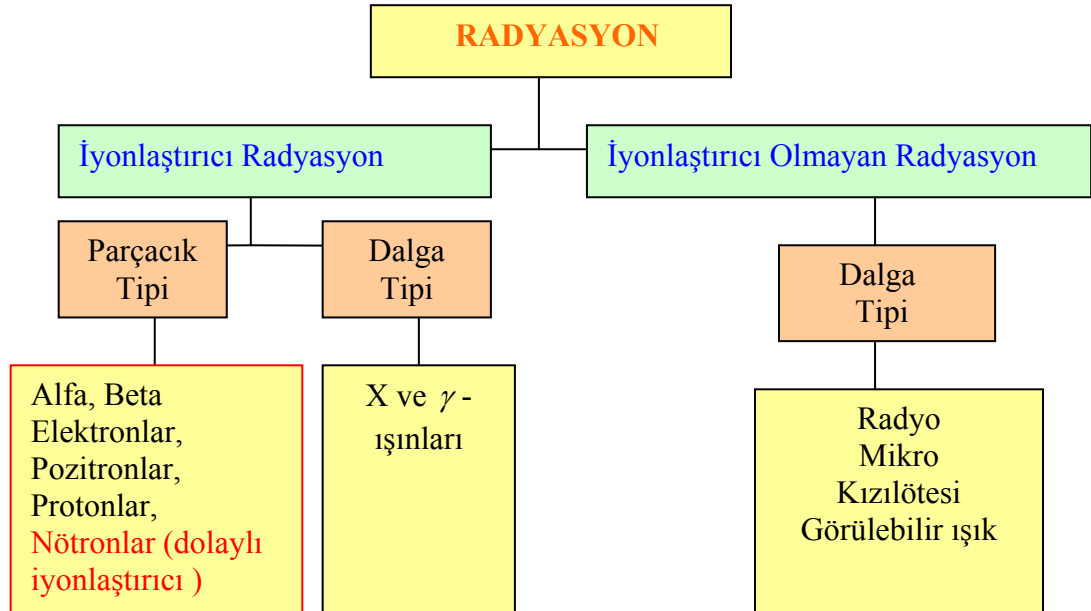
Yapılan hesaplama sonuçlarına göre yağ'ın nötronları daha iyi soğurduğu Çizelge (2.4)'de görülmektedir.

Burada kullanılan yağ  $C_{16} - C_{20}$  n-alkan kimyasal yapısına sahip renksiz, kokusuz ve suda çözünmeyen ancak benzen, eter, karbondi-sülfid, sıcak etenolde çözünen petrolün yan ürünü olarak elde edilen madeni bir yağdır. Bazı kaynaklarda bezir yağı yada parafin yağı olarak ta geçmektedir.



**Şekil 2.15.** Nötronlarla diğer parçacıkların alüminyum, kurşun ve betondan vakumlu ortamda soğrulmalarının karşılaştırılması

## 2. 9. Radyasyon ve Çeşitleri



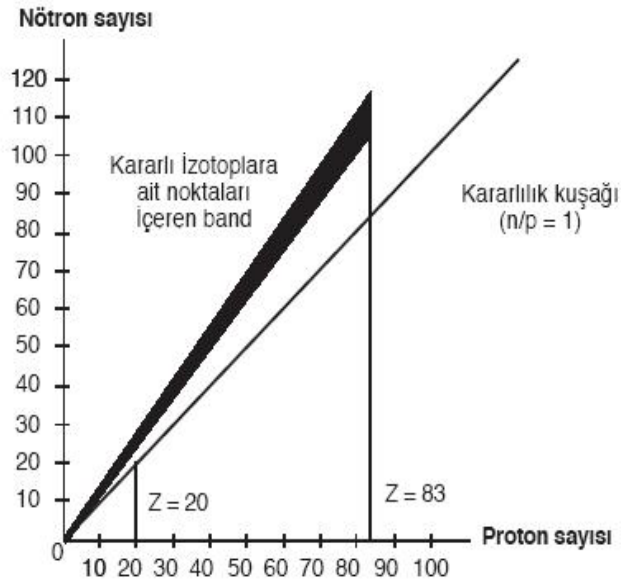
**Şekil 2.16.** Radyasyon çeşitleri

### 2. 9. 1. Radyasyon nedir

Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan ve kaynağından doğru çizgiler boyunca yayılan enerji paketleridir.

### 2. 9. 2. Radyasyonun oluşması

Bazı elementlerin çekirdeklerindeki nötron/proton oranı 1 veya 1'e yakın olmayan yani nötron sayısı ve proton sayısı arasında denge olmayan atomlar aşırı enerjiye sahip olduklarından dengesizdirler ve bu durumdaki atom kararsızdır. Bu durumdaki elementler nötron/proton dengesini sağlamak için fazla olan enerjilerini kayıp ederek kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Bu kararlı duruma geçmek için enerjilerini çeşitli şekillerde kayıp ederek farklı elementlere dönüşürler. İşte bu durumdan ortaya çıkan enerjiye radyasyon denir.



Şekil 2.17. Çekirdek kararlığının nötron proton oranına bağlılığı (Berber 2005)

## 2. 10. İyonlaştırıcı Radyasyon

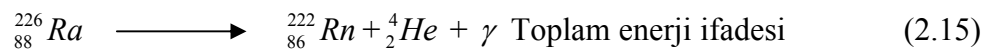
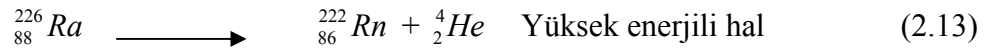
İçine girdiği ortama iyonlara ayırıştırıcı radyasyonlara denir. İyonlaştırıcı radyasyonlar dalga tipi ve parçacık tipi olmak üzere ikiye ayrılırlar.

### 2. 10. 1. Dalga tipi radyasyonlar

$\gamma$  ve X- ışınları gibi elektromanyetik radyasyonlardır. Bunlar yüksek frekanslı ışık ve elektromanyetik dalgalar olup bunların dalga boyları çok küçük fakat enerjileri yüksektir.

#### 2. 10. 1. a. $\gamma$ -Işınları

$\gamma$ -ışınları 1900'da P. Villard tarafından bulunmuş  $10^{-10}$  m ve  $10^{-14}$  m dalga boyuna sahip elektromanyetik radyasyondur.  $\alpha$  veya  $\beta$  yayımını takiben meydana gelen çekirdek tarafından yayınlanır. Radyoaktif bir çekirdek  $\alpha$  veya  $\beta$  - parçacıkları yayınladıktan sonra çekirdek uyarılmış halde kalır ve bu çekirdekte yüksek enerji oluşur. Çekirdek normal hale geçerken enerjisini kaybetmesi çekirdekten bir parçacık fırlatılması şeklinde olmazsa buna izomerik geçiş denir ve bu arada bir  $\gamma$  -ışını yayınlanır. Yüksek enerjili gama ışınları birkaç cm kalınlıktaki kurşundan geçerler.  $\gamma$  ışınları meydana getirdikleri elektronlarla iyonizasyon yaparlar.  $\gamma$ 'lar aşağıdaki reaksiyonlarla elde edilirler:



Manyetik alanda sapmadıkları için belirli bir elektrikle yüklü değillerdir. Radyoaktif bozunmalar ya da nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan ve Sezyum ( $Cs^{137}$ ), Kripton

(Kr<sup>88</sup>), Kobalt (Co<sup>60</sup>), gibi kararsız atom çekirdeklerinden yayılan bir çeşit elektromanyetik ışınlardır.

### 2. 10. 1. b. X-Işınları

$10^{-5}$ - $100 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ) dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalardır. Yüksek enerjili parçacıkların yavaşlatılması veya atomik yörüngelerdeki elektron geçişlerinden oluşurlar. Canlı dokulara ve organizmalara zarar verici ve öldürücü ışınlardır.

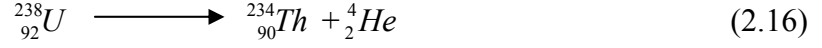
### 2. 10. 2. Parçacık Tipi Radyasyonlar

Parçacık özelliğine sahip radyasyon  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  parçacıkları, elektronlar ( $e^-$ ), pozitronlar ( $e^+$ ), nötronlar (n), yüksek enerjili protonlar ( $p^+$ ), müonlar, tarafından oluşturulan radyasyondur.

#### 2. 10. 2. a. $\alpha$ -parçacıkları

1903 yılında Rutherford tarafından bulunmuştur.  $\alpha$ -parçacıkları iki defa pozitif yüklü helyum çekirdekleridir.  $\alpha$ -parçacıkları radyoaktif atomdan ve atoma bağlı olarak çok büyük bir hızla (ışık hızının 1/10-1/15'i kadar) yayınlanırlar.  $\alpha$ -parçacıklarının enerjileri 4-8 MeV arasında değişir. Bir radyoaktif atomun verdiği enerjileri hemen hemen aynıdır.  $\alpha$ -parçacıkları iyonlaştırıcı parçacıklardır.  $\alpha$ -parçacıkları  $\beta$  - parçacıklarından daha az giricidirler. Birkaç cm kalınlığındaki havadan veya mm'den daha küçük kalınlıktaki alüminyum tabakalarından geçebilirler. Bir radyasyonun meydana geldiği andan bir ortamda durana kadar aldığı yola o madde ya da ortamdaki giriciliği denir. Radyoaktif maddelerin elektrik, ısı ve kimyasal olayları genelde  $\alpha$ -parçacıklarının oluşumuyla ilgilidir  $\alpha$ - bozunması radyoaktif çekirdekten kütle numarası 4 atom numarası 2 olan bir taneciğin ayrılması sonucu olduğundan bir atom

çekirdeği  $\alpha$ - bozunmasına uğradığında kütle numarası 4 ve atom numarası da 2 azalır. Örneğin  $^{238}_{92}\text{U}$   $\alpha$ - bozunmasına uğradığında  $^{234}_{90}\text{Th}$  'e dönüşür.



**Çizelge 2.5.** Bazı  $\alpha$  kaynakları

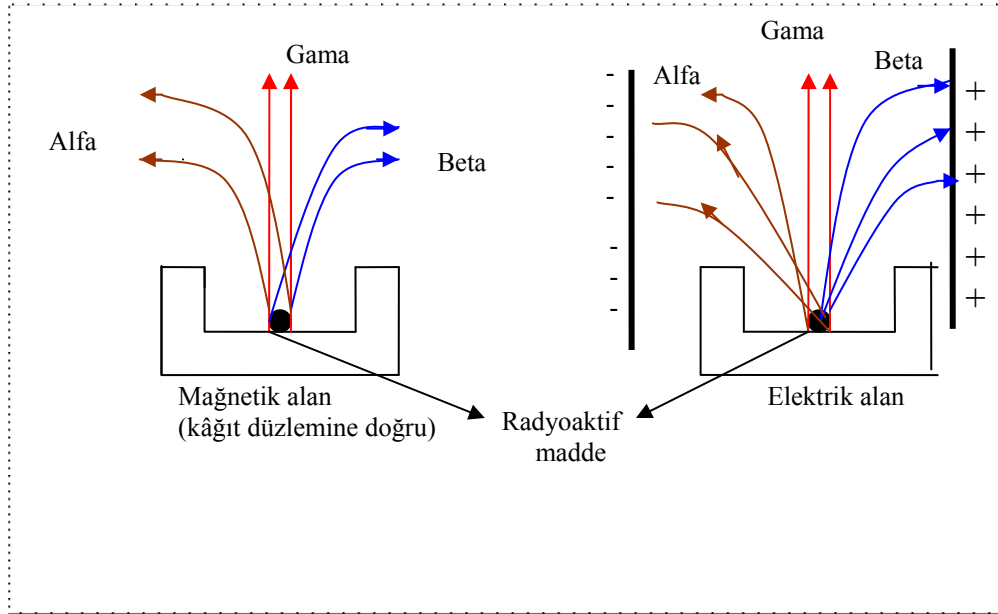
<i>Element</i>	<i>Enerji (MeV)</i>	<i>Havadaki yol (cm)</i>
<i>Uranyum</i> ( $^{238}_{92}\text{U}$ )	4,180	2,73
<i>Toryum</i> ( $^{234}_{90}\text{Th}$ )	4,750	3,28
<i>Plutonyum</i> ( $^{239}\text{Pu}$ )	5,159	3,75
<i>Polonyum</i> ( $^{210}\text{Po}$ )	5,298	3,84

### 2. 10. 2. b. $\beta$ -parçacıkları

Işık hızına yakın hızla hareket ederler. Giricilikleri  $\alpha$ - parçacıklarından fazla iyonlaştırıcı parçacıklardır.  $\beta$ -parçacıklarını iki gruba ayırabiliriz; birincil ve ikincil  $\beta$ -parçacıkları. Çekirdekten gelen ilk ışınlara birincil  $\beta$ -parçacıkları denir.

Bazı geçişlerde uyarılmış çekirdekle  $\gamma$ - ışını yayınlamazlar fazla enerjilerini çekirdekten değil de dıştaki genelde K tabakasından elektron koparıp fırlatarak normal hale gelirler. Buna iç dönüşüm denir. Burada meydana gelen  $\beta$ -parçacıklarına ikincil  $\beta$ -parçacıkları denir. İkincil  $\beta$ - parçacıklarının enerjileri farklıdır. Çünkü çekirdek dışındaki elektronlar belli enerji seviyelerinde bulunur. Bu iç dönüşüm olayında elektronun koparılmasından sonra boşalan yere üst tabakalardan elektron geçer. Bu durumda ya elektronun geldiği seviye ile yerleştiği seviye arasındaki fark kadar enerjiye sahip o elementin karakteristiği olan X-ışınları yayınlanır ya da bu enerji üst tabakalardaki bir elektronun koparılması için harcanır. Bu duruma ışımsız iç dönüşüm denir ve bu durumda meydana gelen elektronlara Auger elektronları denir.  $\beta$  - parçacıkları fotoğraf plakalara etki ettikleri gibi cam, porselen, fayans gibi maddelerin

renklenmesine neden olurlar.  $\beta$  – parçacığı saçan atomlara örnek olarak Potasyum ( $K^{40}$ ), Stronsiyom ( $Sr^{90}$ ), Karbon ( $C^{14}$ ) verilebilir (Yaramış 1984).



**Şekil 2.18.**  $\alpha$ ,  $\beta$  - parçacıklarının ve  $\gamma$  ışınlarının manyetik ve elektrik alandaki sapmaları (Yaramış 1984)

Sonuç olarak  $\beta$  - parçacıklarının dağılımı karışıktır. Kesiksiz bir enerji dağılımı gösteren birincil  $\beta$  - parçacıkları yanında belli enerjili iç dönüşüm elektronları ve Auger elektronları da bulunur. Radyoaktif atomlardan yayınlanan  $\alpha$ ,  $\beta$  - parçacıkları ve  $\gamma$  ışınları canlı hücrelere etki ederler. Bu etki kaynağın şiddetine, kaynağın canlıya uzaklığına bağlıdır (Yaramış 1984).

