

**$^{141}\text{Pr}(x,n)\text{Y}$  REAKSİYONLARINDA TOPLAM TESİR  
KESİTİNİN TALYS 1.2 BİLGİSAYAR KODU İLE  
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Muhammed Vehbi PEKTAŞ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

FİZİK ANABİLİM DALI

Haziran 2012

Bu tez çalışması 10.REK.01 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS**

**$^{141}\text{Pr}(x,n)\text{Y}$  REAKSİYONLARINDA TOPLAM TESİR KESİTİNİN  
TALYS 1.2 BİLGİSAYAR KODU İLE İNCELENMESİ**

**Muhammed Vehbi PEKTAŞ**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Haziran 2012**

## TEZ ONAY SAYFASI

Muhammed Vehbi PEKTAŞ tarafından hazırlanan “<sup>141</sup>Pr(x,n)Y Reaksiyonlarında Toplam Tesir Kesitinin TALYS 1.2 Bilgisayar Kodu İle İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 08/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** :Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

**Başkan** :Doç. Dr. Abdullah KAPLAN  
Süleyman Demirel Üni.Fen Edebiyat Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL  
Afyon Kocatepe Üni. Fen Edebiyat Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM  
Afyon Kocatepe Üni. Fen Edebiyat Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### $^{141}\text{Pr}(x,n)\text{Y}$ REAKSİYONLARINDA TOPLAM TESİR KESİTİNİN TALYS 1.2 BİLGİSAYAR KODU İLE İNCELENMESİ

Muhammed Vehbi PEKTAŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

Bu araştırmada  $^{141}\text{Pr}$  çekirdeği üzerine farklı hafif parçacıkların gönderilmesiyle oluşacak nükleer reaksiyonların tesir kesitlerinin TALYS 1.2 bilgisayar kodu kullanılarak teorik hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen teorik hesaplamalar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Ulaşılabilen benzer çalışmalarla kıyaslama yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda deneysel verilerle, teorik hesaplamaların bir uyum içerisinde oldukları görülmüştür.

**2012, viii + 46 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Presodmiyum-141, Reaksiyon Tesir Kesit, TALYS 1.2, Nötron

## ABSTRACT

M.Sc Thesis

### INVESTIGATION OF $^{141}\text{Pr}(x,n)\text{Y}$ REACTION CROSS SECTION WITH TALYS 1.2 CODE

Muhammed Vehbi PEKTAŞ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

**Supervisor:** Asoc. Prof. Dr. Hüseyin Ali YALIM

In this research, investigation of the reaction cross section of  $^{141}\text{Pr}$  nucleus were done using different light particles with TALYS 1.2 nuclear reaction program. Theoretically evaluated reaction cross sections have been compared with the experimental values. Theoretical reaction cross sections are in good agreement with the results in literature .

**2012, viii + 46 pages**

**Key Words:** Presodmium-141, Reaction Cross Section, TALYS 1.2, Neutron

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Muhammed Vehbi PEKTAŞ  
AFYONKARAHİSAR, 2012

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	5
2.1 Reaksiyon Tesir Kesiti.....	5
2.1.1 Tesir Kesitin Fiziksel Anlamı.....	8
2.1.2 Tesir Kesit Tipleri.....	9
2.1.3 Saçılma ve Reaksiyon için Tesir Kesit Kavramı .....	10
2.1.4 Tesir Kesitin Sayısal Anlamı.....	13
2.1.5 Yüklü Bir Parçacığın Esnek Saçılması ve Tesir Kesit .....	13
2.1.6 Diferansiyel Tesir Kesit.....	16
2.1.7 Rutherford Diferansiyel Tesir Kesiti .....	18
3. MATERYAL VE METOT .....	20
3.1 Hesaplama Yöntemi.....	20
3.1.1 TALYS 1.2 .....	20
3.1.2 Örnek Girdi Dosyası.....	21
3.1.3 Örnek Çıktı Dosyası .....	24
3.2 Ürünler .....	26

3.2.1	Nötronun Özellikleri.....	26
3.2.2	Neodmiyum .....	28
3.2.3	Presodmiyum .....	30
3.2.4	Prometyum .....	31
4.	HESAPLANAN REAKSİYON TESİR KESİTLERİ .....	32
4.1	$^{141}\text{Pr}(\alpha,n)^{144}\text{Pm}$ .....	32
4.2	$^{141}\text{Pr}(\gamma,n)^{140}\text{Pr}$ .....	34
4.3	$^{141}\text{Pr}(p,n)^{141}\text{Nd}$ .....	35
4.4	$^{141}\text{Pr}(n,n)^{141}\text{Pr}$ .....	36
4.5	$^{141}\text{Pr}(d,n)^{142}\text{Nd}$ .....	37
4.6	$^{141}\text{Pr}(t,n)^{143}\text{Nd}$ .....	38
4.7	$^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)^{143}\text{Pm}$ .....	39
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ .....	40
5.1	$^{141}\text{Pr}(\alpha,n)$ Reaksiyonu .....	40
5.2	$^{141}\text{Pr}(\gamma,n)$ Reaksiyonu.....	40
5.3	$^{141}\text{Pr}(p,n)$ Reaksiyonu .....	41
5.4	$^{141}\text{Pr}(n,n)$ Reaksiyonu .....	41
5.5	$^{141}\text{Pr}(d,n)$ Reaksiyonu .....	41
5.6	$^{141}\text{Pr}(t,n)$ Reaksiyonu .....	42
5.7	$^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)$ Reaksiyonu .....	42
	KAYNAKLAR.....	43
	ÖZGEÇMİŞ.....	47



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$\pi$	Pi
$\gamma$	Gama ışını
$\alpha$	Alfa ( $^4\text{He}$ )
d	döteron
t	triton
n	nötron
$\sigma$	Reaksiyon tesir kesiti
$\rho$	Yoğunluk
j	Akı
I	Şiddet
L	Luminositi
K	Kelvin
A	Atomik kütle numarası
b	Vurma parametresi
Pr	Presodmiyum
Nd	Neodmiyum
Pm	Prometyum
Z	Çekirdeğin proton sayısı

### Kısaltmalar

---

fm	femtometre
nm	nanometre
pm	pikometre
cm	santimetre
m	metre
C	Coulomb
eV	Elektron volt
MeV	Mega elektron volt ( $10^6$ eV)
sr	Steradyan
U-235	Uranyum-235
a.k.b.	Atomik kütle birimi
s	saniye
d	dakika
y	yıl

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1 (a) $1 \text{ cm}^2$ alan içerisinde parçacık-hedef çarpışması. (b) Hızları $v$ olan parçacıkların hareketi. (c) Hızları $v$ olan parçacıkların $1 \text{ sn}$ 'de kat edecekleri yol $v \text{ cm}$ kadardır. (d) $1 \text{ cm}^3$ hacimde, her bir hedefin alanı $\sigma$ olacak şekilde parçacık-hedef çekirdek etkileşimi.....	6
Şekil 2.2 Rastgele hareketli parçacıklar .....	7
Şekil 2.3 Nükleer reaksiyon öncesi durum.....	10
Şekil 2.4 Yüklü bir parçacığın atomdan (Rutherford) saçılması.....	14
Şekil 2.5 Saçılma açısı .....	16
Şekil 2.6 Katı Açık kutupsal saçılma açısında bir artışa karşılık gelir.....	17
Şekil 2.7 Diferansiyel alan (b ile db arasında) .....	19
Şekil 3.1 Örnek Girdi Dosyası .....	23
Şekil 3.2 Hesaplama sonucu oluşturulan dosyalar .....	24
Şekil 3.3 Örnek Çıktı Dosyası 1 .....	25
Şekil 3.4 Örnek Çıktı Dosyası 2 .....	25
Şekil 4.1 $^{141}\text{Pr}(\alpha, n)^{144}\text{Pm}$ reaksiyonu için tesir kesit .....	33
Şekil 4.2 $^{141}\text{Pr}(\gamma, n)^{140}\text{Pr}$ reaksiyonu için tesir kesit .....	34
Şekil 4.3 $^{141}\text{Pr}(p, n)^{141}\text{Nd}$ reaksiyonu için tesir kesit.....	35
Şekil 4.4 $^{141}\text{Pr}(n, n)^{141}\text{Pr}$ reaksiyonu için tesir kesit .....	36
Şekil 4.5 $^{141}\text{Pr}(d, n)^{142}\text{Nd}$ reaksiyonu için tesir kesit.....	37
Şekil 4.6 $^{141}\text{Pr}(t, n)^{143}\text{Nd}$ reaksiyonu için tesir kesit .....	38
Şekil 4.7 $^{141}\text{Pr}(^3\text{He}, n)^{143}\text{Pm}$ reaksiyonu için tesir kesit .....	39

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 3.1</b> Hafif parçacıkların özellikleri .....	22
<b>Çizelge 3.2</b> <sup>144</sup> Pm, <sup>143</sup> Pm, <sup>140</sup> Pr, <sup>141</sup> Pr, <sup>141</sup> Nd, <sup>142</sup> Nd, <sup>143</sup> Nd izotoplarının yarı ömür ve Q- değerleri.....	26
<b>Çizelge 3.3</b> Nötronun Özellikleri .....	27
<b>Çizelge 3.4</b> Neodmiyum un özellikleri.....	28
<b>Çizelge 3.5</b> Presodmiyum un özellikleri .....	30
<b>Çizelge 3.6</b> Prometyumun özellikleri.....	31

## 1. GİRİŞ

Nükleer fizikteki çalışmalar, Henri Becquerel'in 1896'da uranyumun fotografik plaka üzerine iz bırakmasını gözlemlediği olayla başlar. Onun ardından bay ve bayan Curie'lerle birlikte Ernest Rutherford'un radyoaktivite ile ilgili keşifleriyle devam eder (Martin 2006).

Bu çalışmalardan çok daha sonra her elementin kendisiyle aynı elektriksel yüke sahip ancak farklı kütlelerdeki izotoplarının keşfi ile ilgili çalışmalar yapıldı. Bazı izotopların, çekirdeklerin kendi kendine bozunmaları sonucu, bazılarının da yapay olarak nükleer reaksiyonlar oluşturulmasıyla ortaya çıktığı görülünce nükleer fizik çalışmalarına hız verildi. Rutherford'un meşhur, radyoaktif bir kaynaktan çıkan alfa parçacıklarını kullanarak gerçekleştirdiği ilk nükleer reaksiyondan sonra nükleer fiziğin yıldızı daha da parladı (Dağ 2009). Bunun sebebi, artık insanlık yararına kullanılacak, amaca yönelik radyoizotop üretiminin yapılabilmesi ve bu bağlamda teknolojinin hızla ilerlemesiydi.

Tıbbi fizik alanında bir çok hastalığın teşhis ve tedavisinde, bir çok organın fonksiyonel bozukluklarının tespitinde, askeri sahada kullanılan bazı araç gereçlerin üretim aşamalarında, tahribatsız test yöntemleri ile doğal gaz boruları ve su boruları gibi yoğun basınca maruz kalan demir boruların çatlak ve sızıntı tespitinde, uçak, tank, helikopter gibi ağır metal parçalar barındıran mekanik cihazların tahribatsız hasar tetkiklerinde, kimya endüstrisi, reaktör zırhlanması, yaş tayini, ilaç sanayi, atomların yapısı, astro fizik alanında yıldızların ve güneş sistemlerinin araştırılmasında, elementlerin özelliklerinin tespiti gibi çeşitli alanlarda ihtiyaç duyulan radyoizotopların üretimi ve bunun gibi farklı amaçlar için kullanılan izotopların üretimi için nükleer reaksiyonlar gereklidir. Bu nükleer reaksiyonların gerçekleşme şartlarını önceden tahmin ve tahlil hem maddi anlamda bizlere avantaj sağlayacaktır hem de fiziksel anlamda daha az riske maruz kalmamızı sağlayacaktır. Bundan dolayı fizikte her zaman, herhangi bir reaksiyonun, hangi enerji aralığında olabileceği yargısına varmak önemlidir. Hangi enerji aralığında gerçekleşebileceği ihtimalinin tespiti için kullanılan ifade "tesir kesit" kavramıdır. Basit anlamda tesir kesiti; herhangi bir nükleer

reaksiyonun gerçekleşme ihtimali hakkında bizlere bilgi veren niceliktir.

Yüklü iki parçacığın birbirlerine yaklaşırken aralarındaki etkileşim yasasına göre (Coulomb) herhangi bir atom ve bu atoma yaklaşan parçacık arasında elektriksel bir etkileşim olacaktır. Bu itme veya çekmelere rağmen parçacık, hedef çekirdekle elastik çarpışmaya maruz kalabilir, bununla birlikte inelastik çarpışma da gerçekleşebilir. İşte bu etmenler altında belirli bir alanda bulunan atom çekirdekleri üzerine giden parçacıkların atom çekirdekleriyle çarpışarak bir reaksiyon meydana getirmesi olasılığı hedef çekirdeğin atom numarasına, gönderilen parçacığın enerjisine ve türene bağlı olarak değişebilir. Bu değişikliklerin tam olarak saptanarak istenilen parçacık ya da izotopun üretilmesi elbette ki her durum için fayda sağlayacaktır. Bu saptamanın maliyetinin en düşük olduğu yöntem teorik olarak tesir kesitinin hesaplanmasıdır. Bu hesaplar gerekli olan ortamın oluşturulması ve bu ön bilgilerle, yapılan çalışmanın verimliliğine artı katacaktır. Tesir kesitinin teorik hesaplanması amacıyla günümüzde birçok bilgisayar simülasyon programları geliştirilmektedir. Geliştirilen bu programların hassasiyet ve geçerliliğinin tespiti ve buna benzer çalışmaların yapılması için, daha sağlıklı sonuçlar alınabilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada da, bu sahada önemli bir yer tutan TALYS 1.2 reaksiyon simülasyon programıyla reaksiyon tesir kesiti hesaplanmıştır.