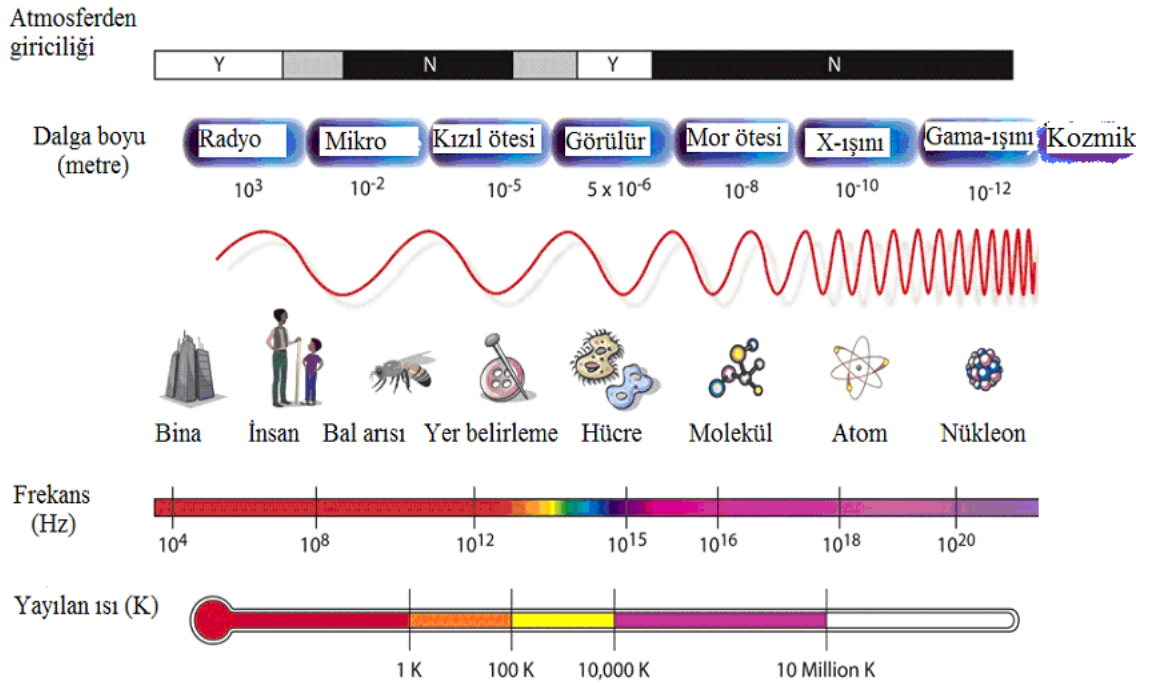
### 2. 10. 2. c. Serbest nötronlar

Bunlar radyasyonla oluşan yüksüz parçacıklardır. Bu nedenle her maddeye kolayca girebilirler. Bunların doğrudan iyonlaştırıcı özellikleri yoktur. Ancak bu serbest nötronların, girdikleri maddelerin atomları ile etkileşimleri sonucu  $\alpha$ ,  $\beta$  – parçacıkları,

$\gamma$  ve X-ışınları gibi radyasyon oluştururlar. Bu radyasyonlar ise etkileşme sonucu girdiği maddenin atomundan koparak iyonlaşmayı gerçekleştirir.

## 2. 11. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar

Madde ile etkileşince iyon meydana getirmeyen yani atomdan elektron koparacak enerjiye sahip olmayan radyasyon çeşididir. Optik radyasyonlar olarak adlandırılan asıl kaynağı Güneş olan ultraviyole ışınlarıdır. Ultraviyole ışınları güneş tam doğarken bolca yayılmaktadırlar. Ultraviyole ışınları beyaz elbise giyilerek engellenebilir. Bazen bu ışınlar kar veya kumdan yansyarak kar ve güneş körlüğü yapabilirler. Ultraviyole ışınlarının giriciliği az olduğundan madde içlerine çok fazla nüfuz edemezler ancak canlı organizmalarda büyük oranda deri ve gözleri etkileyerek deri kanserlerinin %80'ine gözlerde ise katarak oluşmasına neden olurlar. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, mobil ve cep telefonları, radyo FM ve TV vericileri radarlar, trafolar, mikro dalgalar fırınlar, bilgisayarlar, akım taşıyan kablolar bu gruba girmektedir.



Şekil 2.19. Elektromanyetik spektrum (<http://www.Willams.edu/astronomy>)



## 2. 12. İyon ve İyonizasyon

Kararlı durumdaki bir atomdan bir elektron koparıldığında atomdaki proton sayısı elektron sayısından bir fazla olacağından atom bir elektrik yükü kazanacaktır. Böyle durumdaki atomlara iyon adı verilir. İyonların meydana geliş olayına da iyonizasyon denir.

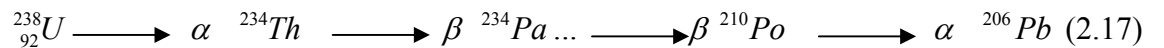
## 2.13. Radyoaktiflik

Radyoaktiflik 1896'da Fransız kimyacı Henri Becquerel tarafından, potasyum uranil sülfatın yaydığı ışının bazı maddelerden geçip fotoğraf plağını karartmasıyla keşfedildi. Radyoaktif madde girdiği diğer maddeler içinde de bu özelliğini devam ettirir. Bu nedenledir ki radyoaktiflik kimyasal ve fiziksel etki ile değişmez. Sadece çekirdek yapısıyla ilgili olarak çekirdekte meydana gelen olaydır. Radyoaktivite kontrol edilemez, yavaşlatılamaz ve durdurulamaz, zayıflayarak bitinceye kadar devam eder. Bu doğal ve yapay radyoaktivite olarak ikiye ayrılır.

### 2. 13. 1. Doğal radyoaktivite

Doğada bulunan bazı atomlar kararsızdır. Yani n/p oranı 1,5'den büyüktür. Bu atomlar ( ${}_{92}^{238}U$ ,  ${}_{88}^{226}Ra$  vb.) dışarıya enerji (radyasyon) yayarak kararlı hale geçmek isterler, bu olaya doğal radyoaktivite denir.

Örneğin  ${}_{92}^{238}U$  ile başlar ve  ${}^{206}Pb$  ile sona erer ve



şeklinde olur.

## 2. 13. 2. Yapay Radyoaktivite

Bu olayı ilk defa 1934 yılında Curie ve Joliot, alüminyum, bor gibi hafif elementleri polinyum ve  $\alpha$  -parçacıklarıyla bombardıman ederek radyasyon yayımlandığını ve kaynağı uzaklaştırdıklarında ise yayınlanmanın yavaş yavaş sifira düştüğünü gözlemlediklerinde yapay radyoaktiviteyi keşfetmişlerdir. Doğada kararlı durumda olan bazı izotoplar yapay olarak kararsız duruma getirilebilir. Bu kararlı izotoplar radyasyona maruz bırakılarak aktif hale getirilir. Bu durumdaki kararsız çekirdeğin enerji fazlalığı vardır bu enerji fazlalığını genelde ya bir nötronunu bir protona ya da bir protonunu bir nötrona dönüştürerek veya elektron yakalayarak kaybeder. Bu durumda aktif hale gelen çekirdek parçalanmaya başlar bu olay yapay radyoaktivite olarak adlandırılır (Yaramış 1985).

## 2. 14. Radyasyon Birimleri

### 2. 14. 1. Aktivite birimi

**Özel Birim:** Curie (Ci)

**SI Birimi:** Becquerel (Bq)

**Curie:** Saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir.

**Bequerel:** Saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

### 2. 14. 2. Işınlama birimi

**Özel Birim:** Röntgen (R)

**SI Birimi:** Coulomb/kg (C/kg)

**Röntgen:** Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında  $2,58 \times 10^{-4}$  C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve  $\gamma$  -ışını miktarıdır.

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

### 2. 14. 3. Soğurulma doz birimi

**Özel Birim:** Rad

**SI Birimi:** Gray ( Gy )

**Rad:** Işınlanan maddenin 1 kg'ına  $10^{-4}$  Joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir.

**Gray:** Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1 Joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

1 Rad = 0,01 Gy

### 2. 14. 4. Eşdeğer doz birimi

**Özel Birim:** Rem

**SI Birimi:** Sievert (Sv)

**Rem** = Soğurulan doz x faktörler

**Sievert:** 1 Gray'lık X veya  $\gamma$  - ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır.

1 Rem =  $10^{-2}$  Sv , 1Sv = 100 Rem = 1 J/kg

### 2. 14. 5. Etkin doz

Doku ve organların aldığı dozun tüm vücut için yüklediği riski belirtmek için kullanılır. Birimi Sivert'tir.

**Çizelge 2.6.** Eski ve yeni kullanılan radyasyon birimleri

	<i>ESKİ BİRİM</i>	<i>YENİ BİRİM</i>	<i>DÖNÜŞÜM</i>
<i>Aktivite</i>	<i>Curie</i> (Ci)	<i>Becquerel</i> (Bq)	$1Ci=3,7.10^{10} Bq$
<i>Işınlama Dozu</i>	<i>Röntgen</i> (R)	<i>C/Kg</i>	$1C/Kg=3876 R$
<i>Soğurulmuş Doz</i>	<i>Rad</i>	<i>Gray</i> (Gy)	$1Gy=100 Rad$ $1Rad=0,01 Gy$
<i>Doz Eşdeğeri</i>	<i>Rem</i> (Sv)	<i>Sievert</i>	$1Sv=100 Rem$ $1Rem=0,01Sv$

## 2. 15. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

X ve  $\gamma$  –ışını gibi tüm elektromanyetik radyasyonlar birçok olayda parçacıklara benzer olaylar sergilediklerinden bu radyasyonların birim elamanına foton adı verilmiştir. Radyasyonun belli bir frekansı için tüm paketlerde taşınan enerji miktarı aynıdır ve

$$E = h\nu \quad (2.18)$$

gibi ifade edilir. Bir fotonun madde ile etkileşmesinde çarpışma çekirdek, bir elektronla ya da çekirdeğin alanı ile olur. Bu çarpışmalar elastik, inelastik ya da fotonun tamamıyla soğurulması şeklinde meydana gelir. Radyasyonun madde ile etkileşiminde temel olarak üç olay meydana gelir: Fotoelektrik olay, Compton saçılması, Elektron çiftlenmesinin meydana gelmesi (Çift oluşum olayı ).

Bu üç olayında olma ihtimali X veya  $\gamma$ - ışınlarının enerjileri ile etkileşen maddenin atom numarasına bağlı olarak değişir. I şiddetinde paralel bir  $\gamma$  radyasyon demeti  $\Delta x$  kalınlığında soğurucu bir madde üzerine gönderilirse

$$\Delta I = -\mu I \Delta x \quad (2.19)$$

radyasyon şiddeti  $\Delta I$  kadar azalır. Bu ifadenin integrali alınırsa

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.20)$$

olur. Burada  $\mu$  lineer soğurma katsayısıdır ve her soğurucuya göre değişen bir sabittir.  $I$  soğurucudan çıkan radyasyon şiddeti,  $I_0$  soğurucuya gelen radyasyon şiddeti,  $x$  soğurucu kalınlığı olmak üzere bu durumda  $\mu$  lineer soğurma katsayısı

$$\mu = \tau + \sigma + k \quad (2.21)$$

şeklinindedir. Burada  $\tau$ , Fotoelektrik soğurma katsayısı,  $\sigma$  Compton soğurma katsayısı,  $k$  çift oluşumu soğurma katsayısıdır.  $\mu$  lineer soğurma katsayısı (2.21)'deki gibi üçünün toplamına eşittir. Bu lineer soğurma katsayısını eğer soğurucu maddenin yoğunluğuna bölünürse kütle soğurma katsayısını elde edilir:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.22)$$

Gelen radyasyon şiddetini yarıya indiren soğurucu maddenin kalınlığına Yarı Tabaka Kalınlığı (YTK), onda birine indiren kalınlığa da Onuncu Tabaka Kalınlık (OTK) denir:

$$\text{Yarı Tabaka Kalınlığı} \quad (\text{YTK}) = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2.23)$$

$$\text{Onuncu Tabaka Kalınlığı} \quad (\text{OTK}) = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (2.24)$$

Burada,  $\ln 2$  ve  $\ln 10$  sabit değerler olup,  $\mu$  maddenin lineer zayıflatma katsayısını ifade etmektedir. Foton demeti paralel ve geniş bir yapıya sahip ise, ölçülen radyasyon şiddeti saçılan fotonları da içerir. Bu nedenle zırh malzemesini geçen radyasyon şiddeti dar demet geometrisine göre daha büyük olur. Bu nedenle (2.20) ifadesi

$$I = BI_0 e^{-\mu x} \quad (2.25)$$

şeklinde ifade edilir.  $B$  düzeltme faktörü olup ( $1 \leq B$ ) olarak tanımlanır. Verilen bir zırh malzemesi, kalınlık, foton enerjisi ve kaynak geometrisine bağlı düzeltme faktörü

hesaplanır ve kullanılır. Bu faktör deneysel olarak elde edilen foton zayıflatma ölçümleri ile bulunabilir. Düzeltme faktörü ile ilgili yapılan çalışmalardan, bu faktörün;

- a) Zayıflatan ortamın doğasına
  - b) Kaynak fotonların enerjisine
  - c) Kaynak ile nokta arasındaki uzaklığın, ortalama serbest uzaklığa oranına
  - d) Kaynağın geometrisine
- bağlı olduğu görülmüştür (Turhan 2008).

### 2. 15. a. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olay yeterli bir enerjideki bir radyasyonun bütün enerjisini kaybederek atomdan elektron koparması olayıdır. Meydana gelen bu elektronlara fotoelektron denir. Bu olay sonucunda meydana gelen, elektron boşluğu yörüngedeki diğer elektronla doldurulur ve bu anda bir X-ışını yayınlanır. 0,5 MeV'den daha az enerjili radyasyonun ağır elementler tarafından soğrulmasında bu olayın önemi büyüktür. Gelen radyasyonunun enerjisi ise  $h\nu$  fotoelektrikli soğurmada

$$h\nu = w + \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.26)$$

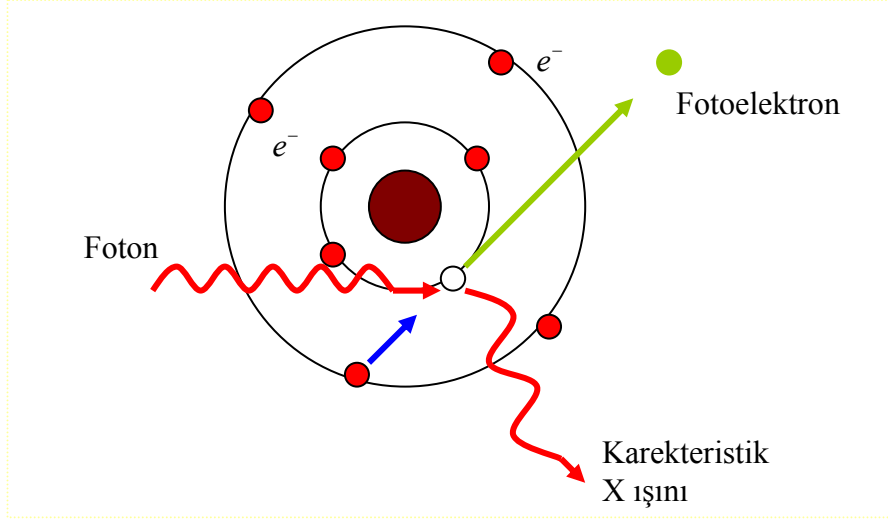
Einstein bağıntısı sağlanır. Burada  $w$ , elektronun çekirdeğin elektrik alanından koparılması için gereken enerjidir. Gelen fotonun enerjisinin bir kısmı bu  $w$  için harcanır. Geri kalan kısmı ise elektrona kinetik enerji olarak aktarılır. Bu kinetik enerji  $h\nu - w$  kadardır. Burada  $h$  Planck sabiti olup  $h = 6,62 \times 10^{-23}$  erg . s'dir.

$\nu$  gelen fotonun frekansı eğer

$$h\nu = w \quad (2.27)$$

ise fotoelektronların hızı sıfırdır. Foton elektron çarpışmaları düşük enerjilerde dış ve

yüksek enerjilerde iç yörüngelerde meydana gelir.



Şekil 2.20. Fotoelektrik Olay

### 2. 15. b. Compton saçılması

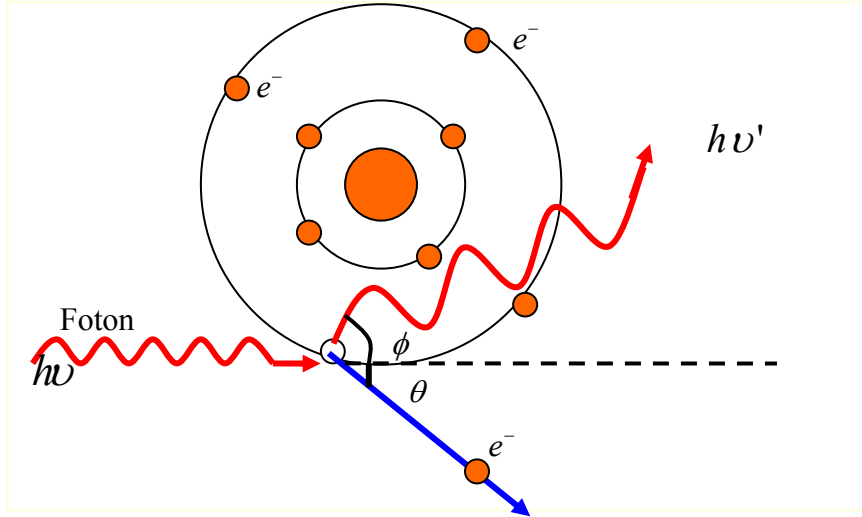
Compton olayı bir  $\gamma$  - ışını bir hedefe gönderildiğinde daha düşük bir frekanslı  $\gamma$  - ışınıyla, bir elektronun meydana gelmesi olayıdır. Bu olayda bir  $\gamma$  - ışını veya foton atomdaki elektronla çarpışır. Gelen  $\gamma$  - ışını çarpışmadan sonra enerjisinin bir kısmını elektrona vermiştir. Enerjisinin bir kısmını kaybeden  $\gamma$  - ışını geliş yönünü değiştirir. Her iki durumda da gelen parçacık çarpışmadan sonra ortamda kalmaya devam eder. Gelen  $\gamma$  - ışınının enerjisi  $h\nu$  ise Compton saçılmasında, Einstein bağıntısı geçerlidir.

$$h\nu = h\nu' + \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.28)$$

Burada  $h\nu$  gelen  $\gamma$  -ışınının enerjisi  $h\nu'$  giden  $\gamma$  - ışınının enerjisi,  $\frac{1}{2}mv^2$  atomdan çıkan elektronun kinetik enerjisi (2.28)'deki bağıntı

$$h\nu = h\nu' + (m - m_0)c^2 \quad (2.29)$$

şeklinde yazılabilir.



**Şekil 2.21.** Compton saçılımı

Compton olayı enerjileri 0,5-1 MeV arasında olan  $\gamma$  - ışınlarında oldukça baskındır.

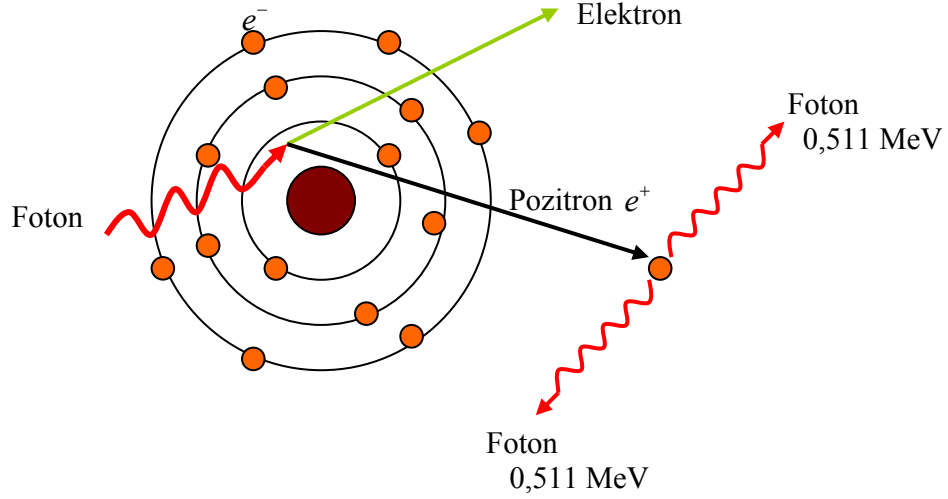
### 2. 15. c. Çift oluşumu

$$h\nu \cong 2m_0c^2 = 2 \times 0,51 = 1,02 \text{ MeV} \quad (2.30)$$

Bir  $\gamma$  - ışınının enerjisi (2. 30)' da ifade edilen elektronun durgun kütle enerjisinin iki katından (1,02 MeV) daha büyükse çift oluşumu olayı meydana gelir. Enerjisi 1,02 MeV'den büyük olan bir  $\gamma$  - ışını bir atom çekirdeğinin elektriksel alanının etkisiyle çekirdek çevresinde bir negatif ve bir pozitif elektrona dönüşerek kaybolur. Enerji fazlası meydana gelen elektronların kinetik enerjisine harcanır. Çift oluşum olayının olma ihtimali gelen  $\gamma$  - ışınının enerjisinin artmasıyla artar. Aynı zamanda gelen  $\gamma$  -



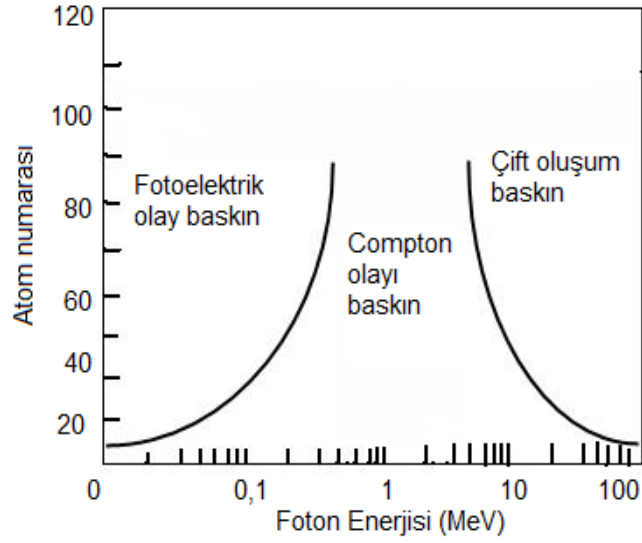
ışınının şiddetinin azalması yani çift oluşum tesir kesiti  $Z^2$  ile değişir. Burada  $Z$  soğurucu maddenin atom numarasıdır.



**Şekil 2.22.** Çift Oluşumu

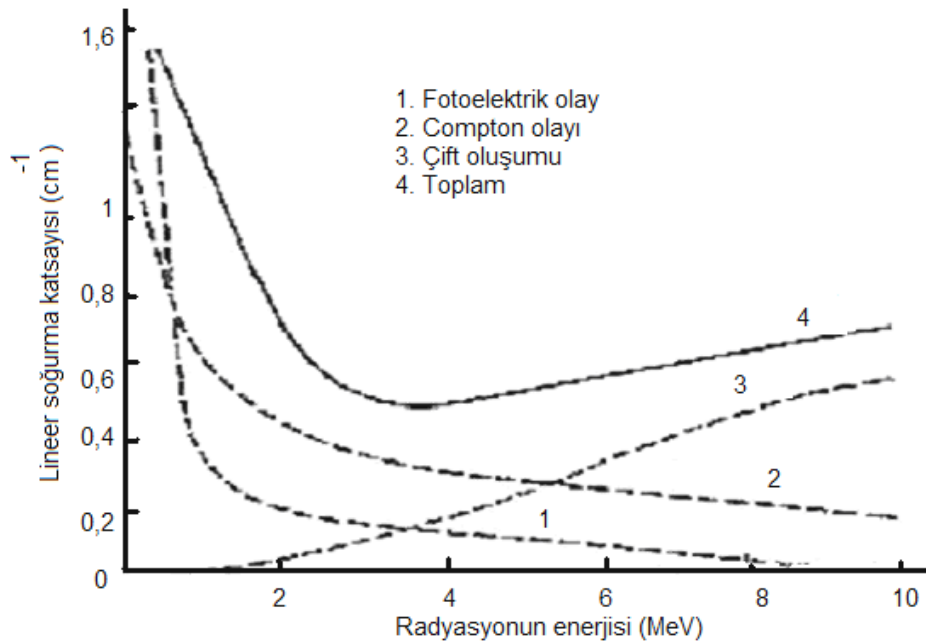
Bu oluşan pozitronlar madde içerisinde ilerlerken elektronlar gibi iyonlaşma ve radyasyonla enerji kaybederler. Pozitron enerjisinin çoğunu kaybettikten sonra bir elektron yakalayarak pozitronyum diye adlandırılan hidrojene benzer bir atom meydana getirir. Ancak bu meydana gelen atom kararsızdır ve  $10^{-10}$  s'lik bir yarı ömre sahiptir.

Dolayısıyla pozitronyum bozunarak (anihilasyon) birbirine zıt yönlü, eşit enerjili iki foton meydana getirir (Şekil 2.22). Bu fotonların her birinin enerjisi momentum korunumu için 0,511 MeV olmalıdır (Yaramış 1985).



Şekil 2.23. Fotoelektrik Olay, Compton Olayı ve Çift Oluşumun baskın olduğu yerler

Gelen radyasyonun enerjisine göre (Şekil 2. 23) Fotoelektrik olayın olma ihtimali atom numarasına bağlı olarak hızla artmaktadır. Compton Olayı  $\gamma$  - ışınlarının frekansına bağlı olarak 0,1-10 MeV enerjileri arasında olma ihtimali daha baskındır. Çift Oluşumu Olayı 1,02 MeV'lik enerjilerde olabilir ancak yüksek enerjilerde daha baskındır (Krane 2001)



Şekil 2.24. Radyasyon Enerjisine göre Lineer Soğurma Katsayısındaki değişim

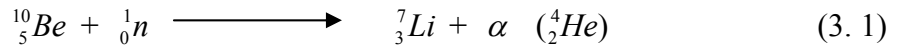
Lineer soğurma katsayısı fotoelektrik ve Compton olaylarında gelen radyasyonun enerji artışıyla ters orantılı olarak değişirken çift oluşumu olayında doğru orantı olarak değişmektedir Şekil 2.24. Çünkü çift oluşum olayında gelen radyasyon pozitif ve negatif elektrona dönüşerek kaybolur. Toplam lineer soğurma katsayısı hesaplanırken denklem (2.21) kullanılır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3. 1. Nötron Dedektörleri

Nötronlar madde ile etkileşince doğrudan iyonlaşma meydana getirmezler. Nötronların sayılması (n, p), (n,  $\alpha$ ), (n,  $\gamma$ ), (n, fisyon) gibi nükleer reaksiyonların oluşturduğu ikincil olayların ölçülmesine dayanır. Yavaş ve termal nötronların sayılmasında (n, p), (n,  $\alpha$ ) reaksiyonlarına dayanan dedektörler açığa çıkan yüksek enerjili p ve  $\alpha$  'nın neden olduğu sinyalin gözlenmesiyle sayım yapar.

Nötron dedektörleri genellikle  $^{10}\text{Be}$  izotopu ve iyonlaşma odası  $\text{BF}_3$  gazı ile dolu iç yüzeyi bor metali veya bileşenleri ile kaplı bir orantılı sayaçtır. Bir nötron dedektör içine girince aşağıdaki reaksiyon meydana gelir.



${}^7_3\text{Li}$  'yi uyarılmış duruma getiren reaksiyonun Q değeri 2,31 MeV'dir. Kinetik enerjisi bu değerden düşük olan nötronlar için momentum korunumu kanununa göre enerji  $\alpha$  'nın kinetik enerjisi 1,47 MeV olacak şekilde  ${}^7_3\text{Li}$  ve  $\alpha$  arasında paylaşılır. Nötron şiddetlerini nötron yakaladıktan sonra radyoaktif hale gelen ve belli enerjiler için nötron yakalama tesir kesitleri bilinen bir madde nötronla bombardıman edilerek de ölçülebilir. Hızlı nötronları ölçmek için nötron ile hafif hedef (H,  ${}^2\text{H}$ ,  ${}^3\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}$  vb.)'ler arasındaki elastik çarpışmayı izleyen geri tepme olayının incelenmesidir. Bu elastik çarpışmada da önceki sonuçlar aynen geçerlidir. Nötronun geri tepme enerjisi

$$E_G = E - E' \quad (3. 2)$$

olur. Burada  $E$  gelen parçacığın ilk enerjisi,  $E'$  saçılan parçacığın son enerjisidir.

### 3. 1. 1. Dedektörün çalışması

Dedektör içinde aşağıdaki olaylar olur:

- a-  $^{10}B$  ile etkileşim sonucu alfa parçacıklarının oluşması
- b-  $^3He$  ile etkileşim sonucu proton oluşması
- c-  $H$ , çekirdeği ile yapılan elastik saçılma.

İlk iki reaksiyon 0,5 eV'lik enerjiye sahip nötronlar tarafından meydana getirilen reaksiyonlardır. Bu nötronlar orta enerjili nötron bölgesinin en altında ve termal bölgede olan nötronlardır. Elastik saçılmalar hızlı nötronların dedekte edilmesinde kullanılırlar.

### 3. 1. 2. Nötron dedektör tipleri

Hızlı nötronları dedekte edebilmek için nötronların yavaşlatıcı malzeme vasıtasıyla yavaşlatılması gerekir. Dedektörün boyutları dikkate alınarak dedektör malzemesinin belirli bir reaksiyon için etki kesrinin yüksek olması gerekir. Dedektörün aktif hacmi, nötronun dedektör malzemesi ile etkileşmesi sonucunda meydana gelen ağır yüklü parçacıkları durduracak kadar büyük olmalıdır. Buna göre dört tip nötron dedektörü vardır.

- a. Boron üç flor ( $BF_3$ ) orantılı sayaçları,
- b. Helyum orantılı sayaçları,
- c. Gaz çarpışma orantılı sayaçları,
- d. Kabarcık dedektörleri.



**Çizelge 3.1.** Deneyde kullanılan nötron dedektörünün özellikleri  
([http://www.canberra.com/pdf/Products/RMS\\_pdf/NPSeries\\_pdf](http://www.canberra.com/pdf/Products/RMS_pdf/NPSeries_pdf))

<b>Dedektörün Karakteristiği</b>	<b>NP100B</b>
<i>Dedektör tipi</i>	<i>BF<sub>3</sub> gazlı orantılı sayacı</i>
<i>Dedektör hassasiyeti</i>	<i>0–100 mSv/h (0–10 Rem/h)</i>
<i>Enerji aralığı</i>	<i>0,025 eV – 15 MeV</i>
<i>Kalınlık, mm (inch)</i>	<i>244 x 292 mm</i>
<i>(dia. x L)</i>	<i>(9,6 X 11,5 in.)</i>
<i>Çalışma sıcaklık aralığı</i>	<i>–10 °C / +50 °C, (+14°F / +122°F)</i>
<i>Ağırlık kg (lb)</i>	<i>10 kg (22 lb)</i>
<i>Nemde çalışması</i>	<i>0–% 100 yoğunluk</i>
<i>Dedektör linearitesi</i>	<i>%(+5 -5)</i>
<i>Doğruluk</i>	<i>%(+5 -5)</i>
<i>Yüksek voltaj aralığı</i>	<i>1750-1950 V</i>



**Şekil 3.1.** Deneyde kullanılan ADM-606 Model NP serisi nötron dedektörü

### **3. 3. Parafin Wax**

#### **3. 3. 1. Parafin wax'ın tanımı**

Parafin wax ince madeni yağ damıtma işlemi sırasında elde edilen organik bir maddedir. Parafin wax ortalama 20-30 karbon atomu içeren hidrokarbonların kompleks bir karışımıdır. Genelde formülleri  $C_nH_{2n+2}$  'dir. Bileşimlerinde %80-%90 oranında düz zincirli hidrokarbonlar olan normal parafinler bulunur. Geri kalan kısmını ise dallanmış ve halka yapılı parafinler oluşturur.