Nükleer reaksiyon tesir kesit elde edilmesinde çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan en bilineni deneysel yöntemlerle elde edilen reaksiyon tesir kesit ölçümleridir. Diğer bir yöntem ise teorik hesaplamalarla elde edilen reaksiyon tesir kesit hesaplamalarıdır. Deneysel yöntemlerle elde edilmiş reaksiyon tesir kesit hesaplamaları dünya üzerinde yapılan çeşitli çalışmalardan oluşmaktadır ve bu çalışmalar çevrimiçi olarak veri tabanlarında barındırılmaktadır. Bazı veri tabanları; Çin Nükleer Veri Değerlendirme Kütüphanesi (CENDL-2), Japon Nükleer Veri Değerlendirme Kütüphanesi: (JENDL-3), Avrupa Ortak Veri Dosyası (JEFF-2), Birleşik Devletler Nükleer Veri Değerlendirme Kütüphanesi (ENDF/B-V1) ve Rusya Kütüphanesi (BROND-2) şeklinde gösterilebilir. Ayrıca Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) da nötron tesir kesiti ölçüm ve değerlendirmelerini raporlar halinde yayımladıkları gibi bir çok bilim adamlarının çalışmalarını da EXFOR kütüphanesinde yayımlamaktadır.

Bu çalışmada  $^{141}\text{Pr}(\gamma,n)$  ,  $^{141}\text{Pr}(n,n)$  ,  $^{141}\text{Pr}(p,n)$  ,  $^{141}\text{Pr}(d,n)$  ,  $^{141}\text{Pr}(t,n)$  ,  $^{141}\text{Pr}(\alpha,n)$  ,  $^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)$  reaksiyonlarının nükleer tesir kesitleri hesaplanmıştır. Bu reaksiyonlardan daha önceden deneysel olarak ölçülmüş olan  $^{141}\text{Pr}(\gamma,n)$  ,  $^{141}\text{Pr}(\alpha,n)$  ,  $^{141}\text{Pr}(p,n)$  reaksiyonlarına ait veriler hesaplanan değerler ile karşılaştırılmış, ancak deneysel olarak ölçülmemiş olan reaksiyonlara ait tesir kesitleri deneysel verilerle karşılaştırılamamıştır. İncelenmiş olan reaksiyonlardaki hafif parçacıkların gelme enerjileri her reaksiyon için farklılık gösterse de genel olarak 1-45 MeV aralığında alınmıştır. Hesaplamalar TALYS 1.2 nükleer reaksiyon programı ile uygun parametreler kullanılarak yapılmıştır. Deneysel veriler Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun (IAEA) EXFOR kütüphanesinden alınmıştır.

Ayrıca, incelenen tüm reaksiyonlar için gerçekleştirilen literatür taramasında elde edilen çalışmalar incelenmiştir. Literatür taramasında belirli bir hedefe  $\alpha\text{-}\gamma\text{-p-n-d-t-}^3\text{He}$  kullanılarak nötron çıkışıyla elde edilen reaksiyonları içinde barındıran tek bir çalışma elde edilememiştir. Ancak, her bir hafif parçacık için gerçekleştirilen reaksiyonlar için yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan  $(\gamma,n)$  reaksiyonu ile ilgili, Sund vd. (1970)'un yaptığı çalışmada  $^{141}\text{Pr}(\gamma,n)^{140}\text{Pr}$  için reaksiyon tesir kesit ölçümleri yapmışlardır. Bununla ilgili diğer bir çalışma ise, Berman vd. (1987)'nin yapmış olduğu çalışmadır. Bu çalışmada ise, tek enerji değerine sahip gama enerjileriyle ölçümler yapılarak  $^{141}\text{Pr}(\gamma,n)$  için reaksiyon tesir kesitleri belirlenmiştir. Bianco ve Stephens (1961) ise aynı şekilde  $^{140}\text{Pr}$  üretimi için  $^{141}\text{Pr}$  çekirdeği üzerine  $\gamma$  ışınları göndererek gerçekleştirdikleri reaksiyonların tesir kesitlerini ölçmüşlerdir.  $^{141}\text{Pr}(\gamma,n)$  reaksiyonuna benzer olarak yapılmış olan bir çalışma ise  $^{100}\text{Mo}(\gamma,n)^{99}\text{Mo}$  reaksiyonu için tesir kesiti çalışmasında beklenmedik bir biçimde 12,5 MeV enerji değerinde daha yüksek tesir kesiti elde edildiği belirtilmiş bunun nedeni olarak ise Gaint Dipole Resonance etkisi gösterilmiştir (Crasta *et al.* 2011). Ayrıca, çalışmada deneysel ölçümlerin yanı sıra teorik olarak TALYS 1.2 programı ile hesaplamalarla kıyaslamalar yapılmıştır.  $(\alpha,n)$  reaksiyonu ile yapılmış olan çalışmalardan birisi Ansari vd. (2005)'nin yapmış oldukları ve Sauerwein vd. (2011)'nin yapmış oldukları  $^{141}\text{Pr}(\alpha,n)$  reaksiyonları için reaksiyon tesir kesit ölçümleridir. Bunun dışında farklı elementler için yapılmış olan birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan biri ise Uddin vd. (2010) tarafından yapılmış olan iki

farklı çalışma olarak  $^{192}\text{Os}(\alpha,n)$  ve  $^{123}\text{Sb}(\alpha,n)$  reaksiyonlarında deneysel ölçümlerin yanı sıra TALYS 1.2 bilgisayar kodlarıyla teorik hesaplamaların yapıldığı belirtilmiştir.  $^{141}\text{Pr}(p,n)$  reaksiyonu için Gritsyna vd. (1963), Hilgers vd. (2007) ve Steyn vd. (2006)'nin yaptıkları çalışmalarda  $^{139}\text{Pr}$  üretimi için gerekli olan uygun proton enerjileri takip edilmiştir. Aynı zamanda, Aslam vd. (2011),  $^{77}\text{Se}$  ve  $^{76}\text{Se}$  için  $(p,n)$  reaksiyonlarında ölçümler yapılmıştır. Khandaker vd. (2009)'in yaptığı çalışmada ise doğal  $^{124}\text{Sb}$  reaksiyon tesir kesit ölçümleri ve TALYS 1.2 ile hesaplamalara yer verilmiştir. Sadeghi vd. (2008)'nin  $^{68}\text{Zn}(p,n)$  reaksiyonu için yaptıkları çalışmada benzer çalışmaların TALYS ile elde edilen teorik hesaplamaların uyumluluk gösterdiği belirtilmiştir.  $^{141}\text{Pr}(d,n)$  reaksiyonuna ait çalışma elde edilememiştir fakat benzer olarak  $^{167}\text{Er}(d,n)$  reaksiyonu için Hermanne vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada reaksiyon tesir kesit ölçümü yapılmıştır. Bu konuda diğer bir çalışma da ise Blideanu vd. (2011) tarafından  $^{56}\text{Fe}(d,n)$  için ölçülen reaksiyon tesir kesit bilgileri yer almaktadır. TALYS 1.2 kodu ile hesaplanan teorik değerlerle karşılaştırma yapılmıştır. Bunların dışında  $(y,xn)$  gibi reaksiyonlarla yapılmış bir çok çalışma incelenmiştir.

Tezin birinci bölümünde, reaksiyon tesir kesiti kavramının detayları, matematiksel hesaplamaları ve fiziksel anlamı hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, hesaplamaları yapmak için kullanılan TALYS 1.2 nükleer reaksiyon programı hakkında bilgi verildi ve reaksiyonlar sonucunda meydana gelen ürünler hakkında, bu ürünlerin kullanım alanlarıyla ilgili bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde de, TALYS 1.2 programıyla hazırlanmış teorik hesaplamalar ve bunların sonucunda elde edilmiş grafikler ve yorumlar yer almaktadır. Son bölümde ise, yapılan çalışmalar tartışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Reaksiyon Tesir Kesiti

Nükleer reaksiyon tesir kesiti kavramını açıklamaya başlamadan önce atomlar arası ve atom içerisindeki boşluklardan bahsetmemiz gerekir. Böylece bu geniş boşluk içerisinde parçacıkların çarpışmaları hakkında daha kolay bilgi edinebiliriz. Atomlar arasında bulunan bu büyük boşluğun değeri yaklaşık  $10^{-10}$  metre ve nükleer boyutta da  $10^{-15}$  metre mertebelerindedir. Bu nükleer ölçülerde hesaplama yapmak için farklı bir yol uygulamak daha uygun olacaktır.

Etkin tesir kesiti olarak adlandırılan belirli bir alan hesabı yapacağız. Eğer yarıçapı belirlemek istersek bunu yaklaşık olarak küresel kabul edilen çekirdek için  $s = \pi r^2$  'den bulabiliriz.

Nükleer reaksiyon tesir kesiti hesabını yapmak için; ince bir parça materyal içerisinde geçen yüksek enerjili parçacık demeti ile geçemeyen parçacıkları gözlemleyebiliriz. Bu yüksek enerjili parçacıklar ince bir elektron bulutu içerisinde geçecektir ancak bu parçacıklar eğer ağır bir çekirdeğe çarparsa durdurulacak veya saptırılacaktır.

Bir santimetre kare kesit alanı olan bir parça materyal aldığımızı düşünelim. Bu parçada yaklaşık  $10^8$  kadar atomik katman bulunmaktadır. Fakat çekirdek başka bir parçacığın çarpma ihtimali az olacak kadar çok çok küçük boyutlarda olacaktır (Feynman 1964).

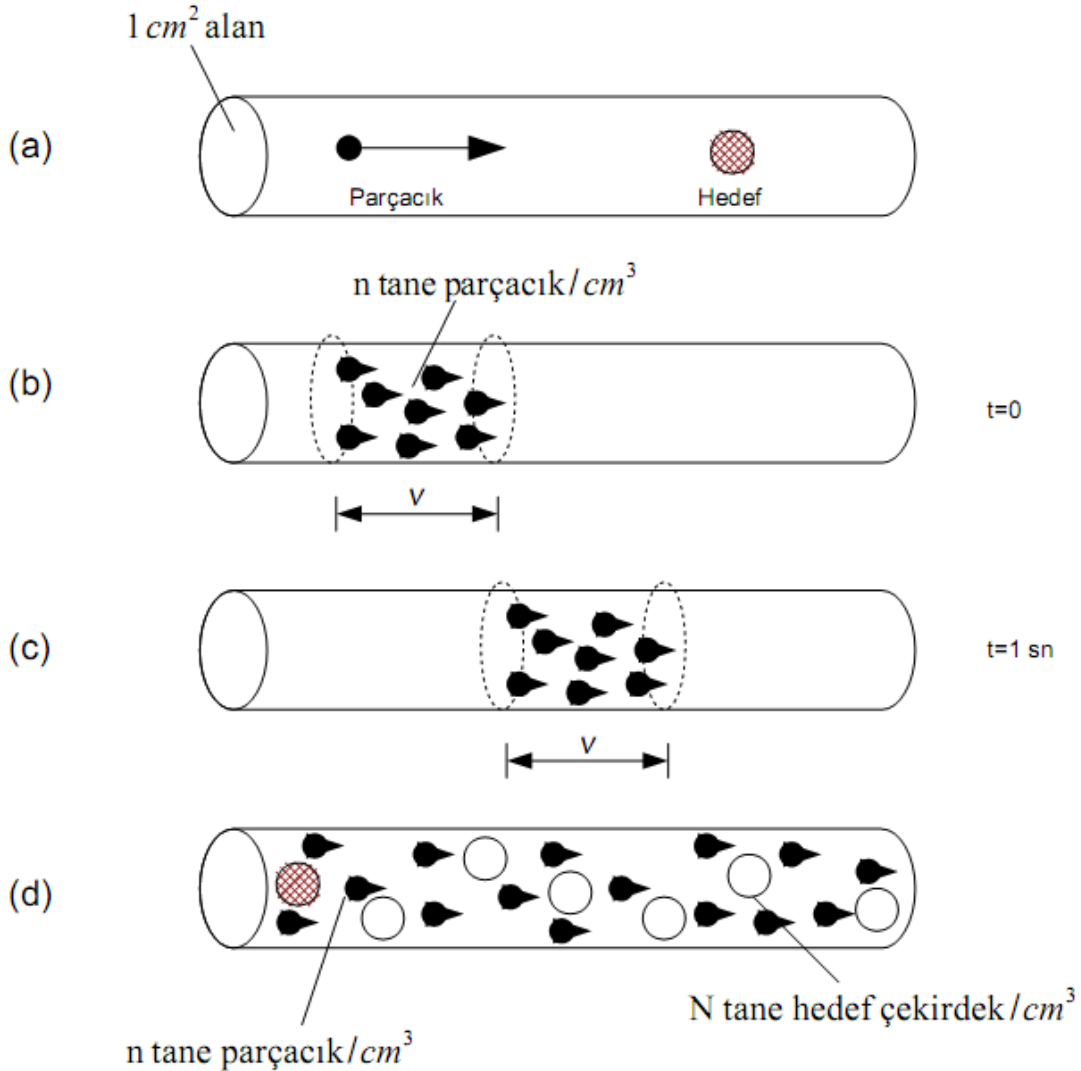
İki parçacık birbirlerine yaklaştıklarında ikisinin ortak etkileri aralarındaki kuvvetten kaynaklanmaktadır. Yüklü iki parçacık Coulomb yasasına uyar ve aşağıdaki bağıntı ile belirtilir;