#### **3. 3. 2. Parafin Wax'ın Tarihçesi**

Parafin mumu 1829 yılında Carl Reichenbach tarafından odun katranından elde edilmiştir. 1867'den sonra petrolden edilmeye başlandı. İkinci Dünya savaşından sonra 1947'de de ilk sentetik parafin mumu yapıldı. Parafin mumu petrolden elde edilen renksiz, kokusuz bir mum çeşididir.

#### **3. 3. 3. Parafin wax'ın işlenmesi**

Parafin wax'lar petrolün bir yan ürünüdür. Burada asıl amaç madeni yağ elde etmektir. Madeni yağ üreten rafinerilerde wax'lar yan ürün olarak elde edilirler. %10-14 oranında madeni yağ içeren ham wax karışımının erime noktası  $48-52^{\circ}C$  arasındadır. Yağlı parafin'in erime noktalarının farklı olmasından yararlanılarak yağlı parafin önce eritilir, sonrada soğutularak yalnız parafin'in ayrılması sağlanır. Donan parafin süzülerek yağlı kısımdan ayrılır. Genelde karbon sayısı 20-30 arasında olan yağ oranı binde 5 ve erime noktası  $56-58^{\circ}C$  olur. Daha ileri saflaştırma işlemleri kullanılarak renk, koku ve tadı da düzenlenebilir.



Safılaştırma işleminde sülfat asidi ve kil kullanılır. Sentetik parafin mumu ikinci Dünya savaşından sonra ham madde kömür kullanılarak elde edilmiştir. Demirden elde edilen karbonmonoksit ve hidrojen karışımından manyetik demirin katalitik etkisiyle hidrokarbonlara dönüşür. Bunlar beyaz olup petrolden elde edilenlerden daha serttirler.



**Şekil 3.2.** Parafin mumunun görünümü

### **3. 3. 4. Parafin wax'ın özellikleri**

Parafin wax'ın en önemli özelliği reaksiyon hızının çok düşük olması ve suya karşı oldukça ilgisiz olmasıdır.

- Tepkime vermezler.
- Toksik etki taşımazlar.
- Su geçirgenlikleri yoktur.
- Renksizdirler.
- Yakıt olarak kullanılabilirler.
- Anti - blocking katkısı vardır. Yani iki yüzeyin birbirine yapışmasını engelleyici bir dirence sahip olması. Bu özellik sıcaklık, basınç ve nem gibi etkenler altında bile iki yüzeyin yapışmasına karşı direnç gösterme özelliğidir.

- Kaydırıcı özellikleri vardır. Birbirleri üzerinde herhangi bir mekanik zarara yol açmaksızın kaydırma yeteneğidir.
- Aşınma, sürtünme ve yıpranmaya karşı güçlü dirence sahiptirler.
- Nötronları iyi soğurucu özellikleri vardır.

### 3. 3. 5. Parafin wax'ın kullanım alanları

Parafin wax'ların oldukça geniş kullanım alanları vardır. Bir kaçını aşağıda vermiştir:

- Mum yapımında
- Kağıt ve karton kaplamada
- Kibrit üretiminde
- Kozmetikte
- Kağıt bardak üretiminde
- Boya kalem üretiminde
- Subazlı boya üretiminde
- Tekstilde
- Eczacılıkta
- Plastik ve patlayıcı madde üretiminde
- Elektrik malzemelerinin izolasyonunda
- Bağcılıkta aşı yerlerinin izolasyonunda
- Son zamanlarda nötron kaynaklarını zırhlamada, Emülsiyonlar, Hot-melt koruyucuları
- Yapıştırıcılar, Matbaa mürekkepleri yapımında
- Beton yapı kimyasallarında
- Oluklu mukavva, tebeşir üretiminde
- Deri, ayakkabı ve zemin cilalarında
- Gübre üretiminde
- Gres yağı katkısında
- PVC ve plastik yapımı, Sunta MDF
- Heykelticilikte



Şekil 3.3. Parafin wax'ın bazı kullanım alanları

### 3. 4. Deneyde Kullanılan Parafin Wax'lar ve Özellikleri

#### 3. 4. 1. Merwax RS60 (Farma)



Şekil 3.4. Merwax RS 60'ın görünümü

Çizelge 3. 2. Merwax RS 60'ın özellikleri

<i><b>Kontrol Kriterleri</b></i>	<i><b>Spesifikasyon</b></i>
<i>Görünüm</i>	<i>Karbeyazı, Şeffaf, katı</i>
<i>Damlama noktası</i>	<i>62-64<sup>0</sup>C</i>
<i>Donma noktası</i>	<i>60-62<sup>0</sup>C</i>
<i>Yağ Miktarı</i>	<i>%0,5</i>
<i>Penetrasyon</i>	<i>25<sup>0</sup>C 1/10 mm 14-15</i>
<i>Vizkozite</i>	<i>100<sup>0</sup>C Cp 3-5</i>

#### 3. 4. 2. Merwax M



Şekil 3.5. Merwax M'nin görünümü

**Çizelge 3. 3.** Merwax M'nin özellikleri

<b><i>Kontrol Kriterleri</i></b>	<b><i>Spesifikasyon</i></b>
<i>Görünüm</i>	<i>Karbeyazı, Şeffaf, katı</i>
<i>Damlama noktası</i>	<i>58-60<sup>0</sup>C</i>
<i>Donma noktası</i>	<i>56-58<sup>0</sup>C</i>
<i>Yağ Miktarı</i>	<i>%1-1,5</i>
<i>Penetrasyon</i>	<i>25<sup>0</sup>C 1/10 mm 16-19</i>
<i>Vizkozite</i>	<i>100<sup>0</sup>C Cp 3 - 5</i>

**3. 4. 3. Merwax S****Şekil 3.6.** Merwax S'nin görünümü**Çizelge 3.4.** Merwax S'nin özellikleri

<b><i>Kontrol Kriterleri</i></b>	<b><i>Spesifikasyon</i></b>
<i>Görünüm</i>	<i>Karbeyazı, Şeffaf, katı</i>
<i>Damlama noktası</i>	<i>57-59<sup>0</sup>C</i>
<i>Donma noktası</i>	<i>55-57<sup>0</sup>C</i>
<i>Yağ Miktarı</i>	<i>%1,5-2</i>
<i>Penetrasyon</i>	<i>25<sup>0</sup>C 1/10mm 14-15</i>
<i>Vizkozite</i>	<i>100<sup>0</sup>C p 3-5</i>

### 3. 4. 4. Merwax SP



Şekil 3.7. Merwax SP'nin görünümü

Çizelge 3.5. Merwax SP'nin özellikleri

<i><b>Kontrol Kriterleri</b></i>	<i><b>Spesifikasyon</b></i>
<i>Görünüm</i>	<i>Karbeyazı, Şeffaf, katı</i>
<i>Damlama noktası</i>	<i>54-56<sup>0</sup>C</i>
<i>Donma noktası</i>	<i>58-60<sup>0</sup>C</i>
<i>Yağ Miktarı</i>	<i>%2-3</i>
<i>Penetrasyon</i>	<i>25<sup>0</sup>C 1/10mm 22-25</i>
<i>Vizkozite</i>	<i>100<sup>0</sup>C Cp 3-5</i>

### 3. 4. 5. Merwax MP



Şekil 3.8. Merwax MP'nin görünümü

**Çizelge 3.6.** Merwax MP'nin özellikleri

<b><i>Kontrol Kriterleri</i></b>	<b><i>Spesifikasyon</i></b>
<i>Görünüm</i>	<i>Karbeyazı, Şeffaf, katı</i>
<i>Damlama noktası</i>	<i>50-54 °C</i>
<i>Donma noktası</i>	<i>52-54 °C</i>
<i>Yağ Miktarı</i>	<i>%3-5</i>
<i>Penetrasyon</i>	<i>25 °C 1/10mm 25-28</i>
<i>Vizkozite</i>	<i>100°C Cp 3-5</i>

**3. 4. 6. Merwax HT****Şekil 3.9.** Merwax HT'nin görünümü**Çizelge 3.7.** Merwax HT'nin özellikleri

<b><i>Kontrol Kriterleri</i></b>	<b><i>Spesifikasyon</i></b>
<i>Görünüm</i>	<i>Karbeyazı, Şeffaf, katı</i>
<i>Damlama noktası</i>	<i>58 – 62 °C</i>
<i>Donma noktası</i>	<i>52 - 54 °C</i>
<i>Yağ Miktarı</i>	<i>%8-12</i>
<i>Penetrasyon</i>	<i>25°C 1/ 10 mm 28-31</i>
<i>Vizkozite</i>	<i>100 p°C C 3-5</i>

### 3. 4. 7. Merwax HH



Şekil 3.10. Merwax HH' görünümü

Çizelge 3.8. Merwax HH'nin özellikleri

<i>Kontrol Kriterleri</i>	<i>Spesifikasyon</i>
<i>Görünüm</i>	<i>Karbeyazı, Şeffaf, katı</i>
<i>Damlama noktası</i>	<i>58 – 62 °C</i>
<i>Donma noktası</i>	<i>52 - 54°C</i>
<i>Yağ Miktarı</i>	<i>%12 - 15</i>
<i>Penetrasyon</i>	<i>25°C 1/10 mm 28 - 31</i>
<i>Vizkozite</i>	<i>100°C Cp 3-5</i>

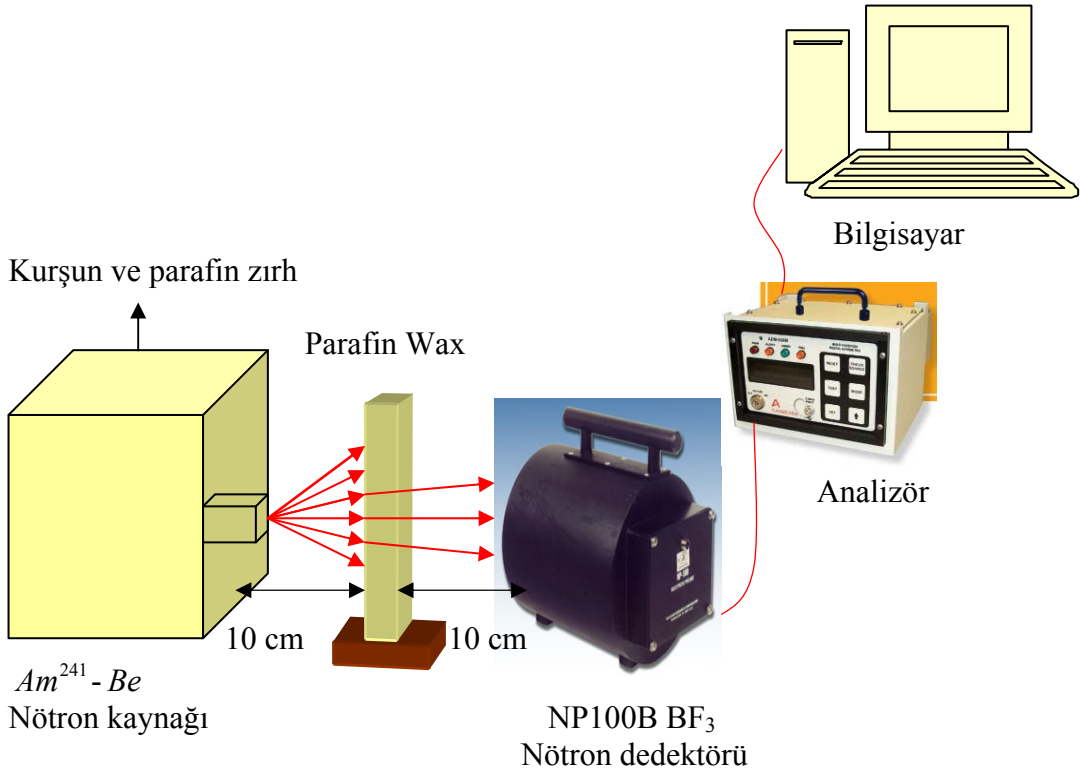
### 3. 5. Numunelerin Hazırlanması ve Ölçümler

Numuneler Mercan Kimya Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketin'den temin edildi. Yağ oranları kaynama ve donma noktaları farklı olan Parafin Wax'lar önce 250'gr lık 11 cm boyunda 8 cm eninde 2 cm kalınlığında dikdörtgen prizma şeklinde kesildi. Önceden zırlanmış olan 4,5 MeV'lik  $Am^{241}$  ( $\alpha - n$ ) nötron kaynağının zırhından açılmış çok küçük kesitin 10 cm önüne numune ve numuneden 10 cm uzağa da dedektör yerleştirildi. Sonra ortamdaki nötronların belirlenmesi ve dedektörün kalibre edilmesi için 100 boş ölçüm alındı. Daha sonra yağ oranlarındaki artışa göre ortalama yağ oranı %13,5 olan Merwax HH, %10 Merwax HT, %4 Merwax MP, %2,5 Merwax SP %1,75 Merwax S %1,25 Merwax M, %0,5 Merwax RS her numune 4,5 MeV'lik hızlı nötronlarla bombardıman edilerek 100 ölçüm alındı. Numune değiştirilirken



kaynak devamlı nötron gönderdiğinden ve dedektörün ortamdaki nötronları saymaması için sayma işlemi durduruldu. Alınan ölçümlerin ortalaması alınarak değerlendirildi.

### 3. 6. Deney Düzenegi



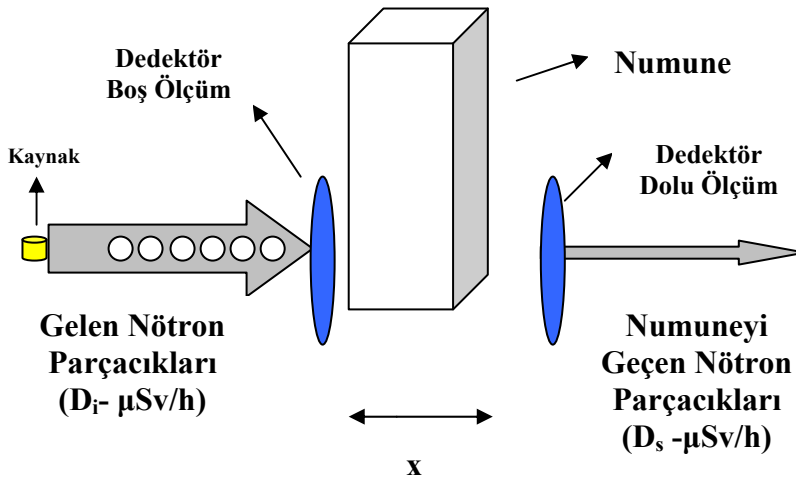
**Şekil 3.11.** Deney Düzenegi

$Am^{241}$  ( $\alpha - n$ ) kaynağı nötronların yanında  $\gamma$  -ışınları da yayınladığından kaynağın zırhlanmasında, 5 cm kalınlığında kurşun onun üstüne aynı kalınlıkta parafin wax ve en üstü de yine 2 cm kalınlığında kurşun plakalarla kaplandı. Zırhın yanından nötronların çıkabilmesi için küçük bir kesit açıldı, kaynak kullanılmayınca kesit, içinde kurşun ve parafin wax tabakalar olan bir kapakla kapatıldı. Dedektörle test yapılarak kaynaktan herhangi bir sızıntının olmadığı belirlendi. Deney düzenegi yukarıdaki gibi önde kaynak 10'ar cm arayla numune ve  $BF_3$  gazlı ADM-606-Model NP serisi bir nötron dedektörü yerleştirilerek ölçümler alındı.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4. 1. Ölçülen Numunelerin Ölçüm Sonuçları

Bu tez çalışmasında amaca uygun olarak farklı erime ve donma noktalarına sahip ortalama yağ oranı %13,5 olan Merwax HH, %10 olan Merwax HT, %4 olan Merwax MP, %2,5 olan Merwax SP %1,75 olan Merwax S %1,25 olan Merwax M ve %0,5 olan Merwax RS 250 gr'lık 11 cm boyunda 8 cm eninde ve 2 cm kalınlığındaki katı parafin wax numuneler üzerine 4,5MeV'lik hızlı nötronlar gönderilerek artan yağ oranlarına göre nötron soğuruculuğu incelenmiştir. Nötron kaynağı olarak  $^{241}\text{Am}/\text{Be}$  ve dedektör olarak ta ADM 606 model  $\text{BF}_3$ , gazlı ( $\alpha-n$ ) nötron dedektörü ile ortalama doz ölçümü  $\mu\text{Sv/h}$  yapılarak ortamdaki nötronların belirlenmesi için 100 boş sayım alındı. Farklı yağ oranlarına sahip parafin wax'lar kaynak, dedektör ve numuneler arasındaki uzaklıklar 10'ar cm olarak sabitlendikten sonra her numune için ayrı ayrı 100'er sayım alındı. Alınan sayımlar Çizelge 4.1.'de görülmektedir. Artan yağ oranına göre numunelerden geçen nötronlar sayılarak numunedeki yağ oranına bağlı olarak geçen nötron sayısında düşüş gözlenmiştir.



Şekil 4.1. Numune ölçüm sistemi

$D_i$  = Gelen Nötronların Eşdeğer Doz Oranı

$D_s$  = Numuneyi Geçen Nötronların Eşdeğer Doz Oranı

$T$  = Doz Transmisyonu =  $D_s / D_i$

**Çizelge 4.1.** Değişen Yağ Oranlarına Göre Sayım Sonuçları

<i>SAYI</i>	<i>BOŞ</i>	<i>HH</i>	<i>HT</i>	<i>MP</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>RS</i>	<i>SP</i>
1	11,200	9,020	8,750	9,750	7,200	8,570	8,840	7,295
2	11,300	8,660	8,200	9,480	6,840	8,200	8,660	7,520
3	11,300	8,660	8,200	9,480	6,840	8,200	8,660	7,520
4	11,300	8,660	8,200	9,480	6,840	8,200	8,660	7,520
5	11,300	8,660	8,200	9,480	6,840	8,200	8,660	7,520
6	11,300	8,660	8,200	9,480	6,840	8,200	8,660	7,520
7	11,400	8,110	7,930	9,300	6,650	8,290	8,390	7,430
8	11,400	8,110	7,930	9,300	6,650	8,290	8,390	7,430
9	11,400	8,110	7,930	9,300	6,650	8,290	8,390	7,430
10	11,400	8,110	7,930	9,300	6,650	8,290	8,390	7,430
11	11,400	8,110	7,930	9,300	6,650	8,290	8,390	7,430
12	10,800	7,930	7,390	8,750	6,290	8,200	8,930	7,385
13	10,800	7,930	7,390	8,750	6,290	8,200	8,930	7,385
14	10,800	7,930	7,390	8,750	6,290	8,200	8,930	7,385
15	10,800	7,930	7,390	8,750	6,290	8,200	8,930	7,385
16	10,800	7,930	8,390	8,750	6,290	8,200	8,930	7,385
17	10,300	7,750	8,840	8,390	6,560	7,560	9,120	7,700
18	10,300	7,750	8,840	8,390	6,560	7,560	9,120	7,700
19	10,300	7,750	8,840	8,390	6,560	7,560	9,120	7,700
20	10,300	7,750	8,840	8,390	6,560	7,560	9,120	7,700
21	10,300	7,750	8,840	8,390	6,560	7,560	9,120	7,700
22	10,300	7,750	8,930	7,930	6,290	7,020	8,840	7,790
23	10,300	7,750	8,930	7,930	6,290	7,020	8,840	7,790
24	10,300	7,750	8,930	7,930	6,290	7,020	8,840	7,790
25	10,300	7,750	8,930	7,930	6,290	7,020	8,840	7,790
26	10,300	7,750	8,930	7,930	6,290	7,020	8,840	7,790
27	10,300	7,470	7,120	8,110	6,290	7,200	8,390	7,515
28	10,300	7,470	7,120	8,110	6,290	7,200	8,390	7,515
29	10,300	7,470	7,120	8,110	6,290	7,200	8,390	7,515
30	10,300	7,470	7,120	8,110	6,290	7,200	8,390	7,515
31	10,300	7,470	7,120	8,110	6,290	7,200	8,390	7,515
32	11,000	7,560	7,570	8,020	6,200	7,930	7,930	7,700
33	11,000	7,560	7,570	8,020	6,200	7,930	7,930	7,700
34	11,000	7,560	7,570	8,020	6,200	7,930	7,930	7,700
35	11,000	7,560	7,570	8,020	6,200	7,930	7,930	7,700

Çizelge 4.1. (devam)

36	11,000	7,560	7,570	8,020	6,200	7,930	7,930	7,700
37	10,800	7,290	7,750	7,660	6,650	8,200	7,750	7,930
38	10,800	7,290	7,750	7,660	6,650	8,200	7,750	7,930
39	10,800	7,290	7,750	7,660	6,650	8,200	7,750	7,930
40	10,800	7,290	7,750	7,660	6,650	8,200	7,750	7,930
41	10,800	7,290	7,750	7,660	6,650	8,200	7,750	7,930
42	10,800	7,380	7,930	7,380	7,560	8,200	7,380	7,835
43	10,800	7,380	7,930	7,380	7,560	8,200	7,380	7,835
44	10,800	7,380	7,930	7,380	7,560	8,200	7,380	7,835
45	10,800	7,380	7,930	7,380	7,560	8,200	7,380	7,835
46	10,800	7,380	7,930	7,380	7,560	8,200	7,380	7,835
47	10,500	7,750	7,480	7,930	7,840	7,930	7,660	7,840
48	10,500	7,750	7,480	7,930	7,840	7,930	7,660	7,840
49	10,500	7,750	7,480	7,930	7,840	7,930	7,660	7,840
50	10,500	7,750	7,480	7,930	7,840	7,930	7,660	7,840
51	10,500	7,750	7,480	7,930	7,840	7,930	7,660	7,840
52	10,800	7,110	7,750	6,840	8,390	8,020	8,390	7,840
53	10,800	7,110	7,750	6,840	8,390	8,020	8,390	7,840
54	10,800	7,110	7,750	6,840	8,390	8,020	8,390	7,840
55	10,800	7,110	7,750	6,840	8,390	8,020	8,390	7,840
56	10,800	7,110	7,750	6,840	8,390	8,020	8,390	7,840
57	10,500	6,740	7,750	7,020	9,210	9,210	9,020	7,840
58	10,500	6,740	7,750	7,020	9,210	9,210	9,020	7,840
59	10,500	6,740	7,750	7,020	9,210	9,210	9,020	7,840
60	10,500	6,740	7,750	7,020	9,210	9,210	9,020	7,840
61	10,500	6,740	7,750	7,020	9,210	9,210	9,020	7,840
62	10,500	6,840	7,390	7,560	8,930	9,750	9,120	7,840
63	10,500	6,840	7,390	7,560	8,930	9,750	9,120	7,840
64	10,500	6,840	7,390	7,560	8,930	9,750	9,120	7,840
65	10,500	6,840	7,390	7,560	8,930	9,750	9,120	7,840
66	10,500	6,840	7,390	7,560	8,930	9,750	9,120	7,840
67	11,300	7,200	7,210	7,470	9,020	9,570	9,480	7,745
68	11,300	7,200	7,210	7,470	9,020	9,570	9,480	7,745
69	11,300	7,200	7,210	7,470	9,020	9,570	9,480	7,745
70	11,300	7,200	7,210	7,470	9,020	9,570	9,480	7,745
71	11,300	7,200	7,210	7,470	9,020	9,570	9,480	7,745
72	11,500	6,840	7,750	7,750	9,120	9,300	9,020	7,930
73	11,500	6,840	7,750	7,750	9,120	9,300	9,020	7,930
74	11,500	6,840	7,750	7,750	9,120	9,300	9,020	7,930
75	11,500	6,840	7,750	7,750	9,120	9,300	9,020	7,930
76	11,500	6,840	7,750	7,750	9,120	9,300	9,020	7,930
77	11,100	6,470	7,290	7,560	8,840	9,750	8,750	8,200
78	11,100	6,470	7,290	7,560	8,840	9,750	8,750	8,200
79	11,100	6,470	7,290	7,560	8,840	9,750	8,750	8,200
80	11,100	6,470	7,290	7,560	8,840	9,750	8,750	8,200

Çizelge 4.1. (devam)

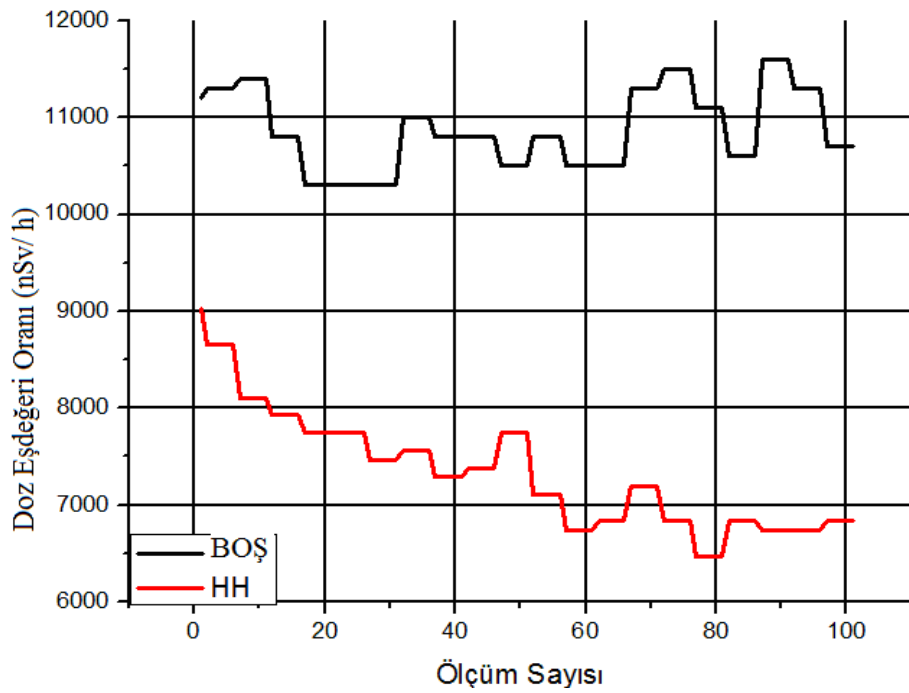
81	11,100	6,470	7,290	7,560	8,840	9,750	8,750	8,200
82	10,600	6,840	7,750	7,840	9,020	9,750	9,210	8,155
83	10,600	6,840	7,750	7,840	9,020	9,750	9,210	8,155
84	10,600	6,840	7,750	7,840	9,020	9,750	9,210	8,155
85	10,600	6,840	7,750	7,840	9,020	9,750	9,210	8,155
86	10,600	6,840	7,750	7,840	9,020	9,480	9,210	8,155
87	11,600	6,740	7,660	7,200	9,020	9,480	9,940	8,070
88	11,600	6,740	7,660	7,200	9,020	9,480	9,940	8,070
89	11,600	6,740	7,660	7,200	9,020	9,480	9,940	8,070
90	11,600	6,740	7,660	7,200	9,020	9,480	9,940	8,070
91	11,600	6,740	7,660	7,200	9,020	9,480	9,940	8,070
92	11,300	6,740	7,750	6,470	9,210	9,020	1,0500	7,840
93	11,300	6,740	7,750	6,470	9,210	9,020	1,0500	7,840
94	11,300	6,740	7,750	6,470	9,210	9,020	1,0500	7,840
95	11,300	6,740	7,750	6,470	9,210	9,020	1,0500	7,840
96	11,300	6,740	7,750	6,470	9,210	9,020	1,0500	7,840
97	10,700	6,840	7,290	6,560	8,930	9,300	1,1000	7,475
98	10,700	6,840	7,290	6,560	8,930	9,300	1,1000	7,475
99	10,700	6,840	7,290	6,560	8,930	9,300	1,1000	7,475
100	10,700	6,840	7,290	6,560	8,930	9,300	1,1000	7,475
101	10,700	6,840	7,290	6,560	8,930	9,300	1,1000	7,475

Çizelge 4. 2. Çizelge 4.1.'deki 100 sayımın ortalama değerleri

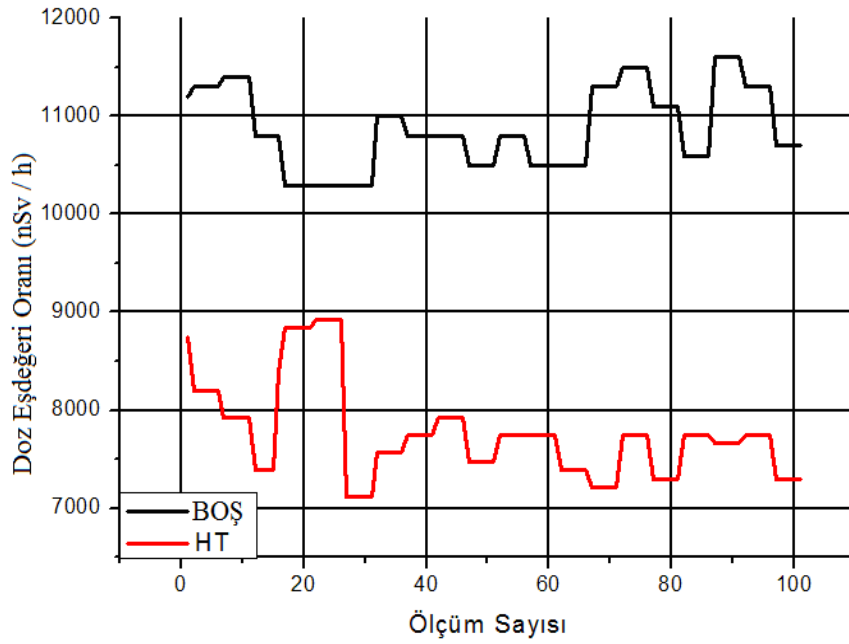
<i>Ortalamalar</i>		
<i>Parafin Wax</i>	<i>Yağ oranı (%)</i>	<i>Nötron Geçişi ( <math>\mu\text{Sv}/h</math> )</i>
<i>HH</i>	13,5	0,6734
<i>HT</i>	10	0,7133
<i>MP</i>	4	0,7156
<i>S</i>	3	0,716
<i>M</i>	1,75	0,7207
<i>RS</i>	1	0,7901
<i>SP</i>	0,75	0,8161

Çizelge 4. 1.'deki sayımlara göre aşağıdaki grafikler oluşturuldu. Grafiklerdeki doz ölçümü nano sievert/saat ( $n\text{Sv}/h$ ) cinsinden verilmiştir.