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (2.1)$$

Burada;  $q_1$  ve  $q_2$  yük miktarını,  $r$  ise yüklü parçacıkların merkezleri arası mesafedir. Parçacıklar ne kadar uzak olursa olsunlar biraz etki mutlaka olacaktır. Fakat elektrik

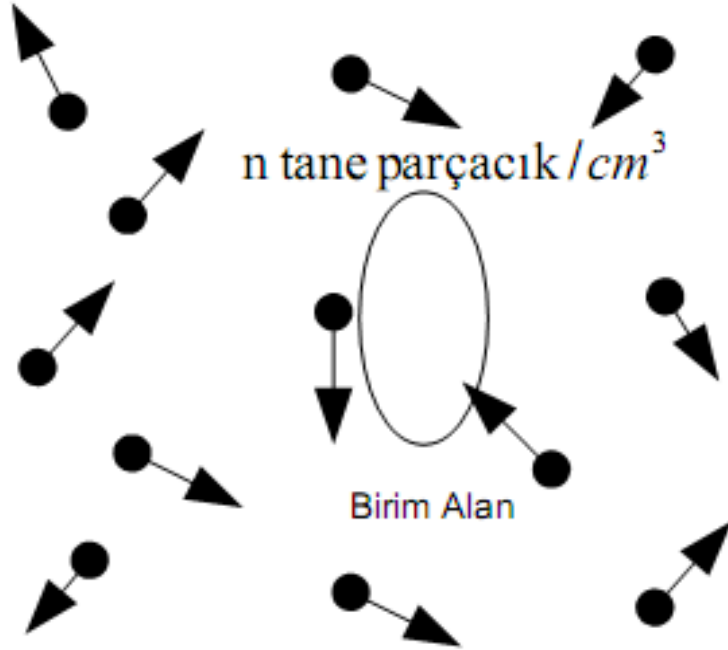


olarak nötr olan iki atom birbirlerine iyice yaklaşıncaya kadar etkileşme olamayacaktır ( $10^{-10}$  metre). Aralarındaki özel kuvvet ise sınırlıdır ( $10^{-15}$  metre). Çekirdek görülememesine rağmen, kesin bir yarıçapı olan bir küre şeklinde düşünülebilir ve varsayımda bulunulabilir. Başka bir çekirdek veya foton, gama ışını gibi elektromanyetik özelliğe sahip dalga parçacık özelliği gösteren parçacıklar yardımıyla bu yarıçap hakkında tahminde bulunmak mümkündür. Fakat yarıçap hakkında edinebileceğimiz cevap, hedefe gönderilen parçacık olarak kullanılan parçacığa ve onun hızına göre değişiklik gösterebilir. Belirli bir reaksiyon için yarıçapı ve tesir kesit alanı belirlemek gereklidir. Çünkü bu, çarpışma olasılığını hesaplamada yardımcı olacaktır.



**Şekil 2.1** (a)  $1 \text{ cm}^2$  alan içerisinde parçacık-hedef çarpışması. (b) Hızları  $v$  olan parçacıkların hareketi. (c) Hızları  $v$  olan parçacıkların  $1 \text{ sn}$ 'de kat edecekleri yol  $v \text{ cm}$  kadardır. (d)  $1 \text{ cm}^3$  hacimde, her bir hedefin alanı  $\sigma$  olacak şekilde parçacık-hedef çekirdek etkileşimi.

Tesir kesit fikrini daha iyi açıklayabilmek için hayali bir deney düşünebiliriz. Şekil 2.1.(a) 'da olduğu gibi  $1 \text{ cm}^2$  alana sahip bir tüp içerisinde sadece bir hedef düşünelim. Tek bir parçacık tüp eksenine paralel olacak şekilde hedefe doğru gitmektedir. Ancak bu parçacığın tam ve kesin bir pozisyonu bilinmemektedir. Hedefin alanının tüpün kesit alanına oranı olan çarpışma olasılığı  $\sigma$  şeklinde gösterilir ve mikroskobik tesir kesiti kavramı ile adlandırılır. Şimdi Şekil 2.1.(b) 'de olduğu gibi hızları  $v$  olan bir parçacık demetini boş tüp içerisine gönderelim. Bir saniyede her parçacık  $v$  cm kadar yol alacaktır. Eğer  $1 \text{ cm}^3$  başına  $n$  tane parçacık varsa, birim zaman başına parçacık sayısına karşın birim alan akı yönüne  $nv$  diktir ve akım yoğunluğu denir. Son olarak Şekil 2.1.(c)'de her bir hedefin alanı  $\sigma$  olacak şekilde her birim hacmi  $N$  tane hedef ile doldururuz. Birim hacme odaklanacak olursak, toplam hedef alanını  $N\sigma$  olarak görürüz. Tekrar parçacıkları göndeririz, bir saniyede hedef hacme geçen parçacık sayısı  $nv$  dir. Bir parçacığın bir hedefe çarpma ihtimali  $\sigma$  ve çarpışma sayısı  $nvN\sigma$  'dır (Murray 2000).



Şekil 2.2 Rastgele hareketli parçacıklar

### 2.1.1 Tesir Kesitin Fiziksel Anlamı

Saçılma reaksiyonları için, tesir kesit hesabı uygun bir gözlem olacaktır. Klasik saçılma deneyi için bir demet parçacığın hedef bir parçayla çarpışmasına izin verilir ve son durumda üretilen çeşitli parçacıkların oranı sayılır. Bu oran; (a) demetin aydınlattığı hedefteki parçacık sayısı (N) ile (b) küçük bir yüzeyde konumlu hedefe göre sabit demet içinde ve demet yönüne dik parçacıkların karışımı ve birim alan başına düşen oranla orantılıdır ve akı olarak adlandırılır;

$$J = n_b V_i \quad (2.2)$$

Burada  $n_b$  demet içerisinde parçacık yoğunluğu sayısını ve  $V_i$  de onların hızlarını göstermektedir.

Belirli bir deneyde, “r” kadar reaksiyon gerçekleşme oranı; “ $W_r$ ” aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$W_r = J N \sigma_r \quad (2.3)$$

bu denklemde  $\sigma_r$  orantı sabitidir ve r reaksiyonu için tesir kesiti olarak adlandırılır. Eğer demet S alanına sahip olsa şiddeti;  $I=J S$  ve bağıntı;

$$W_r = \frac{N \sigma_r I}{S} \quad (2.4)$$

olarak ifade edilebilir. Burada  $\frac{N}{S}$  birim alandaki parçacık sayısıdır ve  $n_x x$  ile tanımlanabilir.  $n_x$  birim hacim başına düşen hedef parçacık sayısını,  $x$  ise hedefin kalınlığını belirtmektedir. Burada birim hacim başına hedef parçacık sayısı;  $n_x = \frac{\rho N_A}{M_A}$  şeklinde tanımlanabilir.. Bağıntıdaki  $\rho$  hedefin yoğunluğu,  $M_A$  atom numarasını ve  $N_A$  Avogadro sabitini göstermektedir. Böylece;

$$W_r = \sigma_r I n_x x \quad (2.5)$$

olur.

Yukarıdaki denklemde görüldüğü gibi tesir kesiti alan boyutundadır. Nükleer reaksiyonda, hedef parçacık başına düşen akı oranına eşit miktarda gelen parçacıklar r kadar yüzey alan üzerine düşer. Tesir kesiti tüm referans sistemleri için aynıdır.

$\sigma_r$  niceliği daha anlamlı bir şekilde parçalı tesir kesiti diye adlandırılabilir. Çünkü belirli bir reaksiyon, r, için tesir kesitidir. Toplam tesir kesiti şöyle tanımlanabilir (Martin 2006).

$$\sigma \equiv \sum_r \sigma_r \quad (2.6)$$

Örneğin nötron gibi bir parçacık hedef bir parçacığa çarpsa, her çeşit reaksiyon için farklı farklı ihtimal vardır. En basiti esnek saçılma, nötronun çekirdekten zıplaması ve enerji değişimiyle yönünü değiştirerek hareket etmesi düşünülebilir. Bu gibi çarpışma, klasik fiziğin konusudur (Murray 2000). Esnek olmayan çarpışmalarda, ağır elementlerde hızlı nötronlar için önemli bir süreç nötronun çekirdeğin bir parçası olduğu süreçtir. Nötronun enerjisi çekirdeğin enerjisinin uyarılmasını sağlar ve nötron atılır. Nötronun saçılması sonucunda çarpışma olasılığı  $\sigma_s$  tesir kesitidir. Nötron tesir kesiti  $\sigma_a$  ile çekirdek tarafından soğrulabilir. Nasıl ki  $\sigma_a$  ve  $\sigma_s$  reaksiyon olasılığını ifade eder, toplamları da toplam tesir kesitini ifade eder (Murray 2000).

### 2.1.2 Tesir Kesit Tipleri

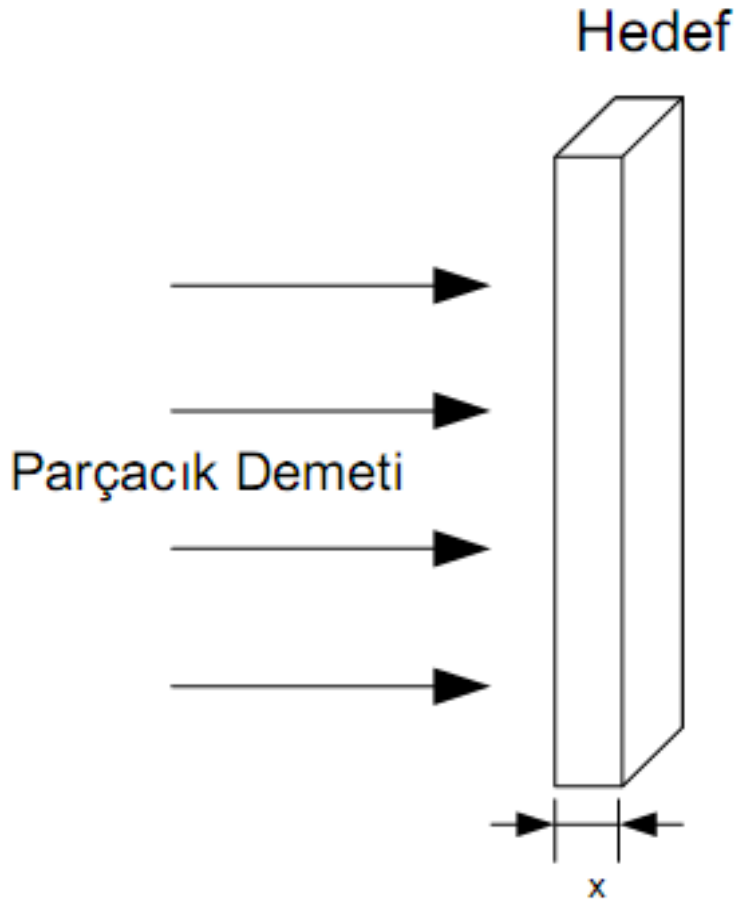
Reaksiyon tesir kesiti kavramının her fiziksel durum için farklı farklı ele alınması gereklidir. Bir reaksiyonda belirli olaylar dizisi sınırlanabilir. Bu durumda parçalı tesir kesit olarak  $\sigma_{\text{esnek}}$ ,  $\sigma_{\text{esnek olmayan}}$ ,  $\sigma_{\text{fisyon}}$ ,  $\sigma_{\text{müon üretimi}}$  ... şeklinde her fiziksel olay için farklı reaksiyon tesir kesiti tanımlanabilir. Bu farklı durumların her birinin ayrı ayrı toplanmasıyla elde edilen reaksiyon tesir kesitine de toplam tesir kesit denilmektedir.

Aynı zamanda bir reaksiyonda parçacıklar belirli bir açıyla saçılırlar. Bu parçacıklar

herhangi bir detektörün gözlem alanına girebilirler. İşte bu durumda da diferansiyel tesir kesit kavramı tanımlanır (Sober 2005).

### 2.1.3 Saçılma ve Reaksiyon için Tesir Kesit Kavramı

Saçılma ve reaksiyon tesir kesiti kavramlarını daha iyi tanımlayabilmek için konunun devamında kullanılan denklemlerde yer alan sembollerin açıklamaları aşağıda verilmiştir;



Şekil 2.3 Nükleer reaksiyon öncesi durum

$N_{gelen}$  = gelen parçacıkların sayısı

$N_{olay}$  = olay sayısı (demet-hedef etkileşimi)

$$n = \text{birim hacim başına düşen hedef atom sayısı} = \frac{\rho \cdot N_A}{A}$$

A = Hedefin kütle numarası

$\rho$  = Hedefin kütle yoğunluğu ( $\text{g/cm}^3$ )

x = Hedefin kalınlığı (cm)

$\rho x$  = Hedefin alansal yoğunluğu ( $\text{g/cm}^2$ )

$$n x = \text{Alan yoğunluğu (atom/cm}^2\text{)} = \frac{\rho \cdot N_A}{A}$$

Farz edelim ki (a) hedef parçacıkların ve gelen parçacıkların özellikleri etkileşme olasılığına bağlı olsun ve (b) hedef ince olsun, böylece sadece küçük bir gelen parçacık oranı etkileşime girer ve aşağıdaki değerlendirme kuralları uygulanması zorunludur;

1. Etkileşen parçacık sayısı, gelen parçacık sayısı ile orantılıdır.
2. Etkileşen parçacık sayısı, hedefin kalınlığı x ile orantılıdır.
3. Etkileşen parçacık sayısı, hedefin yoğunluğu  $\rho$  ile orantılıdır.

Şimdi aşağıdaki gibi yazarsak;

$$N_{olay} = (Sabit) \cdot N_{gelen} \cdot n \cdot x \cdot \sigma \quad (2.7)$$

Burada  $\sigma$  “etki” parametresidir, bu parametre gözlemlenen belirli bir olayın, hedefin ve gelen parçacıkların özelliğine bağlıdır. Sabiti 1 olarak düşünelim ve böylece;

$$N_{olay} = N_{gelen} \cdot n \cdot x (\text{atom/cm}^2) \cdot \sigma = N_{gelen} \frac{\rho (\text{g/cm}^3) \cdot x (\text{cm}) \cdot N_A (\text{atom/mol})}{A (\text{g/mol})} \quad (2.8)$$

Etki parametresi  $\sigma$ , alan boyutundadır, bundan dolayı onu “tesir kesiti” şeklinde söyleyebiliriz. Not olarak söylemeliyiz ki  $\sigma$  niceliği ile fiziksel bir alan sayamayız. Kuantum fizikte, böyle bir tanımlama mümkün değildir. Belirli bir işlem için tesir kesiti şöyle tanımlanabilir.

$$\sigma (\text{cm}^2) = \frac{N_{olay}}{N_{gelen} \cdot n \cdot x (\text{atom/cm}^2)} = \frac{N_{olay} \cdot A}{N_{gelen} \cdot \rho \cdot x \cdot N_A} \quad (2.9)$$

Teorisyenler tarafından kullanılan benzer bir denklem de;

$$\sigma(cm^2) = \frac{N_{olay}}{(Birim\ alanda\ gelen\ par\ \u00e7acik\ sayisi) \cdot (Hedef\ par\ \u00e7acik)} \quad (2.10)$$

Bu ifade gelen par\u00e7acıkların akısı, b\u00fct\u00fcn demetin her yerinde d\u00fczg\u00fcn olsaydı kullanışlı olabilirdi. Denklem 2.10 ‘dan elde edilen sonuçlarda reaksiyon tesir kesiti yaklaşık  $10^{-24}$   $cm^2$  civarında olmaktadır ve bu değer “ 1 barn” olarak nitelendirilir.

\u00d6nceden varsaydığımız gibi gelen par\u00e7acığın yaptığı hedef alanda hedef yoğunluğu ve kalınlık d\u00fczg\u00fcn olsa denklemin kullanımı daha kolay olurdu. Bundan dolayı tesir kesiti tanımının başka bir yolu ise “Luminositi” (ışıklılık) şeklinde adlandırılabilir.

$$Birim\ zamanda\ olay = L \cdot \sigma \quad (2.11)$$

Tesir kesitin boyutu alan olduğundan, Luminositi ( $alan^{-1}, zaman^{-1}$ )’dir. Luminositi demet \u00e7arpışmaları deneylerini tanımlamada kullanılır, aynı zamanda sabit hedef deneylerinde de uygulanabilir (Sober 2005).

$$L = \frac{gelen\ par\ \u00e7acik}{alan \cdot zaman} \cdot hedef\ par\ \u00e7acik = \frac{gelen\ par\ \u00e7acik}{zaman} \cdot \frac{hedef\ par\ \u00e7acik}{alan} \quad (2.12)$$

Bu durumda, diferansiyel tesir kesiti  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$  şöyle tanımlayabiliriz;

$$N_{katı\ a\u00e7ı\ i\u00e7inde\ olay} = N_{gelen} \cdot n \cdot \frac{d\sigma}{d\Omega} \cdot \Delta\Omega \quad (2.13)$$

$d\Omega = Sin\theta d\theta d\phi$  niceliği katı a\u00e7ıdır. Birimi steradyan (sr)’dır. Diferansiyel tesir kesiti  $\theta$  ve  $\phi$  a\u00e7ılarının fonksiyonudur. Denklem (2.13)’de  $d\sigma/d\Omega$  hissedilebilir derecede değişiklik göstermez, eğer olsaydı sağ taraf a\u00e7ısal kabul boyunca integral i\u00e7ermesi gerekirdi. Toplam tesir kesiti birden fazla anlama gelebilir. Bazen de her bir işlemin toplamı anlamına gelebilir.

#### 2.1.4 Tesir Kesitinin Sayısal Anlamı

Buraya kadar anlatmış olduğumuz tesir kesiti kavramını bazı hesaplamalarla somutlaştıralım.

Tipik bir nükleer reaktörde, yaklaşık 0,0253 eV enerji değerlerinde büyük oranda nötronlar hazırlansın. Bu enerji, oda sıcaklığında (293 K) gaz halinde bulunan nötronlar için en olası hız olan 2200 m/sn'ye karşılık gelir. Bu nötronların akısı  $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ .

Yoğunluk ;

$$n = \frac{\phi}{v} = \frac{2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ sn}^{-1}}{2.2 \cdot 10^5 \text{ cm /sn}} = 9 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-3} \quad (2.14)$$

Normal şartlarda çok büyük bir değer olmasına rağmen, 1 santimetre küpteki su molekülleri ( $3.3 \times 10^{22}$ ) sayısı ile karşılaştırıldığında fazlasıyla küçüktür. “Nötron gazı” reaktörde mükemmel bir şekilde vakumludur.

Şimdi, nötronlar reaktör içerisindeki U-235 yakıtıyla etkileşsin. Soğrulma tesir kesiti  $\sigma_a$   $681 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$  dir. Eğer uranyum atom yoğunluğu  $N=0.048 \times 10^{24} \text{ cm}^{-3}$  makroskobik tesir kesiti (Murray 2000);

$$\Sigma_a = N\sigma_a = (0.048 \times 10^{24} \text{ cm}^{-3})(681 \times 10^{-24} \text{ cm}^2) = 32.7 \text{ cm}^{-1} \quad (2.15)$$

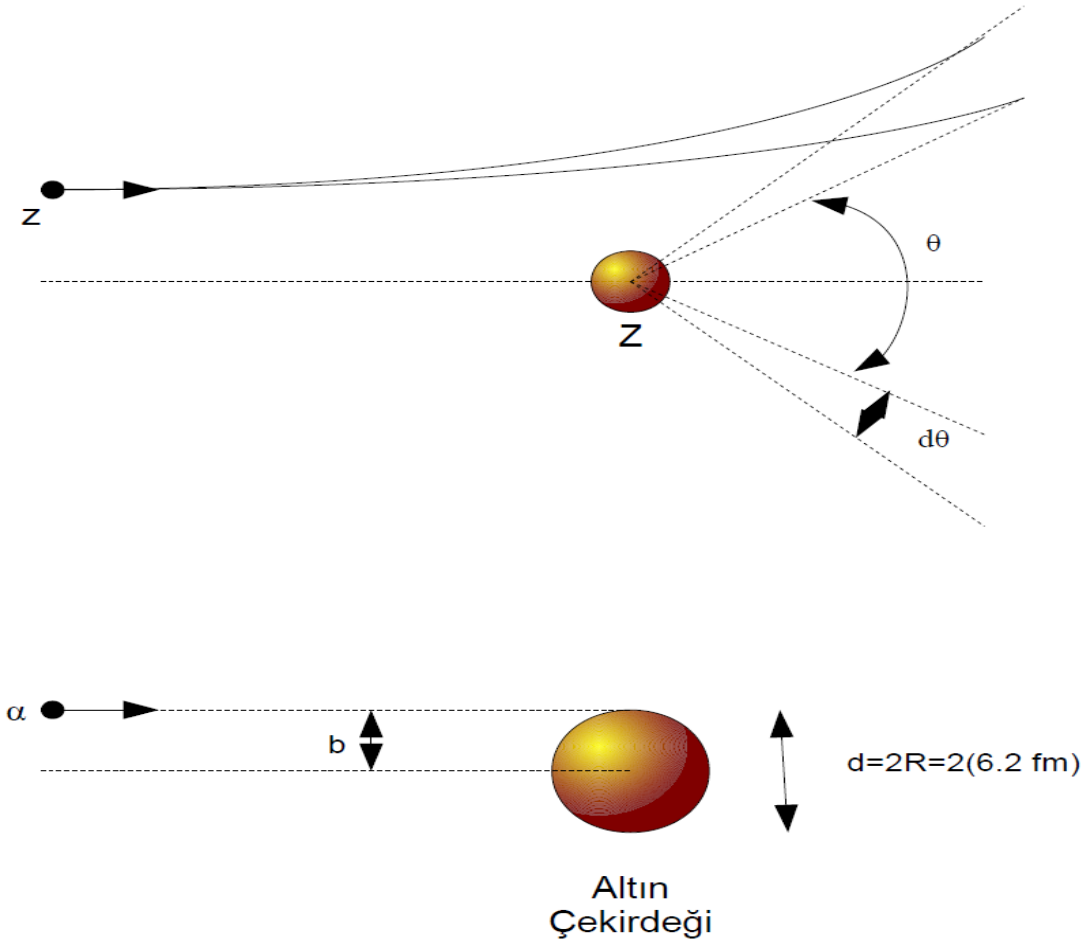
#### 2.1.5 Yüklü Bir Parçacığın Esnek Saçılması ve Tesir Kesit

Bir yüklü parçacığın madde içerisinden geçerken karşılaşabileceği önemli bir husus esnek saçılmanın olması durumudur. Prensipde esnek etkileşimin elektron bağlarında olmaması gerekir, çünkü elektron enerjisini hemen çekirdeğe aktarır ve çarpışmanın bütün atomla olan çarpışması incelenir. Atomun kütlesi ve yükü çekirdeğinde daha baskındır, bu gibi çarpışmalarda yüklü parçacık ve çekirdek arasında doğrudan çarpışma olarak düşünülür. Rutherford'un altın deneyi bu durumu en iyi açıklayan bir olaydır.



Örneğin, yüklü bir parçacık çekirdeğe çok yakın bir şekilde geçse (elektron dağılımının simetrik olduğu ve elektronik Coulomb kuvvetinin ihmal edildiğini farz edersek) bu yüklü parçacığın elektron bulutunun içinden geçerken, elektronlar etkiyi azaltır. Bu perdeleme etkisinden kaynaklandığından dolayı bu durumun incelenmesinde gelen parçacık tarafından oluşturulan toplam yükte bir düzeltme gerektirir. Bu toplam yüke etkili yük adı verilir ve daima çekirdeğin yükünden azdır  $Z_{eff} < Z$

Bu durumda yüklü bir parçacığın atomdan esnek saçılmasına izin verir.