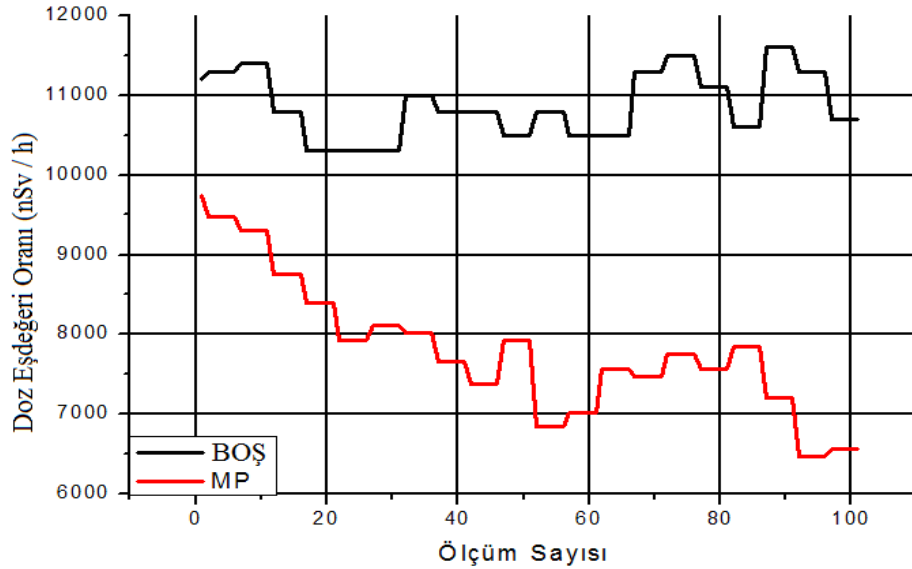
Grafiklerdeki (0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100) arasındaki ölçüm sayıların düşüş çıkış sebebi ise nötronların yüksüz parçacıklar olmasından ve nötronların ortamla etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Grafiklerdeki her bir ölçüm aralığına denk gelen doz eşdeğeri oranlarını bulmak için, söz konusu ölçüm aralığındaki tüm sayımların ortalaması alınabilir.



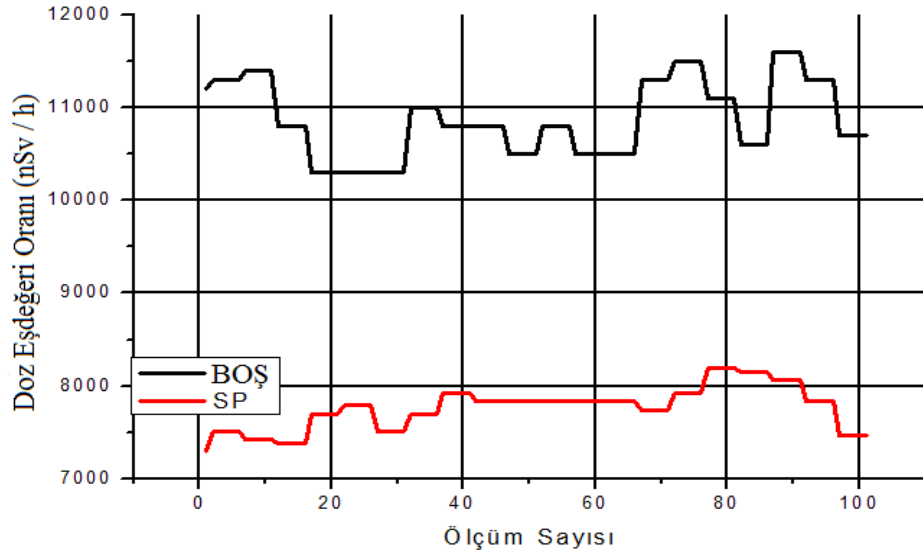
**Şekil 4.2.** Parafin Wax HH (ortalama yağ oranı %13,5)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği



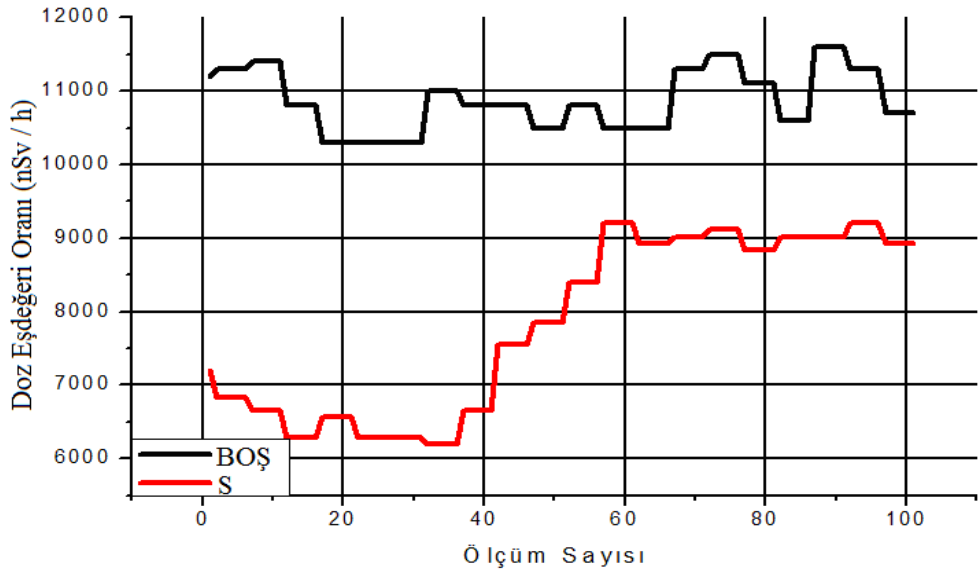
**Şekil 4.3.** Parafin Wax HT (ortalama yağ oranı %10)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği



**Şekil 4.4.** Parafin Wax MP (ortalama yağ oranı %4)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği

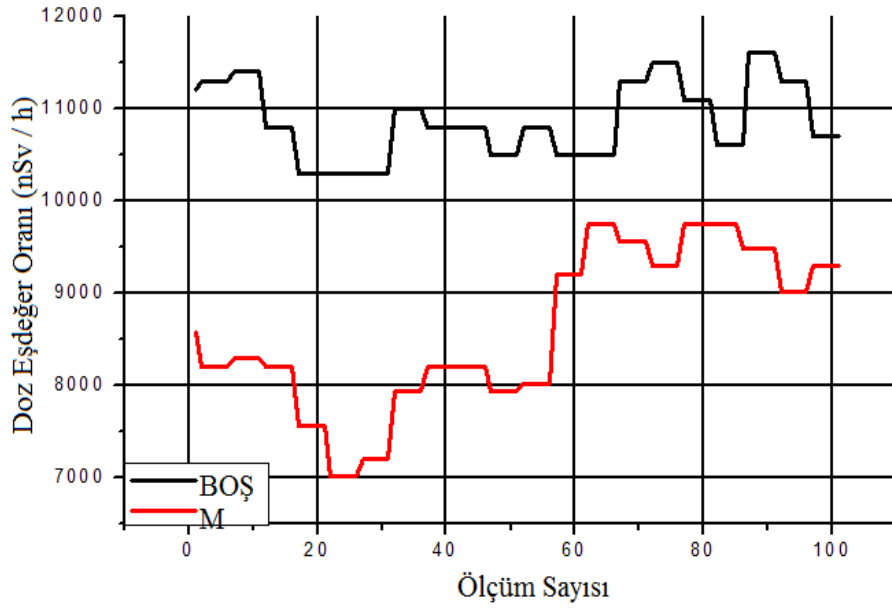


**Şekil 4.5.** Parafin Wax SP (ortalama yağ oranı %2,5)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği

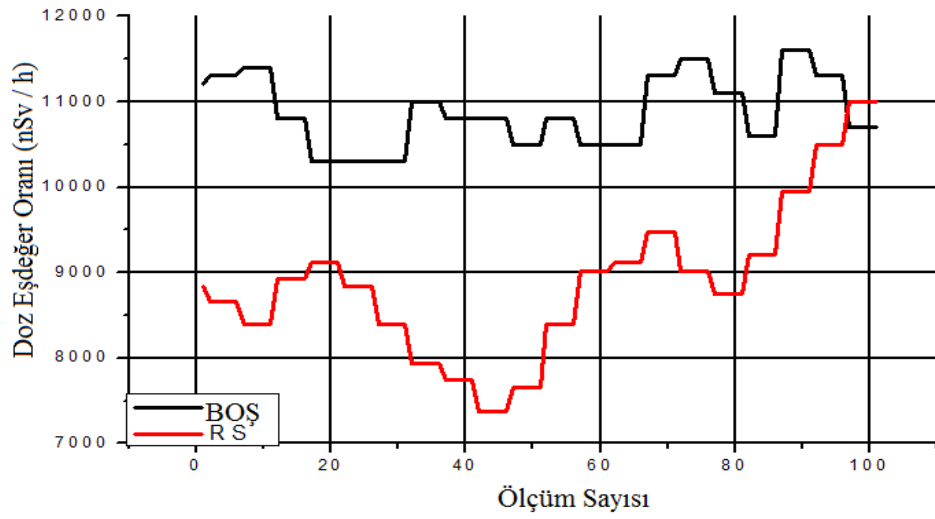


**Şekil 4.6.** Parafin Wax S (ortalama yağ oranı %1,75)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği

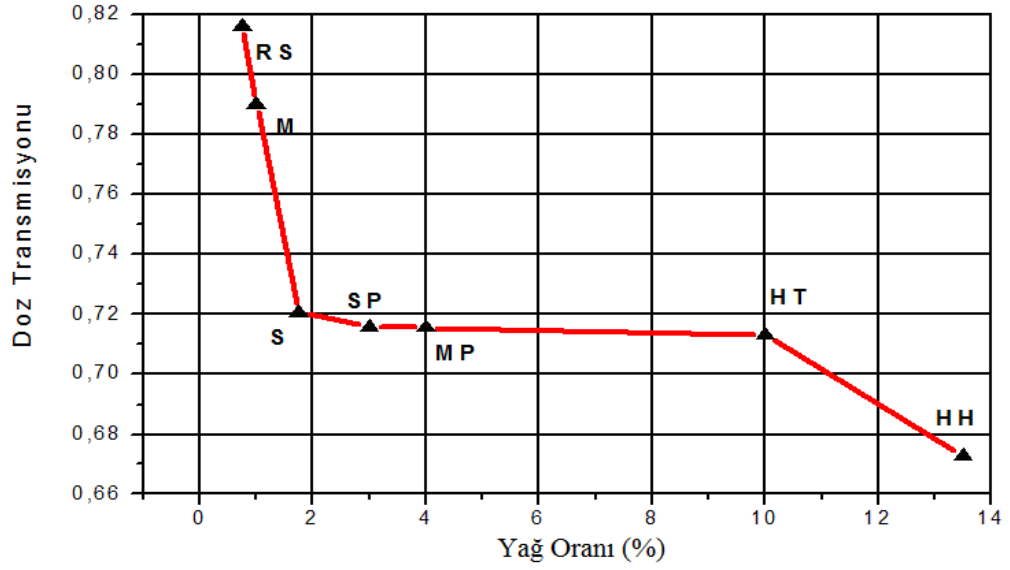




**Şekil 4.7.** Parafin Wax M (ortalama yağ oranı %1,25)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği



**Şekil 4.8.** Parafin Wax RS (ortalama yağ oranı %0,5)'nin ölçüm sonucu ile boş ölçümün karşılaştırılma grafiği



**Şekil 4.9.** Parafin Wax RS, M, S, SP, MP, HT, HH'nin ortalama yağ oranlarına göre toplu ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması grafiği

Makroskopik tesir kesiti nötron madde ile etkileşince elastik, inelastik saçılma ve nötron yakalanması olayları olur. Makroskopik tesir kesiti  $\Sigma$  şeklinde gösterilir.

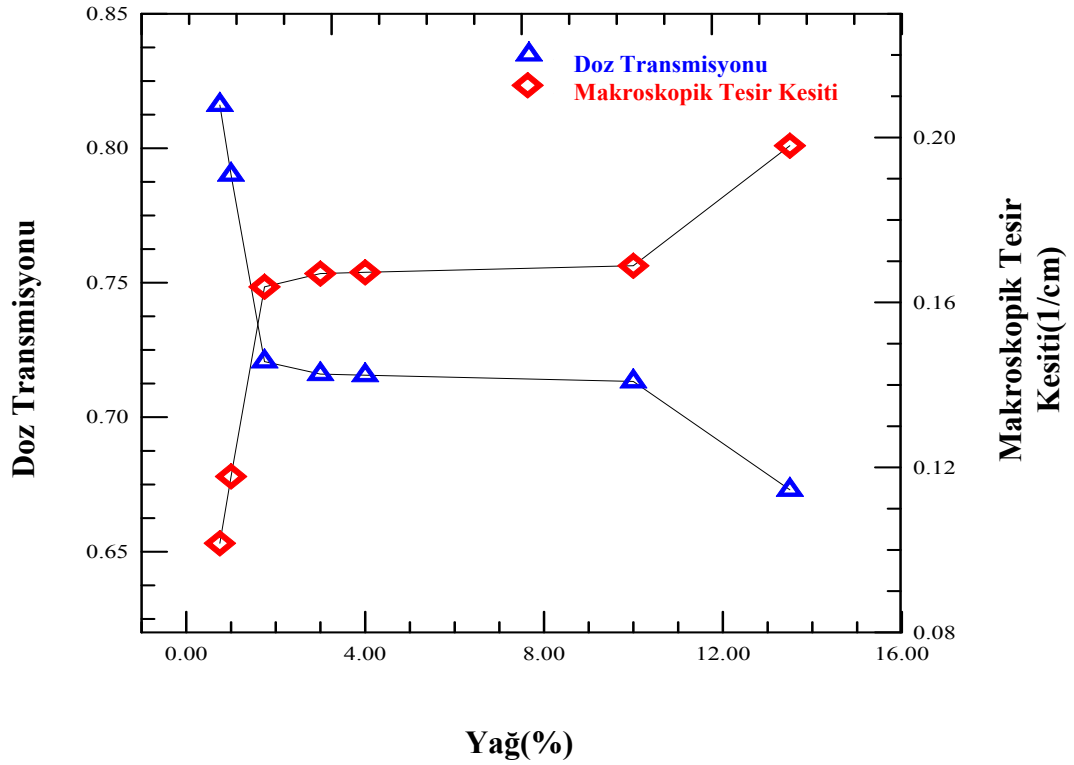
$$\Sigma_{Toplam} = \Sigma_{fisyon} + \Sigma_{kaçan} + \Sigma_{yakalanan} + \Sigma_{.....} \quad (4.1)$$

$$I = I_0 e^{-\Sigma_{Toplam} X} \quad (4.2)$$

$$\Sigma = -\frac{\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)}{X} \text{ cm}^{-1} \quad (4.3)$$

Burada  $I$ , soğurucudan çıkan radyasyon şiddeti,  $I_0$  soğurucuya gelen radyasyon şiddeti,  $X$  soğurucu maddenin kalınlığı olmak üzere bu durumda  $\Sigma$  makroskopik tesir kesitidir. Dedektörden alınan ortalama  $\frac{I}{I_0}$  değerleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Bu değerlerin  $\ln$  değerini alarak numune kalınlığı olan 2 cm bölüp aşağıdaki tabloda verilen makroskopik tesir kesitleri hesaplandı.