Şekil 2.4 Yüklü bir parçacığın atomdan (Rutherford) saçılması

Esnek çarpışmalarda, Rutherford saçılması diye de bilinen durumlar, gelen parçacıkların

yönü ve enerjisi değişebilir. Bu tür etkileşim Coulomb kuvvetine bağlıdır ve aynı zamanda Coulomb saçılması diye de bilinir. Rutherford saçılma formülü; daha öncede tartışıldığı gibi tesir kesiti kavramındaki gibi açısal bükülüm olasılığını verir. Bir altın çekirdek için (A=197) Fermi modelde verildiği gibi yarıçap tahmini yapılabilir.

$$R = 1.07A^{1/3} = 6.2 \text{ fm} \quad (2.14)$$

Örneğin, kinetik enerjisi T=6 MeV olan yüklü bir parçacık altın çekirdeğinin yarıçapına eşit, b vurma parametresiyle altın çekirdeğine yaklaşmakta olsun. Denklem 2.15'e göre yaklaşık 161° lik açı ile saçılacaktır.

$$b = \frac{k(Ze)(ze)}{K \tan \frac{\theta}{2}} = \frac{k79e2e}{K \tan \frac{\theta}{2}} \quad \Rightarrow \quad \theta = 161^\circ \quad (2.15)$$

Tesir kesit alanı olarak;

$$\text{Alan: } \sigma = \pi r^2 = \pi (6.2 \times 10^{-15})^2 = 1.21 \times 10^{-28} \text{ m}^2 = 1.21 \text{ barn} \quad (2.16)$$

161 derecelik açı ile gerçekleşen saçılmanın tesir kesiti ~1.21 barn 'dır. Diferansiyel tesir kesiti  $\sigma(\theta)$  tek bir çekirdekte belirli bir açıyla saçılmaya uğrayan parçacıkların saçılma olasılığını verir. Bu da Rutherford saçılma formülünden;

$$\sigma(\theta) = \frac{k^2 Z^2 z^2 e^2}{M^2 V^4} \frac{1}{\sin^4 \left( \frac{\theta}{2} \right)} = \frac{k^2 Z^2 z^2 e^2}{4K^2} \frac{1}{\sin^4 \left( \frac{\theta}{2} \right)} \quad (2.17)$$

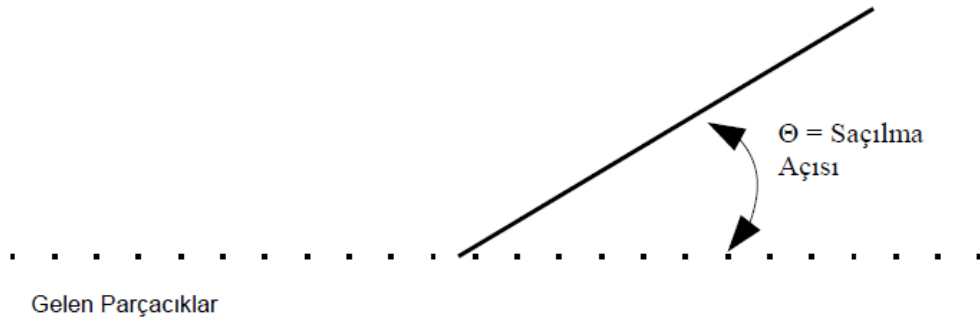
Burada  $T = \frac{MV^2}{2}$  gelen parçacıkların kinetik enerjisi ve yükü Ze olarak belirtilmiştir. Hedef çekirdeğin yükü ise ze şeklinde verilmiştir. Yukarıdaki bağıntı aşağıdaki durumlara işaret eder:

- Bükülme olasılığı hedef çekirdeğin ve gelen parçacığın yüklerinin karelerinin çarpımlarıyla orantılıdır. Bu daha ağır çekirdeklerde ya da daha hafif parçacıklarda daha büyük sapmalara neden olacaktır.

- Gelen parçacıkların enerjisi küçük olduğunda sapma açıları daha küçük olacaktır. Bunun sebebi açısal dağılımın gelen parçacıkların kinetik enerjisinin karesi ile ters olmasıdır.
- Daha küçük açılar daha yüksek olasılığa sahiptir. Bunun nedeni ise diferansiyel saçılma tesir kesiti saçılma açısının yarısının dördüncü kuvvetiyle ters orantılı olmasıdır (Jevremovic 2005).

### 2.1.6 Diferansiyel Tesir Kesit

Pratikte, saçılan bir parçacığın  $0^0$  ile  $180^0$  arasında  $\theta$  açısıyla saçılması beklenir.  $\Theta$  saçılma açısı Şekil 2.5’ de belirtilmiştir. Saçılma kuvveti hakkında edinilebilecek bilgi açığa bağlı saçılan parçacıkların fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir. Bu durumda yalnız  $\sigma$  bulunur.

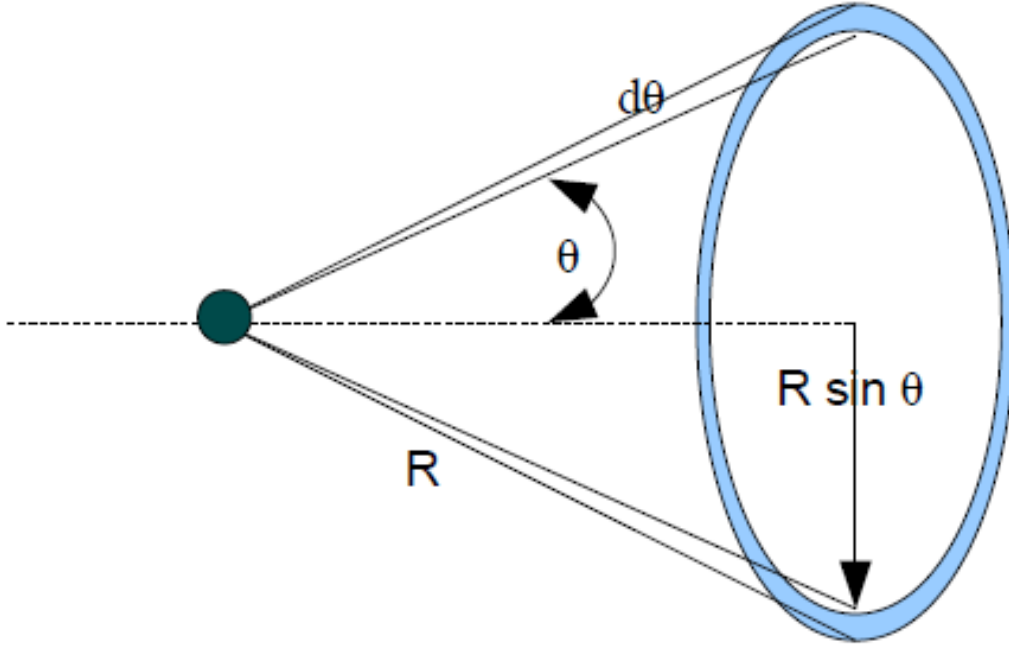


Şekil 2.5 Saçılma açısı

$\sigma$  ‘ yı üst üste gelmiş çok çok küçük alanlar şeklinde düşünebiliriz,  $d\sigma(\theta)$  ise

$$\sigma = \int d\sigma \quad (2.18)$$

toplam tesir kesitin bir parçası olarak yaklaşık  $\theta$  ile küçük açılarda saçılan parçacıkların saçılması gibi düşünebiliriz.



**Şekil 2.6** Katı Açı kutupsal saçılma açısında bir artışa karşılık gelir

Bunu birim katı açı başına saçılan parçacık olarak düşünmek daha uygun olacaktır. Yarıçapı R kadar olan küresel yüzeyin bir bölümü olan ve  $\theta$  ve  $\theta+d\theta$  açıları aralığında olan katı açı  $d\Omega$  şeklinde belirlenmektedir.

$d\Omega=dA/R^2$  şeklinde tanımlanmaktadır. Burada dA küre yüzeyindeki (Şekil 2.6) merkez  $\theta$  açısı ve  $\theta+d\theta$  nin iki koni arasındaki  $d\Omega$  diferansiyel katı açı,  $d\theta$  ya bağımlı olarak;

$$d\Omega = \frac{2\pi R \sin \theta R d\theta}{R^2} = 2\pi \sin \theta d\theta \quad (2.19)$$

$d\sigma(\theta)$   $d\Omega$ 'lık saçılma için tesir kesit ve  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$  diferansiyel tesir kesit şeklinde adlandırılır.

Eğer  $dN_s/d\Omega$  birim katı açı başına saçılan parçacıksa diferansiyel tesir kesit;

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{dN_s/d\Omega}{N_1 \eta} \quad (2.20)$$

Şeklinde tanımlanabilir. Böylece toplam reaksiyon tesir kesiti artık aşağıdaki şekilde yazabiliriz (Ashby and Miller 1970).

$$\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega = \int_0^\pi \frac{d\sigma}{d\Omega} (2\pi \sin\theta) d\theta \quad (2.21)$$

### 2.1.7 Rutherford Diferansiyel Tesir Kesiti

Şimdi ise diferansiyel tesir kesiti  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$  elde etmek için elde edilmiş olan vurma parametresi  $b$  ile saçılma açısı  $\theta$  arasında bir ilişki kuralım. Ve çekirdeğin etrafına  $b$  yarıçaplı bir daire çizdiğimizizi düşünelim. Çekirdek üzerine gitmekte olan bir de  $\alpha$  parçacığı düşünelim. Bu durum Şekil 2.6 'da gösterilmiştir. Gösterimde, yarıçapı  $b$  olan çember içine çarpan bütün  $\alpha$ 'ların belirli bir açıdan daha büyük bir açıyla saçılmış olacaktır.

$$\cot \frac{\theta}{2} = T_0 \frac{4\pi\epsilon_0}{Ze^2} b \quad (2.22)$$

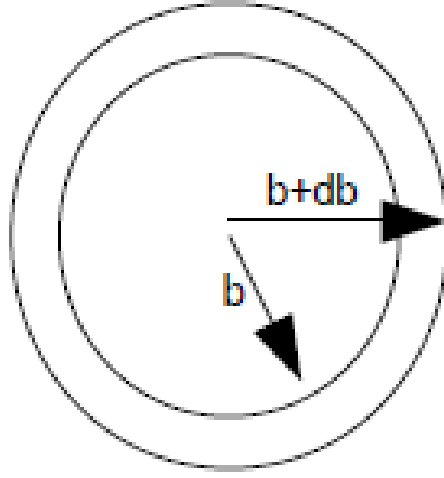
$\theta$  'ya eşit veya daha büyük açılardaki saçılmalar için tesir kesit,  $\sigma(\geq 0)$  ile gösterilen, sadece dairenin alanına eşit olacaktır;

$$\sigma(\geq 0) = \pi b^2 \quad (2.23)$$

$\theta$  'dan büyük açılarla gerçekleşen saçılmalar için tesir kesiti bulmak için denklemi tekrar düzenlersek;

$$\sigma(\geq 0) = \pi \left( \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \left[ \frac{\cot \frac{\theta}{2}}{T_0} \right]^2 \quad (2.24)$$

Şekil 2.6'da gösterilen, yarıçapı  $b$  ve  $b+db$  olan yüzük şeklindeki daire içine çarpan parçacıklar düşünelim. Böylece parçacıklar  $\theta$  ve  $\theta+d\theta$  'lık açılarla saçılacaktır.



Şekil 2.7 Diferansiyel alan (b ile db arasında)

Bu yüzüğün alanı  $da=2\pi b db$  'dir şimdi  $d(\cot\theta)=\theta/\sin^2\theta$  olarak düşünerek  $db$ 'yi tanımlayalım;

$$db = \frac{1}{2} \left( \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 T_0} \right) \frac{d\theta}{\sin^2 \frac{\theta}{2}} \quad (2.25)$$

Bu nedenle;  $d\Omega=2 \pi \sin\theta d\theta$

$\Theta$  ve  $d\theta$  'ya bağlı diferansiyel saçılma tesir kesiti;

$$\frac{da}{d\Omega} = \frac{|2\pi b db|}{d\Omega} = \frac{1}{2} \left( \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 T_0} \right)^2 \frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\sin^3 \left( \frac{\theta}{2} \right) \sin \theta} \quad (2.26)$$

$$= \frac{1}{4} \left( \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 T_0} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \left( \frac{\theta}{2} \right)} \quad (2.27)$$

$\sin\theta = 2\sin(\theta/2)$  Büyük b değeri için  $\cos(\theta/2) \sim 1$

Ve  $\sin(\theta/2) \sim \theta/2$  ve büyük vurma parametresi için diferansiyel tesir kesiti  $d\theta/d\Omega$  sonsuza yaklaşır (Ashby and Miller 1970).

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmadaki nükleer reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları TALYS 1.2 bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde TALYS 1.2 hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca incelenmiş olunan reaksiyonlar sonucunda meydana gelen ürünler ve kullanım alanları hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.1 Hesaplama Yöntemi

##### 3.1.1 TALYS 1.2

TALYS 1.2 nükleer reaksiyonları inceleme ve tahmin etmek için hazırlanmış bir bilgisayar kod programıdır (Koning *et al.* 2009). Programın temel görevi 1-200 MeV enerji aralığında bulunan nötron, proton, döteron, triton, gama, alfa ve  $^3\text{He}$  parçacıkları ile kütle ağırlığı 12 ve daha fazla olan çekirdeklerin etkileşimlerinin incelenmesidir. Bütün bu olayları gerçekleştirebilmek için TALYS 1.2 tek bir kod sistemi kullanır. Bu durum birçok avantaj sağlamaktadır. TALYS 1.2 nükleer reaksiyon simülasyon programı, reaksiyon tesir kesiti için farklı modellerle nasıl bir sonuç elde edebileceği hakkında tahminde bulunma imkanı sunmaktadır. Bu yönüyle modern nükleer modeller, optik model, seviye yoğunluğu, doğrudan reaksiyonlar, bileşik reaksiyonlar, denge öncesi ve fisyon reaksiyonları gibi nükleer yapılar hakkında gerekli olan bilgileri ve parametreleri veritabanında barındırır. Aynı zamanda; toplam ve parçalı tesir kesit hesabı yapılabilir, açısal dağılım enerji spektrumunu görebilir ve çift diferansiyel spektrumu çıkarılabilir. Bu kapsamda, programın iki temel amacı vardır. Bunlardan birincisi, nükleer reaksiyonların teorik olarak deneylerinin yapılabilmesidir. İkincisi ise, nükleer veri aracıdır. Eğer ulaşılabilen herhangi bir veri bulunmadığında veya deneysel verileri kullanarak birçok farklı modelin ayarlanabilir parametrelerini belirledikten sonra, TALYS bütün açık kanallar için veri üretebilir. Bu özelliği zengin veri tabanından kaynaklanmaktadır. Kullanıcı isterse enerji aralığını kendisi ayarlayarak simülasyonu gerçekleştirebilir. Bu özelliğiyle detaylı bir araştırma yapılmasına imkân sunmaktadır, çünkü programda birçok özelliği, kullanıcı kendisi incelemek istediği

durumlara göre ayarlayabilmektedir.

Çalışmada kullanılan TALYS 1.2 nükleer reaksiyon programı ile kullanılan reaksiyon tesir kesiti toplam olarak tüm durumların olduğu varsayımlarıyla hesaplanan tesir kesittir;

$$\sigma_{toplam} = \sigma_{elastik} + \sigma_{in-elastik} \dots$$

Ayrıca TALYS 1.2 de farklı nükleer modeller için ayrı ayrı reaksiyon tesir kesit hesaplamaları yapılabilir. Örneğin; optik model, direkt reaksiyonlar, denge öncesi, bileşik, seviye yoğunluğu, fisyon, termal reaksiyonlar için kodlar açılarak tesir kesit hesaplaması yapılabilir. Hatta her bir model için öngörölmüş farklı modeller için de hesaplama yapmak mümkündür. Örneğin; fisyon modeli için Mamdouh'un oluşturduğu tablodan veriler çekilerek hesaplama yapılabildiği gibi, aynı model için Sierk'in modelindeki veriler çekilerek hesaplama da yapılabilmektedir.

### 3.1.2 Örnek Girdi Dosyası

TALYS 1.2 reaksiyon programı için bazı değerlerin programın girdi dosyasında hazırlanması gereklidir. Bu bölümde programı çalıştırmadan önce nasıl bir prosedür takip edilmesi gerektiği anlatılacaktır.

Örnek bir hesaplama için gerekli olan ana kodlar şu şekilde sıralanabilir:

*Element:* TALYS 1.2 nükleer reaksiyon programı için girdi dosyasında hedef çekirdeğin ismi sembol olarak girilmez, bu girdi şekli programın kılavuzunda yer almaktadır.

*Atom Numarası:* Daha sonra hedef çekirdeğin atom numarası a.k.b. cinsinden yazılmalıdır. Program için geçerli kütle aralığı  $5 < \text{kütle} \leq 339$  şeklindedir.

*Gönderilecek parçacık:* Hedef çekirdek üzerine gönderilecek olan parçacığın ismi eklenmelidir. Hedef parçacıklar örneğin;  $^4\text{He}$  için sadece "a", proton için "p", nötron için "n", gama ışınları için "g",  $^3\text{He}$  parçacığı için "h", döteron için "d", ve triton için "t" sembolleri girilmesi yeterlidir. Çalışmada kullanılan bu parçacıkların özellikleri ile



ilgili bilgiler Çizelge 3.1.'de belirtilmiştir.

**Çizelge 3.1** Hafif parçacıkların özellikleri

İsim	Çekirdek	Sembol	Kütle
Hidrojen	Proton	${}^1_1\text{H}$	1,007825
Döteryum	Döteron	${}^2_1\text{H}$	2,014102
Tritiyum	Triton	${}^3_1\text{H}$	3,016049
Helyum-3	Helyum-3	${}^3_2\text{He}$	3,016030
Helyum-4	Alfa	${}^4_2\text{He}$	4,002604

*Enerji:* Son olarak gönderilen parçacığın enerjisi girilmelidir. Eğer gönderilen parçacık tek enerji değerine sahip ise tek enerji değeri girilebilir, şayet birden çok enerji değeri için hesaplama yapılmak istenirse, ayrıca enerji dosyası hazırlanıp tanımlanabilir. Program için hesaplama yapılabilecek enerji  $10^{-11}$  MeV  $\leq$  enerji < 250 MeV aralığı ile sınırlıdır.

Yukarıda anlatmış olduğumuz girdi değerleri sadece basit anlamda tesir kesit hesaplaması yapmak için yeterli değerlerdir. Eğer özel modeller, özel değerler kullanılmak istenirse, TALYS 1.2 programı çok farklı imkanlar sunmaktadır. Bunların kullanımları için de çeşitli ve özgün parametrelerinden yararlanılabilir. Bunlardan bir kısmı şu şekilde olabilir;

*Reaksiyon kanalları:* Reaksiyon kanalları açılıp kapatılabilir. Böylece istenirse çıkış kanalları kontrol edilebilir. Ayrıca maksimum kaç kanalın açık olacağı yani çıkışlardaki parçacık sayısının da kullanıcı tarafından belirlenebilmesi gibi bir özellik de mevcuttur. Örneğin kanal açıldı ve maksimum üç kanal çıkışı verildi, böylece (x,3n) çıkışları izlenebilir.

*İzotop oranları:* İzotop bolluk oranları programın veritabanından alınabileceği gibi daha hassas bir hesaplama yapmak için güncel verilerden değerler alınarak hesaplama yapılabilir. Girilmediği takdirde program otomatik olarak kendi veri tabanından seçer ve atar.

*Çıkış parçacığı:* Çıkış parçacığı ya da parçacıkları, incelenmek istenilen reaksiyona göre seçilebilir. Örneğin sadece nötron çıkışına ya da nötron+proton+gama çıkışlarına bakılabilir. Kullanıcı girmediği takdirde program kendisi tüm parçacıklar için hesaplama yapar. Bu da zaman israfına neden olabilir. Eğer kullanıcı zamandan tasarruf etmek isterse, sadece istediği çıkış parçacığını seçebilir

*Maksimum nötron ve maksimum proton çıkışları:* hedef parçacıktan maksimum ne kadar protonun ya da nötronun çıkışına izin verileceği de aynı şekilde araştırmacı tarafından belirlenebilir.

*Kütle hesaplama modeli:* Yine aynı şekilde isteğe bağlı şekilde diğer parametrelerinde ayarlanabildiği gibi hedef çekirdeğin kütesinin ve ürün çekirdeklerin kütlelerinin hesaplama yöntemleri farklı modeller yardımıyla hesaplanması mümkündür. Örneğin Duflo-Zuker, Möller tablosu, Goriely HFB-Skyrme tablosu gibi farklı hesaplama yöntemleri seçilerek hesaplama yaptırılabilir. Örnek bir girdi dosyası Şekil 3.1'de sunulmuştur.

```
#
# General
#
projectile g
element nd
mass 143
energy energies
#
# Parameters
#
channels y
maxchannel 2

gn 58 140 100
Rspincut 10.
s2adjust 58 140 0.01
Pshiftconstant 5
pairconstant 30.
outdensity y
filedensity y
Pshift 58 140 -10
```

**Şekil 3.1** Örnek Girdi Dosyası

### 3.1.3 Örnek Çıktı Dosyası

TALYS 1.2. nükleer reaksiyon programı çok farklı reaksiyon tesir kesit hesaplaması için çıktı dosyası üretir. Bu durumdan dolayı geniş kapsamlı bir araştırma yapılabilmesi mümkündür. Bir reaksiyondaki tüm elemanlar için ayrı ayrı tesir kesit hesapladığı gibi, girilen farklı parametreler sonucuna göre her durum ve istenilen durumlar için ayrı ayrı çıktı dosyası sunmaktadır. Örneğin  $^{143}\text{Nd}(\gamma, n)$  reaksiyonu için istenilen parametreler girildiği takdirde, tüm çıkabilecek parçacıklar; nötron, proton, alfa, vs. üretimleri için tesir kesit hesaplamaları görülebilir ve bunların hepsi ayrı ayrı dosyalar halinde görülebilir. Bunun yanı sıra reaksiyon sonucunda elde edilebilecek muhtemel ürünlerin de tesir kesit hesaplamalarını farklı dosyalar bulmak mümkündür. Hesaplama yapıldıktan sonra oluşturulan dosyaların bulunduğu ekran görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir.

Ad	Çekildiği tarih	Etiketler	Boyut	Derecelendirme
aprod.tot			rp060141.L00	
binary.tot			rp060141.L02	
dprod.tot			rp060141.tot	
elastic.tot			rp060142.tot	
energies			rp060143.tot	
energies~			total.tot	
gprod.tot			totalxs.tot	
hprod.tot			tprod.tot	
input			xs000000.tot	
input~			xs000001.L00	
ld060143.tot			xs000001.L02	
nonelastic.tot			xs000001.tot	
nprod.tot			xs000100.tot	
nprod_1			xs001000.tot	
out			xs010000.L00	
pprod.tot			xs010000.L01	
rp058138.tot			xs010000.tot	
rp058139.L00			xs100000.tot	
rp058139.L02			xs100001.tot	
rp058139.tot			xs110000.tot	
rp059141.tot			xs200000.L00	
rp059142.L00			xs200000.L02	
rp059142.L01			xs200000.tot	
rp059142.tot				

Şekil 3.2 Hesaplama sonucu oluşturulan dosyalar

Şekil 3.2'deki dosyalardan, istenilen parçacık veya çekirdeğe ait tesir kesit dosyası açılır ve buradaki veriler değerlendirmeye alınabilir. Bu hesaplamalardan sonra ulaşılabilecek örnek çıktı dosyaları aşağıda Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir.

```
# g + 143Nd: Production of 142Nd - Total
# Q-value    =-6.12358E+00 mass= 141.907723
# E-threshold= 6.12358E+00
# # energies = 57
#   E           xs
9.300E+00 3.43274E+01
9.500E+00 3.71416E+01
9.600E+00 3.86642E+01
9.700E+00 4.02700E+01
9.900E+00 4.37516E+01
1.000E+01 4.56382E+01
1.010E+01 4.76296E+01
1.030E+01 5.19516E+01
1.040E+01 5.42960E+01
1.050E+01 5.67724E+01
1.070E+01 6.21524E+01
1.080E+01 6.50734E+01
1.090E+01 6.81604E+01
```

Şekil 3.3 Örnek Çıktı Dosyası 1

```
# g + 143Nd : (g,a)           Total
# Q-value    = 5.20137E-01
# E-threshold= 0.00000E+00
# # energies = 57
#   E           xs           gamma xs  xs/res.prod.xs
9.300E+00 6.05216E-05 0.00000E+00 0.00000E+00
9.500E+00 7.12430E-05 0.00000E+00 0.00000E+00
9.600E+00 8.14810E-05 0.00000E+00 0.00000E+00
9.700E+00 9.17860E-05 0.00000E+00 0.00000E+00
9.900E+00 1.16225E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
1.000E+01 1.30692E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
1.010E+01 1.52653E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
1.030E+01 2.03875E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
1.040E+01 2.33554E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
1.050E+01 2.67094E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
1.070E+01 3.64014E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
1.080E+01 4.22836E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
1.090E+01 4.88308E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
1.110E+01 1.15649E-03 5.67278E-04 9.99877E-01
1.120E+01 1.36187E-03 6.80064E-04 9.99886E-01
1.140E+01 1.90058E-03 1.00693E-03 9.99899E-01
1.150E+01 2.23972E-03 1.22689E-03 9.99908E-01
1.160E+01 2.65405E-03 1.48003E-03 9.99913E-01
1.180E+01 3.67645E-03 2.13715E-03 9.99925E-01
1.190E+01 4.33336E-03 2.58626E-03 9.99929E-01
1.200E+01 5.08428E-03 3.11413E-03 9.99933E-01
1.220E+01 7.04017E-03 4.47997E-03 9.99950E-01
1.230E+01 8.23393E-03 5.33191E-03 9.99944E-01
```

Şekil 3.4 Örnek Çıktı Dosyası 2

## 3.2 Ürünler

İncelenen nükleer reaksiyonlarda  $^{141}\text{Pr}$  hedef üzerine  $^4\text{He}$ ,  $^3\text{He}$ , gama, nötron, proton, döteron, triton parçacıklarının gönderilmesiyle elde edilen ürünler sırasıyla şu şekildedir;  $^{144}\text{Pm}$ ,  $^{143}\text{Pm}$ ,  $^{140}\text{Pr}$ ,  $^{141}\text{Pr}$ ,  $^{141}\text{Nd}$ ,  $^{142}\text{Nd}$ ,  $^{143}\text{Nd}$ . Bu izotopların yarı ömürleri ve reaksiyonlardaki Q-değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2**  $^{144}\text{Pm}$ ,  $^{143}\text{Pm}$ ,  $^{140}\text{Pr}$ ,  $^{141}\text{Pr}$ ,  $^{141}\text{Nd}$ ,  $^{142}\text{Nd}$ ,  $^{143}\text{Nd}$  izotoplarının yarı ömür ve Q-değerleri

İzotop	Yarı Ömür	Reaksiyon	Q-değeri (MeV)
$^{141}\text{Nd}$	2.4 s	$^{141}\text{Pr}(p,n)^{141}\text{Nd}$	-2,605
$^{142}\text{Nd}$	Kararlı	$^{141}\text{Pr}(d,n)^{142}\text{Nd}$	4,998
$^{143}\text{Nd}$	Kararlı	$^{141}\text{Pr}(t,n)^{143}\text{Nd}$	4,865
$^{140}\text{Pr}$	3.3 d	$^{141}\text{Pr}(\gamma,n)^{140}\text{Pr}$	-9,396
$^{141}\text{Pr}$	Kararlı	$^{141}\text{Pr}(n,n)^{141}\text{Pr}$	0,000
$^{144}\text{Pm}$	0.9 y	$^{141}\text{Pr}(\alpha,n)^{144}\text{Pm}$	-10,246
$^{143}\text{Pm}$	265 g	$^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)^{143}\text{Pm}$	3,804

Bu çekirdeklerin doğal halleriyle ilgili özellikler ve bu elementlerin günümüz dünyasında kullanım alanları ile ilgili bilgiler bu bölümde yer almaktadır.