**Şekil 4.10.** Parafin Wax'lardaki yağ oranına göre geçen nötron sayısı ve makroskopik tesir kesitlerinin karşılaştırılması

**Çizelge 4.3.** Ortalama yağ oranına göre nötron geçişi ve makroskopik tesir kesiti

<i>Parafin Wax</i>	<i>Ortalama Yağ Oranı (%)</i>	<i>Ortalama Nötron Geçişi (<math>\mu\text{Sv}/h</math>)</i>	<i>Makroskopik Tesir Kesiti (<math>\text{cm}^{-1}</math>)</i>
<i>HH</i>	<i>13,5</i>	<i>0,6734</i>	<i>0,1977</i>
<i>HT</i>	<i>10</i>	<i>0,7133</i>	<i>0,1689</i>
<i>MP</i>	<i>4</i>	<i>0,7156</i>	<i>0,1673</i>
<i>S</i>	<i>3</i>	<i>0,7168</i>	<i>0,1664</i>
<i>M</i>	<i>1,75</i>	<i>0,7207</i>	<i>0,1637</i>
<i>RS</i>	<i>1</i>	<i>0,7901</i>	<i>0,1177</i>
<i>SP</i>	<i>0,75</i>	<i>0,8161</i>	<i>0,1016</i>

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada değişen yağ oranlarına göre parafin wax'larda nötron soğurganlık değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Parafin Wax'ların nötron soğurganlığının iyi olduğu bilinmektedir. Nötronlar yüksüz parçacıklar olduğundan Coulomb kuvvetinden etkilenmezler ve maddenin derinliklerine kadar nüfuz edebilirler. Nötronlar doğrudan iyonlaştırıcı radyasyon değillerdir. Ancak nötronların içine girdikleri maddenin atomlarıyla etkileşerek, iyonlaştırıcı radyasyonun ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  veya X-ışınları) ortaya çıkmasına sebep olabilirler. Nötronları tamamen durdurmak zordur. Ancak nötronlar kalın beton, su ve parafin kütleleriyle ya da karpit ve bor atomlarıyla durdurulabilirler.

Nötronlar tıpta, eczacılıkta, endüstride, uzay araştırmalarında, nükleer bomba yapımında, nanoteknolojide çok geniş kullanım alanına sahiptir. Bu kadar geniş kullanım alanına sahip nötronların radyasyonundan korunmak da oldukça önemlidir.

Nötronlar yüksüz parçacıklar olduklarından hızlandırılmazlar, ancak elastik ve inelastik çarpışmalar sonucu yavaşlatılabilirler (Beiser 2007). Nötron zırhlanması kullanılan nötron kaynağına, oluşan nötronların enerjilerine, zırh malzemesine, kaynakla zırh arasındaki mesafeye bağlı olarak değişiklik gösterir.

Enerjileri 10 keV ve 10 MeV arasında olan hızlı ve relativistik nötronların madde ile önemli bir etkileşimi elastik çarpışmalardır. Nötron bir atom çekirdeğine çarptığında kinetik enerjisinin bir kısmını çekirdeğe aktardıktan sonra geliş doğrultusundan saparak yoluna devam eder. Bu durumda çekirdeğin fiziksel yapısında bir değişme olmaz. Nötronların çekirdekle elastik çarpışma yapmasında momentum ve enerji korunum kanununa uygun olarak toplam kinetik enerji değişmez. Ama fonksiyonel enerji kaybı (bir nötronun bir çarpışmada kaybedeceği enerji yüzdesi)  $\xi$

$$\xi = (M + 1) / (M + 1)^2 \quad (5.1)$$

şeklinde olur (Shapiro 1990). Burada M, nötronun çarptığı çekirdeğin kütlesidir. Denklem (5.1)'de görüldüğü gibi kütlesi az olan hidrojen gibi hafif çekirdekler hızlı ve relativistik nötronların soğurulmasında, yavaşlatılmasında önemli bir etkidir. Bundan dolayı yapısında hidrojen içeriği bol olan parafin wax ve su gibi maddeler nötronları iyi soğururlar.

İnelastik çarpışmalarda ise nötron çarpıştığı çekirdeğin içine girer ve çok kısa bir sürede çekirdeğin yapısını değiştirir. Nötron kinetik enerjisinin bir kısmını çekirdeğe aktararak geliş yönünü değiştirir ve çekirdeği terk eder.

Orta enerjili (0,5 keV–10 keV) ve termal (0,5 eV'den az enerjili) nötronlar için soğrulma absorplanmadır. Nötron çekirdek etkileşimi sonunda büyük bir olasılıkla nötron absorplanmasını takiben bir  $\gamma$ -ışını yayınlanır (Shapiro 1990). Bu durumda gama ışınlarının da zırhlanması gerekmektedir. Bir nötron demetinde yüksek enerjili nötronların belirli kalınlığa sahip bir absorplayıcının diğer yüzeyinden çıkma olasılığı daha fazladır. Bu nedenle nötron zırh kalınlığının yüksek enerjili olan nötronlar için hesaplanmalıdır (Shapiro 1990). Bu şekilde demette var olan tüm nötronların zırhlanması yapılmış olur. Nükleer santrallerde yüksek ısıya dayanıklı bor, paslanmaz çelik ve karpit kullanılır. Nötronları beş şekilde elde edebiliriz. Bunlar ( $\gamma - Be$ ), kendiliğinden fisyon ( $^{252}Cf$ ), Fotonötron, nükleer reaksiyonlar, reaktörlerdir, nötron kaynaklarıdır. Bu kaynaklardan nötron elde edilirken Nötron'un yanında  $\gamma$ 'larda yayınlanır bunun için nötronların zırhlanması için hidrojen içeriği fazla polimerler ve parafin kütleler kullanılırken  $\gamma$ 'lar için ise kurşun ve çelik kullanılır. Nötron zırhlanmasında kurşun da vazgeçilmezdir. Bu çalışmada parafinin nötron tutuculuğunu daha da artırmak, parafine katılacak malzemeyi belirlemek için Monte Carlo Similasyon tekniği kullanılarak 4,5 MeV'lik hızlı nötronlarla %100'lük konsantrasyon içeren parafin wax, karpit, yağ, su, Borik Asit, (%30 çelik + %30 Alüminyum + %40 Boron) karışımı ve %100 Boron içeren numuneler ayrı ayrı ışınlanarak nötron

soğrulma doz oranı ölçüldü ve Çizelge 2.4.'deki sonuçlarla karşılaştırıldı. Yağ'ın nötronları daha iyi soğurduğu tespit edildi. Belli yağ oranına sahip parafine wax örnekleri 4,5 MeV'lik hızlı nötronlarla ışınıldı. Önce ortamdaki nötronları belirlemek için 100 boş sayım alındı. Daha sonra dedektörün ve kaynağın, numunenin birbirlerine uzaklıkları sabit olmak üzere her numune için 100 sayım alındı. Çizelge (4.1)'de verilmiştir.

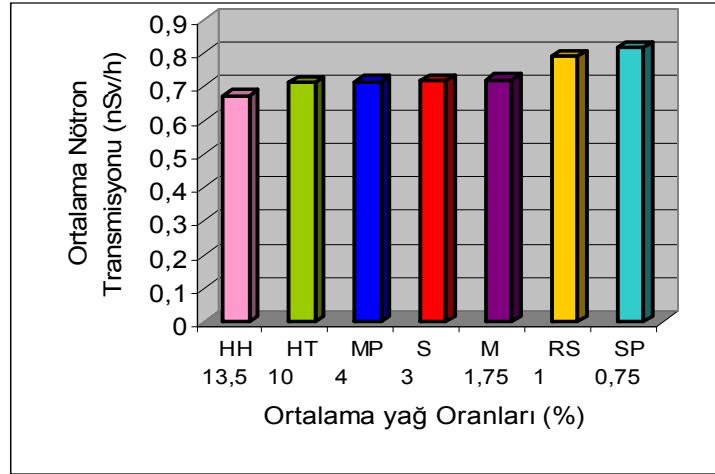
Çizelge (4.1)'deki değerlerin ortalaması alınarak Çizelge (5.1) oluşturuldu. Bu çizelgede de görüldüğü gibi 4,5 MeV'lik hızlı nötronları en iyi soğuran ortalama yağ oranı %13,5 olan parafin wax HH ve en az soğuran parafin wax ise ortalama yağ oranı %0,75 olan SP'dir. Sırayla ortalama yağ oranı düştükçe nötron geçişinde de artma olduğu gözlemlendi. Bu da demektir ki parafin wax'daki yağ oranıyla nötron geçişi ters orantılı iken nötron soğurganlığı da doğru orantılıdır.

Parafin Wax'lar nötron zırhlanmasında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bir dezavantajları erime noktalarının ortalama ( $56^{\circ}C - 58^{\circ}C$ ) arasında olmasıdır. Bu nedenle yüksek sıcaklık olan ortamlarda kullanımı problemlere neden olabilir.

Belki de erime noktası bazı katkılarla artırılabilir ancak o zamanda nötron soğurganlığında bir değişim olabilir bu durumun daha iyi anlaşılması için ölçüm yapılması gerekmektedir.

**Çizelge 5.1.** Ortalama yağ oranına göre ortalama nötron geçişleri

<i>Parafin Wax</i>	<i>Ortalama Yağ Oranı (%)</i>	<i>Ortalama Nötron Geçişi (<math>\mu Sv/h</math>)</i>
<i>HH</i>	<i>13,5</i>	<i>0,6734</i>
<i>HT</i>	<i>10</i>	<i>0,7133</i>
<i>MP</i>	<i>4</i>	<i>0,7156</i>
<i>S</i>	<i>3</i>	<i>0,7168</i>
<i>M</i>	<i>1,75</i>	<i>0,7207</i>
<i>RS</i>	<i>1</i>	<i>0,7901</i>
<i>SP</i>	<i>0,75</i>	<i>0,8161</i>



**Şekil 5.1.** Parafin Wax, HH, HT, MP, S, M, RS, SP'nin ortalama yağ oranlarına göre geçen nötron sayısının toplu ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması grafiği

Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi ortalama yağ oranı en yüksek olan parafin wax (%13,5) HH örneği 4,5 MeV'lik hızlı nötronları ortalama yağ oranı en düşük olan parafin wax SP (%0,75) örneğinden daha iyi soğurmuştur. Buradan şu sonuca varılır, parafin wax içindeki yağ oranı artırıldıkça 4,5 MeV'lik hızlı nötronların soğurulması da o oranda artmaktadır. Numunedeki artan yağ oranına göre geçen hızlı nötron sayısında düşüş ve makroskopik tesir kesitinde de o oranda artış olmaktadır. (Şekil 4.10). Makroskopik tesir kesitinin artması hızlı nötronların madde içinde ilerlerken birim alandaki atomlarla çarpışma ihtimalinide artırmaktadır bu da nötronların daha çok soğurulmasını sağlamaktadır. Bu sonuç Çizelge (5.1)'e göre aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$y^{-1} = a + \frac{b}{x} \quad (5.2)$$

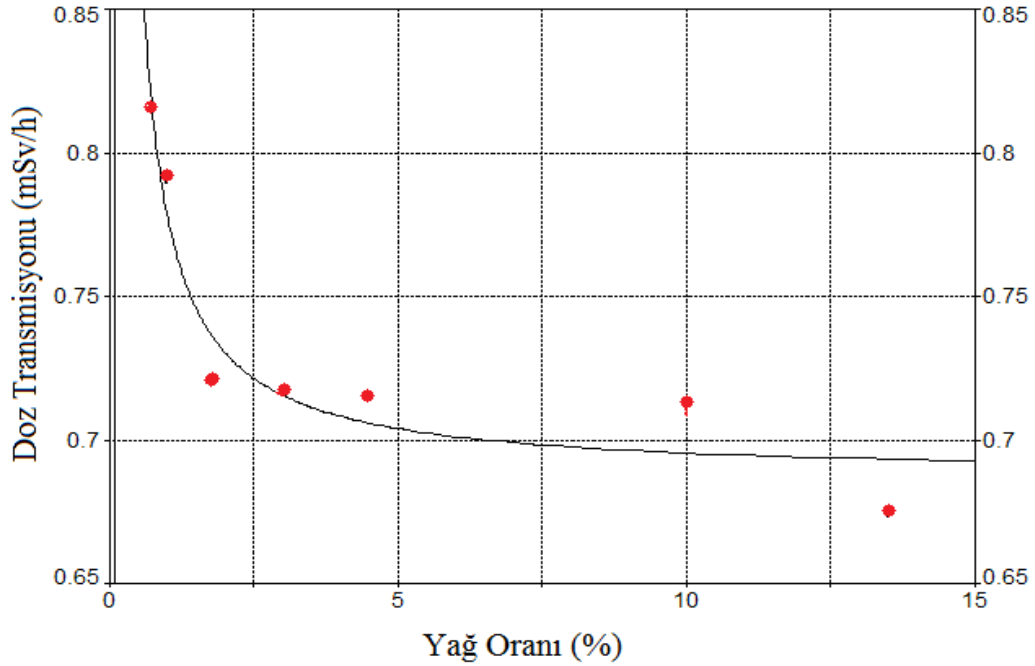
Burada  $a = 1,4551526$ ,  $b = 0,17493342$ ,  $y$  doz transmisyonu ve  $x$  yağ oranıdır.

Fit standart hata = 0,015144116 ve  $r^2 = 0,92246923$ 'dir. Bu hatalar ortamdaki nötronlardan ve dedektörün ölçümler sırasında yapmış olduğu  $\% \pm 5$  hatadan, numune değiştirirken numune tutucunun kaymasından, havadan saçılan nötronların tekrar dedektöre girerek sayılmasından, ortam sıcaklığının değişmesi vb. etkenlerden kaynaklanmaktadır.

**Çizelge 5.2.** Formül oluşturmada baz alınan değerler

Yağ	X Değeri	Y Değeri	Y Tahmini	Artan (%)	Doğruluk	Lim 99.99%	Tahmini	Lim Ağırlığı	
SP	0.7500000	0.8161000	0.8183922	-0.002292	-0.280868	0.6102475	1.0265369	0.5501181	1.0866662
RS	1.0000000	0.7901000	0.7811162	0.0089838	1.1370431	0.6335512	0.9286813	0.5565674	1.0056651
M	1.7500000	0.7207000	0.7379035	-0.017204	-2.387059	0.6198820	0.8559250	0.5315645	0.9442426
S	3.0000000	0.7168000	0.7159008	0.0008992	0.1254410	0.5772511	0.8545506	0.4971076	0.9346941
MP	4.0000000	0.7156000	0.7085067	0.0070933	0.9912400	0.5578217	0.8591916	0.4818954	0.9351180
HT	10.0000000	0.7133000	0.6955751	0.0177249	2.4849160	0.5192158	0.8719344	0.4511383	0.9400119
HH	13.5000000	0.6734000	0.6933877	-0.019988	-2.968176	0.5121937	0.8745817	0.4454401	0.9413353

Çizelge (5.1)'deki değerlere göre Çizelge (5.2) oluşturuldu ve buna göre de aşağıdaki grafikler çizildi.

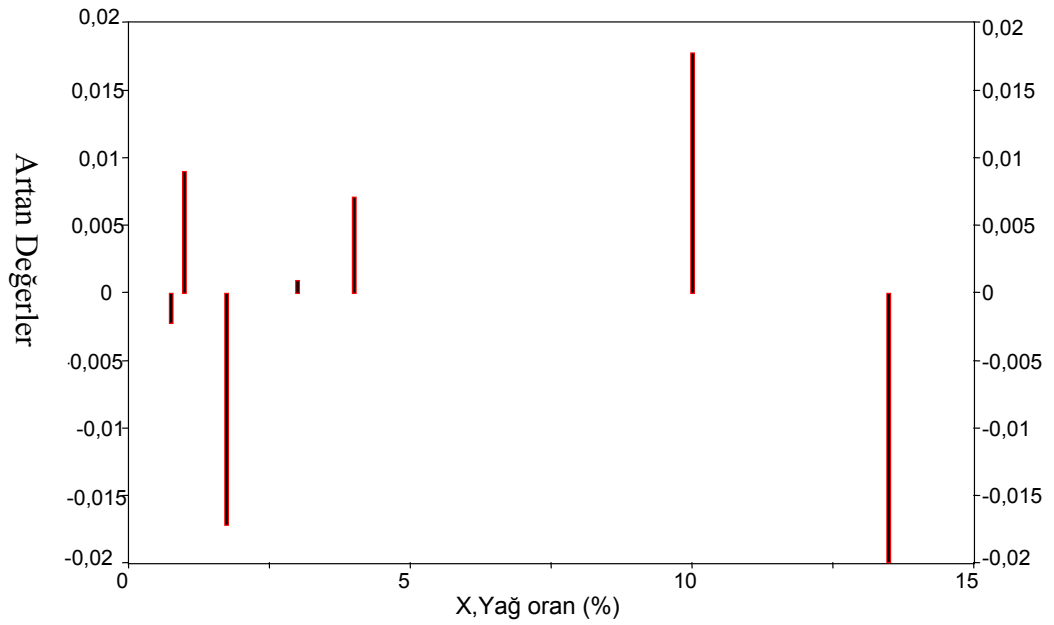
**Şekil 5.2.** Artan yağ oranına göre doz transmisyonu

Denklem (5.1)'de parafin wax'daki artan yağ oranı ile doz transmisyonu arasında ters orantının olduğu görülmektedir. Şekil (5.2.)'de artan yağ oranına bağlı olarak doz transmisyonunda eksponansiyel olarak azalmaktadır.

**Çizelge 5.3.** Hata Çubuklarını oluşturan değerler



<i>Parafin Wax</i>	<i>X (Yağ Oranı)</i>	<i>Artan Değer</i>
	<b>YAĞ FARKI</b>	<b>TRANSMİSYON FARKI</b>
<i>SP</i>	0,7500 000 000	-0,002 292 167
<i>RS</i>	1,0000 000 000	0,0089 837 773
<i>M</i>	1,7500 000 000	-0,017 203 538
<i>S</i>	3,0000 000 000	0,0008 991 613
<i>MP</i>	4,0000 000 000	0,0070 933 132
<i>HT</i>	10,000 000 000	0,0177 249 060
<i>HH</i>	13,500 000 000	0,019 987 699



**Şekil 5.3.** Oluşan hata çubukları

Numuneler arasındaki yağ farklarına ve Transmisyon farkına göre aşağıdaki çizelgeler oluşturuldu.

**Çizelge 5.4** Yağ Transmisyon

0,25 (RS-SP)	0,026
0,75 (M - RS)	0,0694
1,25 (S - M)	0,0047
1 (MP - S)	0,0004
3,5 (HH-MP)	0,0403
6 (HT-MP)	0,0023

oranı farkı ile farkının karşılaştırılması

Çizelge (5.1.)’deki değerlerin farkları alınarak Çizelge (5.4.) oluşturuldu ve yağ oranları arasındaki fark ile doz transmisyonları arasındaki fark incelendiğinde en büyük farkın %1,75 ile %1,00’lik yağ oranlarına karşılık gelen doz transmisyonu farkı olduğu görülebilir. En küçük farklılık ise %4 ve %3’lük yağ oranlarına karşılık gelen doz transmisyonu farkı olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 5.5.** Yağ Oranlarına göre Transmisyon oranlarının karşılaştırılması

YAĞ (%)	TRANSMİSYON	YAĞ ORANI/DOZ TRANSMİSYONU
13,5	0,673	20,05 943 536
10	0,7133	14,0 193 467
4	0,7156	5,589 714 925
3	0,716	4,189 944 134
1,75	0,7207	2,428 194 811
1	0,7901	1,265 662 574
0,75	0,8161	0,919 005 024

Doz transmisyonu ile yağ oranı arasındaki oranlara bakıldığında, bu oranın artan yağ konsantrasyonu ile azaldığı söylenebilir. Yaptığımız bu tez çalışması sonucunda hızlı nötronların kolime edilmesi için kullanılacak alternatif yeni bir malzeme elde edilmiştir. İçerdiği yağ konsantrasyonu yüksek olan parafin wax numuneler için bundan sonraki çalışmalarda Çizelge (5.4) ve (5.5)’te verilen katsayıların soğurma kabiliyetine etkisi ile ilgili teorik çalışmaların yanında, bu malzemenin erime noktası bakımından iyileştirilmesi, farklı nötron enerjilerine hatta farklı radyasyon türlerine

karşı soğurma kapasitesi ile ilgili daha kapsamlı araştırmaların yapılması öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Arya, P. A. Şahin, Y. (çeviri). 1999. Çekirdek Fiziğinin Esasları. Bankalar Mat. Ltd, 419, Erzurum.
- Atom ve Yapısı Hakkında Herşey - Atom ve Yapısı Nasıldır Hakkında(Anonim 2009) <http://www.maxihayat.net/> (31.03.2010).
- Atom Nedir - Detaylı Atom Tanımı (Anonim 2005-2010) <http://www.Fizikçiyiz.com> (31.03.2010).
- Altın, V. , 2004. "Nükleer Enerji", Bilim ve Teknik Dergisi, [http://www.Nükleer Enerji \(Nuclear Energy\). mht](http://www.NükleerEnerji(NuclearEnergy).mht) (04.01.2010).
- Atom,elektron,proton,nükleer santral resmi (Anonim 2010), <http://www.google.com.tr> (17.05.2010).
- Balabin, YU.V. , Vashenyuk, E.V. , Stoker, P.H .2007. Solar Cosmic Ray study with Neutron Monitors of a Various Design. 30Th International Cosmic Ray Conference PGI, Apatity, Murmansk Region, 184209, Russia.
- Bohigas, O. , Haq, R. U. ,Pandey, .A. , 2004. "Radyoaktiflik ve Nükleer Enerji", <http://www.aof.anadolu.edu.tr/kitap/EHSM/1221/unite13.pdf> (31.0.3.2010).
- Büyüksu, H. 2007. Isparta'nın Yalvaç İlçesi ve Çevresinin Doğal Fon (Background) Radyasyon Düzeylerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Barberr, M., Robert, S., Bordolrı, R., Sedgwick, D., Tyler, A., 1981. Fast Atom Bombardment of Solids (F.A.B.) : A New Ion Source for Mass Spectrometry. J.C.S. CHEM. COMM, 325 (60), 325-3.
- Curie, P. Artel, T. (çeviri). 1950. Radyoaktivite. İstanbul Üniversitesi, 287, İstanbulConttingham, W.N. Greenwood, D. A. Yıldırım, S. , 2001. Çekirdek Fiziğine Giriş. Mersin Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, 221, İstanbul.
- Caldwell, M. M., Bornman, J. F., Ballar'e, C. L., Flint, S. D., Kulandaivelu, G., 2007. Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation, and interactions with other climate change factors. Photobiological Sciences, 1039 (10), 1-15.
- Huffman, P. R. Coakley, K. J. Dzhosyuk, S. N. Golub, R. E. Korobkina, K.Mattoni, C.E. H. McKinsey, D. N. Thompson, A. K. Yang, G. L. Yang, L. Lamoreaux,S. and Doyle, J. M. , 2002. Progress Towards Measurement of the Neutron LifetimeUsing Magnetically Trapped Ultracold Neutrons. National Institute of Standards and Technology, Boulder, CO 80303, 1-8.
- Özger, G. , 2005. Ceyhan, Yumurtalıkve Pozantı Bölgelerinde Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Jasper, J. M. 1990,"Nuclear politics: Energy and the state in the United States, Sweden, and France", - pup.princeton. edu[http://www.Nükleer Enerji \(Nuclear Energy\).mht](http://www.NükleerEnerji(NuclearEnergy).mht) (04.01.2010).
- Jin-Hong, D. Chao, S. Shuo, B. Ge, S. Zhe, Y. and Hui-Ming, C., 2002. Microwave electromagnetic characteristics of a microcoiled carbon fibers/paraffin wax

- Materials composite in Shenyang National Laboratory for Science, Institute of Metal Research Chinese Academy of Sciences, 110016 (72), 1-5.
- Kumagai, T., Sato, T., 1992. Inhibitory Effect of Increase in Near-UV Radiation on the Growth of Japanese Rice Cultivars in a Phytotron and Recovery by Exposure to Visible Radiation. *Institute of Genetic Ecology*, 980 (42), 545-552.
- Krane, S. K. Şaşer, B. (çeviri). 2002. *Nükleer Fizik*. Palme Yayıncılık, 835, Ankara
- Littlefield, T.A, Thorley. N, Karadeniz, C. Yaramış, B. (çeviri). , 1973. *Atom ve Çekirdek Fiziğine Giriş*. İstanbul Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, 533, İstanbul.
- Leake, J. W. , Lowe,T. , Mason ,R. S. 2004. Improvements to the Leake Neutron Detector. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 519, (3),636-646.
- Lopate, C. 2004. *Solar Energetic Plasmas and Particles Turku*. Chapman Conference on Solar Energetic Plasmas and Particles Turku, Finland.
- Milanese, M. , Niedbalski, J., Moroso, R. , Guichón, S. , Supán J. 2008. Dense Plasma Focus as Collimated Source of D-D Fusion Neutron Beams for Irradiation Experiences and Study of Emitted Radiations. *Aires, Pinto* 399- (7000), 1-7.
- Margaret, L., Kripke., 1990. Effect of UV Radiation on Tumor Immunity. *JNCI Journal of the National Cancer Institute*, 82 (17), 1392-1396. Superposition State of an Atom. *Time and Frequency Division, MS 847, National Institute of Standards and Technology*, (847), 1-15.
- Nötron Dedektörleri. , (Anonim, 2010). Ödev Arşivi. com, <http://www.google.com.tr> (26.03.2010).
- Nükleer, . (Anonim, 2007) *Nükleer Bilgi*. Nükleer [www.1bilgi.com.mht](http://www.1bilgi.com.mht), <http://www.google.com.tr> (26.03.2010).
- Onrat, M. Konuk, S. T. , 2004. Bnct (Boron Neutron Capture Therapy) ile Kanser Tedavisi *Cancer Therapy with Boron Neutron Capture Therapy (Bnct)*. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir Türkiye. "paraffin wax." *Encyclopædia Britannica*. (Anonim 2010). *Encyclopædia Britannica* <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/442604/paraffin-wax>. (19.03.2010).
- Robley, D. Evans, Ph. D. ,1955. *The Atomic Nukleus*. Maçraw-Hil Book Company,953.
- Sulmen, R. L. Duldig, M. L. and Humble J. E. , 2001. A mobile neutron monitor to intercalibrate the worldwide network. *Proceedings of ICRC*,1-4.
- Steyn, G. F Van Royen, T. J., Binns, P. J., Hough, J. H., Nortier, F. M., Mills, S.J. , Shield Design Calculations for a Radioisotope Production Target Bombardment Station. *National Accelerator Centre .P.O Box (72. Faure)7131*.
- Sanz, R. B., Villafane, R. M., Iniguez, M. P., Bayo, T., Vega, H. R., 2001. Determination of Neutron Dose to Patients From a18 MeV Linac. *5as Jornadas de InvestigaciónUniversidad Autónoma de ZacatecasTrabajo: CB/UFIS-(07/039)*, 1-8.
- Stoker, PH. , 2007. Two-detector recordings of Gle's at Sanae. *30Th International Cosmic Ray Conference, Unit for Space Physics, NW University, Potchefstroom 2531, South Africa*.

- Shapiro, J., 1974. Radiation Protection, Harvard University Pres, Cambridge Massachusetts
- Şahin, L. , (2010), Parçacıklar ve Radyasyonun Madde ile Etkileşimi. thm.Ankara.edu.tr/tac/Yazokulu, <http://www.google.com.tr>, (29.05.2010).
- Tapan, İ. , 2007. Parçacık Dedektörleri. III. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Dedektörleri Yaz Okulu, Bodrum –Türkiye.
- Tuart, D. R. , Arlryan, D. , 1980. Epithermal neutron activation analysis with a SLOWPOKE nuclear reactor. Trace Analysis Research Centre, Chemistry Department, Dalhousie University, Halifax, N.S, 59, 1470 (1-6).
- Turhan, A. 2008. Borlamanın Paslanmaz Çeliğin Radyasyon Zırhlama Özelliğine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (Anonim 2010), <http://www.taek.gov.tr/tr/sss/121-nukleer/323-dunya-vazgeciyor-mu.html> , (01- 04-2010)
- Tülümen, Ş. , Akçay, S. , Oymak, S. , (2009 ) Radyasyon Çeşitleri. Çomu-Fizik, <http://www.google.com.tr>, (12.04.2010).
- Uluslar arası Atom Enerjisi Ajansı, Eylül (Anonim 2002). [http://www.frntr.com/kimya/909498-nukleer\\_enerjinin-tarihcesi\\_yararları\\_ve\\_zararları.html](http://www.frntr.com/kimya/909498-nukleer_enerjinin-tarihcesi_yararları_ve_zararları.html) (18-05-2010)
- Weinberg, S. Aydın, Z. (çeviri ). 2005. Atom Altı Parçacıklar. Tübitak Populer Bilim Kitapları, 255, Türkiye.
- Wilkinson, D. 1976. Particle and Nuclear Physics. Proceedings of the international School of Nuclear Physics, 533, Erice.
- Wiley, J., Knoll, F. G., 1996. Radiation Detection and Measurement-Second-Edition. 754, Newyork.
- Yin, W. Yu,Q.Z. Liang,T.J. Chen, Y.X.,2008. Shielding Design for CSNS Experimental System 1st Workshop on Accelerator Radiation Induced Activation, Paul Scherrer Institut, Switzerland.
- Yaramış, B. ,1985. Nükleer Fizik. İTÜ Fen Edebiyat Fakültesi, 257, İstanbul.
- Yeniçay, F.,1964. Çekirdek Fiziği. İstanbul Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, 301 İstanbul.
- Yüksel Özemre, A. Bayülken, A. Gençay, Ş. , 2005. "50 soruda" Türkiye'nin Nükleer Enerji Sorunu Nükleer Teknoloji Bilgi Platformu, <http://www.nukte.org/radyasyonedir> (20.04.2010).
- Yülek, C. G. , 1994" Nükleer Enerji ve Çevre Sek", Semih Ofset, Ankara. [http://www.Nükleer Enerji \(Nuclear Energy\).mht](http://www.Nükleer Enerji (Nuclear Energy).mht) (04.01.2010).
- Yücel, H. , Karadağ, M. 2004. Experimental determination of the a-shape factor in the  $1/E^{1+\alpha}$  epithermal-isotopic neutron source-spectrum by dual monitor method. Annals of Nuclear Energy, 31, 681–695.
- Yıldırım, G. , 2009. Bazı Amfoter Grubu Hedef Çekirdeklerinin Proton Giriş Reaksiyonlarında Üretilen Nötronların Reaksiyon Tesir Kesitlerinin ve Yayınlanma Spektrumlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

## ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 1996 yılında Atatürk Üniversitesi Kâzım Karabekir Eğitim Fakültesi Fizik Bölümüne girdi. 2000 yılında mezun oldu. Aynı yıl Milli Eğitim bünyesinde öğretmenliğe başladı. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği dalında yüksek lisansa başladı. Halen Erzurum'da öğretmenlik görevine devam etmektedir.