### 3.2.1 Nötronun Özellikleri

Nötron, proton ile birlikte atomun çekirdeğini oluşturan temel parçacıktır. Ayrıca ikisinin kütleleri toplamları bize atomun kütle ağırlığını verir. Nötron protonun aksine yüksüz bir parçacıktır. Fermiyon ailesinin baryon sınıfına ait olan nötronlar üç kuarktan meydana gelirler (u,d,d). Atomlardan ve parçacıklardan yalıtılan nötronlar kararsızdırlar ve radyoaktif özellik sergilerler.

**Çizelge 3.3** Nötronun Özellikleri

<b>Nötronun Özellikleri</b>	
<b>Ailesi</b>	Fermiyon
<b>Sınıfı</b>	Baryon
<b>Bileşimi</b>	Kuark (udd)
<b>Kütle</b>	$1.67492729 \times 10^{-27}$ Kg
<b>Yarı Ömür</b>	885.7 s
<b>Elektrik Yüğü</b>	0 (Sıfır) C
<b>Spin</b>	1/2
<b>Parite</b>	1
<b>Keşif</b>	James Chadwick (1932)

Nötronlar yüksüz olduklarından çok düşük enerjiye sahip olduklarında bile Coulomb engeline takılmadan çekirdeğe girerek, reaksiyonu başlatabilirler. Bu özellikleriyle izotop üretiminde kullanım alanları geniştir. Bunun yanı sıra yüksüz olduklarından belli bir enerjiye sahip nötron demetinin seçilip belirli bir yöne iletilmesi güçtür.

Çalışmamızda da olduğu gibi nötron elde edilen birçok nükleer reaksiyon vardır. Bunun amacına yönelik nötronun yukarıda bahsedilen özellikleriyle, istenilen enerjilerde tek enerji değerine sahip nötronlar elde etmek mümkündür (Krane 2002).

Elde edilen nötronların kullanım alanları fizik, mühendislik, kimya, manyetizma, nükleer reaktörler gibi çeşitli sahalardır. Çalışmamızda da bu nedenle nötron çıkışları incelenmiştir.

### 3.2.2 Neodmiyum

Neodmiyum üçüncü en çok bulunan lantanitlerdendir. Aşağıda Çizelge 3.4’de elementin fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

**Çizelge 3.4** Neodmiyum un özellikleri

Atom Numarası	60
Sembol	Nd
Atom Ağırlığı	144,24 a.k.b.
Elektron Konfigurasyonu	$6s^2 4f^3$
Atom Yarıçapı	229 pm

Neodmiyum, Nd-Fe-B alaşımının sürekli mıknatıs özelliğinden dolayı ticari alanda çok tercih edilen ve kullanım alanı yoğun olan bir mıknatıstır. Neodmiyum un sıvı helyum sıcaklıklarında büyük öz ısı kapasitesine sahiptir. Bu özelliğinden bir çok fayda elde edilebilir.

Nd izotopların taranmasıyla volkanik patlamaların büyüklüğü tahmin edilebilir. Küçük ve büyük volkanik patlamalar, farklı oranlarda Neodmiyum izotoplar üretirler. Böylece gelen lavın içerisindeki izotopların yoğunluğundan patlamanın büyüklüğü hakkında bilgi edilebilir. Bu özelliği farklı bir alanda da; Sm-Nd ikilisi ile kayalarda ve meteorlarda yaş tayini için kullanılır (Ercan vd. 1995).

Bunun dışında en yaygın kullanım alanın mıknatıs özelliğinden yararlanılan alanlar olduğunu belirtmiştik. Bu alanlardan birisi de bilgisayarlarda hard disklerin içerisinde sürekli mıknatıslık özelliği olarak kullanılır. Birkaç gram Nd mıknatıs kendi ağırlığının binlerce kat daha fazla ağır kütleli cisimleri kaldırabilir. Ayrıca Nd mıknatıslar, diğer Sm-Co mıknatıslara göre daha ucuz, daha hafif ve daha güçlüdürler. Bu nedenlerle daha çok tercih edilirler.

Neodmiyum mıknatıslar mikrofonlarda, bazı hoparlörlerde olduğu gibi hafif ama güçlü mıknatıslara ihtiyaç duyulduğu alanlarda kullanılırlar.

Gelişen teknolojiyle birlikte, hafif ve güçlü olmalarından dolayı hibrid ve elektrikli arabaların motorlarında ve kuvvetli mıknatıs gerektiren bazı rüzgar tribünlerinde de Nd mıknatıslar kullanılırlar (Tarımer ve Yüzer 2011).

Fakat her daim bu süper özelliklerini sürdüremezler. Örneğin yüksek sıcaklıklarda manyetizma özelliklerini kaybederler.

Gene aynı şekilde Nd: YAG lazerler tıp sahasında ürolojik cerrahide de kullanılmaktadır. 1960 yılında ilk icat edilen lazer cihazında bir yakut çubuğu lazer ortamı olarak kullanılıyordu. Yakut lazeri takiben 1961 yılında Neodmiyum lazer geliştirilmiştir. Modern lazerlerde ev sahipliği genellikle bir Ytrium Alüminyum Garnet ya da kısa adıyla YAG kristali yapmaktadır. Nd: YAG, 1064 nanometrelik dalga boyuyla hem oftalmolojide, hem de cerrahide kullanılan bir lazerdir (Tuğlu 2011).

Nd iyonları birçok tip kristalin ve camın içerisinde lazer kazanım ortamı olarak işlev görür. Dışarıdan pompalama etkisiyle Nd iyonundan 1064 nm'lik foton yayınlanır. Bu da lazer işlevi görür. Bu özelliği ile askeri alanda uzaklık ölçüm cihazları olan telemetrelerde ve tank silahlarının nişanlama cihazlarında Neodmiyum YAG lazerler kullanılmaktadır (Durukan vd. 2003).

Neodmiyum camlar ise günlük kullanılan lambalarda eflatun ve mat mavi şeklinde görülürler ve farklı dalga boyuna sahip ışık altında farklı renklerde görüldüklerinden sanayide ki kullanım alanları bu özelliğiyle de yaygındır.



### 3.2.3 Presodmiyum

Presodmiyum yalnızca bir stabil izotoptan oluşmaktadır;  $^{141}\text{Pr}$ .  $^{141}\text{Pr}$ ; NMR ve EPR spektroskopisinde kullanılmaktadır. Doğal halde bulunan Presodmiyum-141'in fiziksel özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

**Çizelge 3.5** Presodmiyum un özellikleri

Atom Numarası	59
Sembol	Pr
Atom Ağırlığı	140,9077 a.k.b.
Elektron Konfigürasyonu	$6s^2 4f^4$
Atom Yarıçapı	239 pm

$^{140}\text{Nd}/^{140}\text{Pr}$  radyonüklid çifti dokuların tedavisinde ve görüntülenmesinde kullanılmaktadır.

Presodmiyum, magnezyum ile alaşım olarak uçaklarda yüksek genliğe sahip metal elde edebilmek için kullanılır. Ayrıca camlarda ve emayelerde sarı renk elde etmek için kullanılır.

### 3.2.4 Prometyum

Prometyum yapay olarak elde edilebilen nadir toprak grubundan radyoaktif kimyasal bir elementtir. İzotoplarından prometyum 147 nükleer reaktörlerde üretilir ve beta ışınması yapar. Prometyum elementine ait fiziksel özellikler Çizelge 3.6’da verilmiştir.

**Çizelge 3.6** Prometyumun özellikleri

Atom Numarası	61
Sembol	Pm
Atom Ağırlığı	145,0 a.k.b.
Elektron Konfigürasyonu	$6s^2 4f^5$
Atom Yarıçapı	236 pm

Parlak materyallerin yapımında kullanılır. Prometyum ağır atomik elementlerle karıştığı zaman X-ray ışınları üretebilir. Bu özelliğinden dolayı mobil x-ray cihazı olarak kullanılabilir.

Ayrıca Pm kalınlık ölçme aletlerinde bir beta kaynağı olarak kullanılır. Nükleer güçlü bataryaların yapımında da Pm-147’den yararlanır. Ayrıca uzay araçlarında ve uydularda yardımcı güç sağlayan ısı kaynağı olarak da kullanılır.

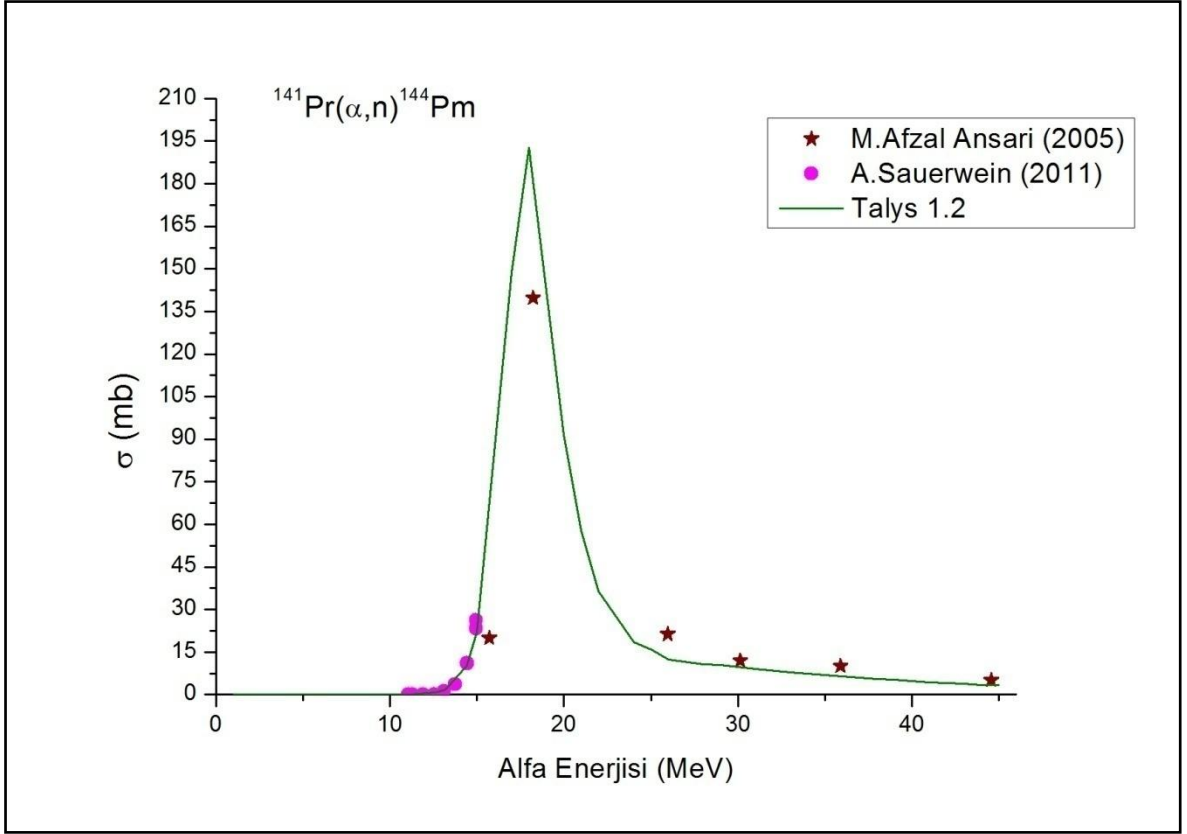
Fosforesan özelliğe sahip (ör. Fosfor) bir malzeme tarafından soğurulduğunda, ışıdamaya yol açar ve bu özelliği nedeniyle, ışıdayan boya ve plastiklerin yapımında kullanılır.

#### 4. HESAPLANAN REAKSİYON TESİR KESİTLERİ

Bu çalışmada,  $^{141}\text{Pr}(x,n)$  reaksiyon tesir kesitleri teorik olarak TALYS 1.2 kodu kullanılarak hesaplanmış ve literatürde yer alan deneysel sonuçlar EXFOR veritabanından alınarak hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır. 1-45 MeV gelen parçacık enerjisi kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 4.1 - 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.4 - 4.7'de verilen reaksiyon tesir kesitleri için literatürde deneysel sonuç bulunamadığından hesaplamaların karşılaştırılması mümkün olamamıştır.

##### 4.1 $^{141}\text{Pr}(\alpha,n)^{144}\text{Pm}$

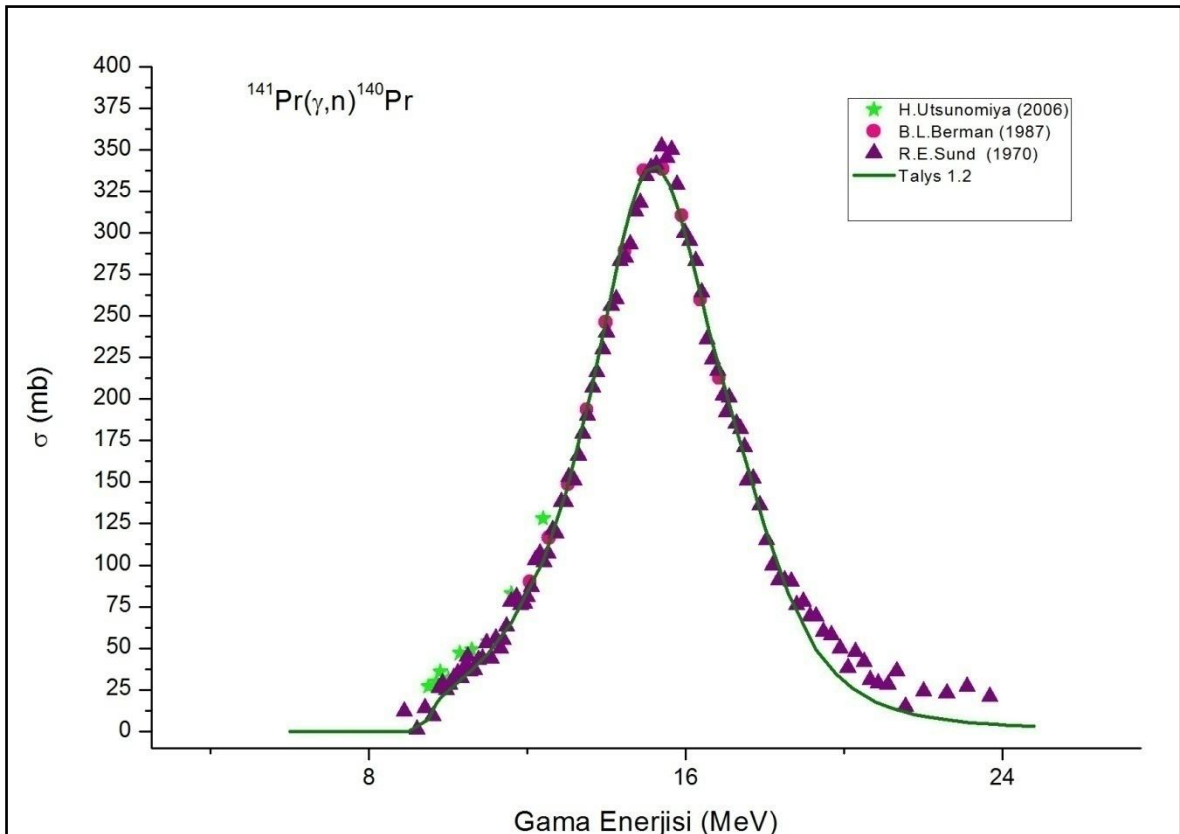
$^{141}\text{Pr}(\alpha,n)^{144}\text{Pm}$  reaksiyon tesir kesiti için elde edilen hesaplama sonuçları ve deneysel değerler Şekil 4.1 'de gösterilmiştir. Çizelge 3.2 'de belirtilen reaksiyon Q değerine uygun olarak 10.25 MeV değerinden daha büyük alfa enerjisinden başlamakta ve 18,24 MeV' de maksimum tesir kesiti elde edilmektedir. 11 MeV ile 15 MeV enerjilerine sahip alfa parçacıkları için reaksiyonda elde edilen tesir kesit değerleri Sauerwein vd. (2011)'nin yaptığı deneysel çalışma ile tam bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir. 15 MeV ile 45 MeV enerji aralığında Ansari vd. (2005)'nin yaptığı çalışmayla elde edilen sonuçlar arasında bir paralellik görülmesine rağmen, Ansari vd. (2005)'in elde ettiği 18,24 MeV enerjisine sahip alfa parçacıkları için elde edilen reaksiyon tesir kesiti 139,8 mb' dir. TALYS 1.2 ile gerçekleştirilen bu çalışmada ise aynı enerji değerine karşılık 198.2 mb tesir kesiti değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.1  $^{141}\text{Pr}(\alpha, n)^{144}\text{Pm}$  reaksiyonu için tesir kesit

## 4.2 $^{141}\text{Pr}(\gamma,n)^{140}\text{Pr}$

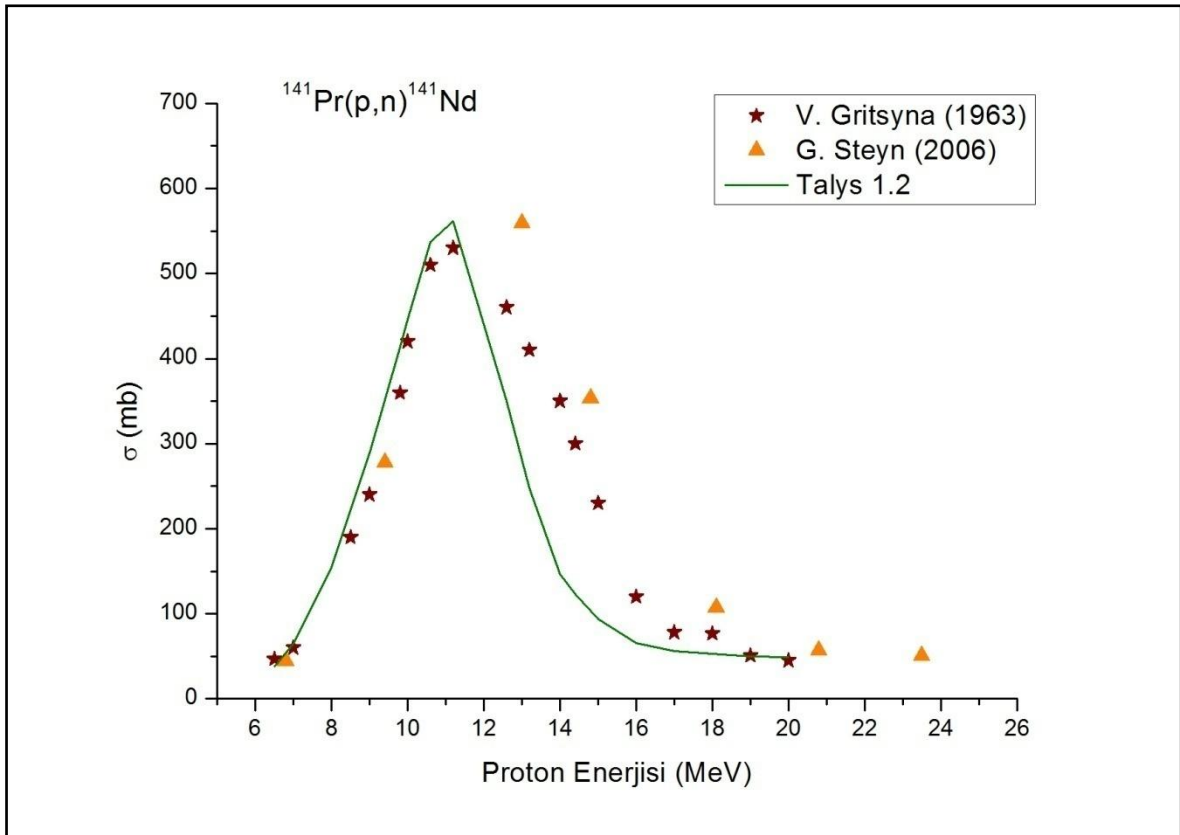
$^{141}\text{Pr}(\gamma,n)^{140}\text{Pr}$  reaksiyon tesir kesiti için TALYS 1.2 koduyla yapılan hesaplamalarda gama enerjilerini 6-25 MeV aralığında olacak şekilde seçildi. Şekil 4.2. 'de de görüldüğü gibi 8.8 MeV gelme enerjilerine sahip gama ışınları için değer alınamamıştır. 9 MeV ile 25 MeV aralığında ise Utsunomiya vd. (2006) ve Berman vd. (1987) ve Sund vd. (1970) yaptıkları deneysel çalışmada elde etmiş oldukları reaksiyon tesir kesitleri ile tam bir uyum olduğu net bir şekilde görülmektedir. 15.4 MeV gama enerjisi için Berman vd. (1987)'nin elde ettiği reaksiyon tesir kesiti 338 mb, Sund vd. (1970) 352 mb, Bianco (1961)'nin 20,5 MeV tek enerjiye sahip gama ışını ile yaptığı hesaplama da ise 57,7 mb olarak tesbit ettikleri değerler ve TALYS 1.2 ile yapılan hesaplamalarda ise bu enerji değerinde 339 mb reaksiyon tesir kesit değerini elde edildiği Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2  $^{141}\text{Pr}(\gamma,n)^{140}\text{Pr}$  reaksiyonu için tesir kesit

### 4.3 $^{141}\text{Pr}(p,n)^{141}\text{Nd}$

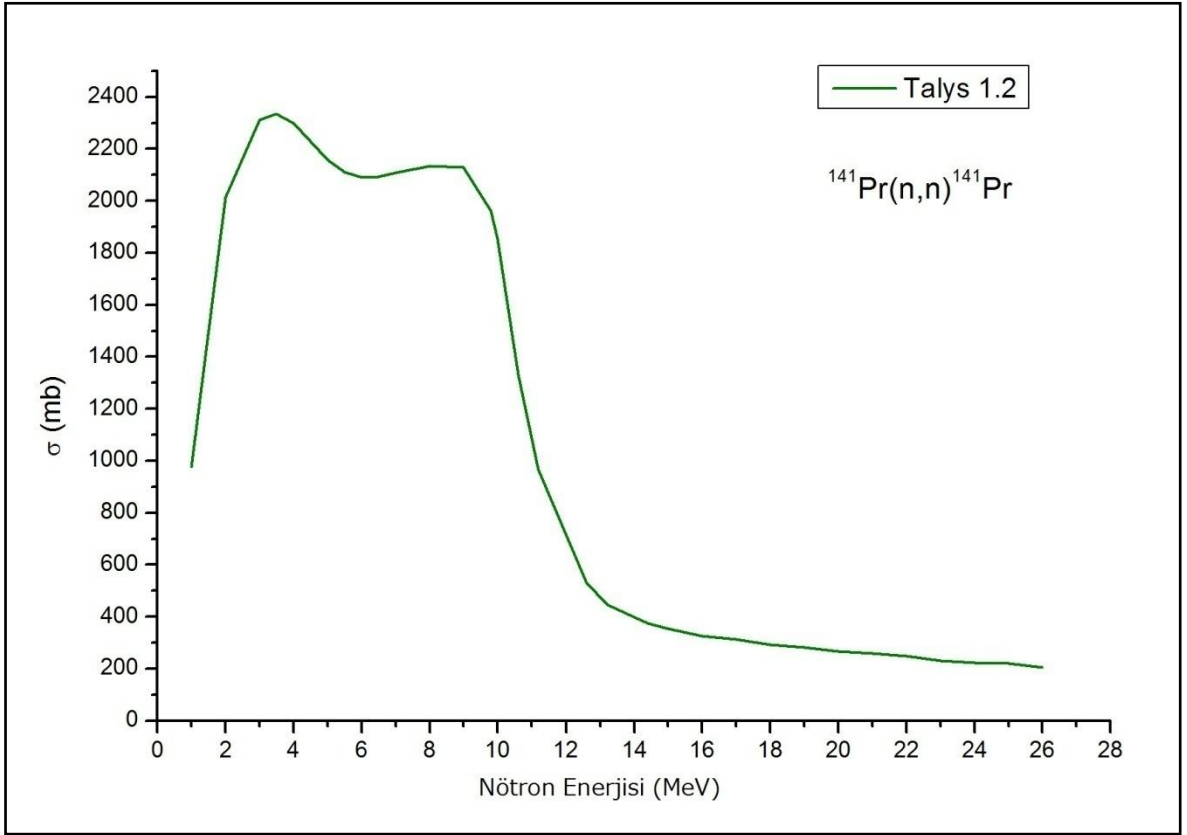
$^{141}\text{Nd}$  üretimi için  $^{141}\text{Pr}(p,n)$  reaksiyonunda protonların gelme enerjileri 6-20 MeV aralığında olacak şekilde belirlendi. TALYS 1.2 kodlarıyla yapılan hesaplamalarla, deneysel olarak Gritsyne vd. (1963) ve Steyn vd. (2006) tarafından yapılmış olan reaksiyonlarda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Reaksiyonun 6 MeV enerji değerine kadar başlamadığı görüldü. Her iki deneysel verilerle karşılaştırıldığında, çalışmanın 11 MeV değerine kadar uyumlu sonuçlar verdiği Şekil 4.3’de görülmektedir. Zaten bu değerlerde hem deneysel sonuçlara göre hem de çalışmada elde edilen sonuçlara göre maksimum reaksiyon tesir kesiti elde edildiği görülmektedir. Bu değerler Gritsyne vd. (1963)’ya göre 530 mb, Steyn vd. (2006)’e göre 559 mb ve bu çalışmada çıkan sonuçlara göre ise 560 mb dır. Ancak bu değerlerden sonra hesaplamalarda elde edilen sonuçlarla deneysel veriler arasında faz kayması mevcut olmasına rağmen bir paralellik olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3  $^{141}\text{Pr}(p,n)^{141}\text{Nd}$  reaksiyonu için tesir kesit

#### 4.4 $^{141}\text{Pr}(n,n)^{141}\text{Pr}$

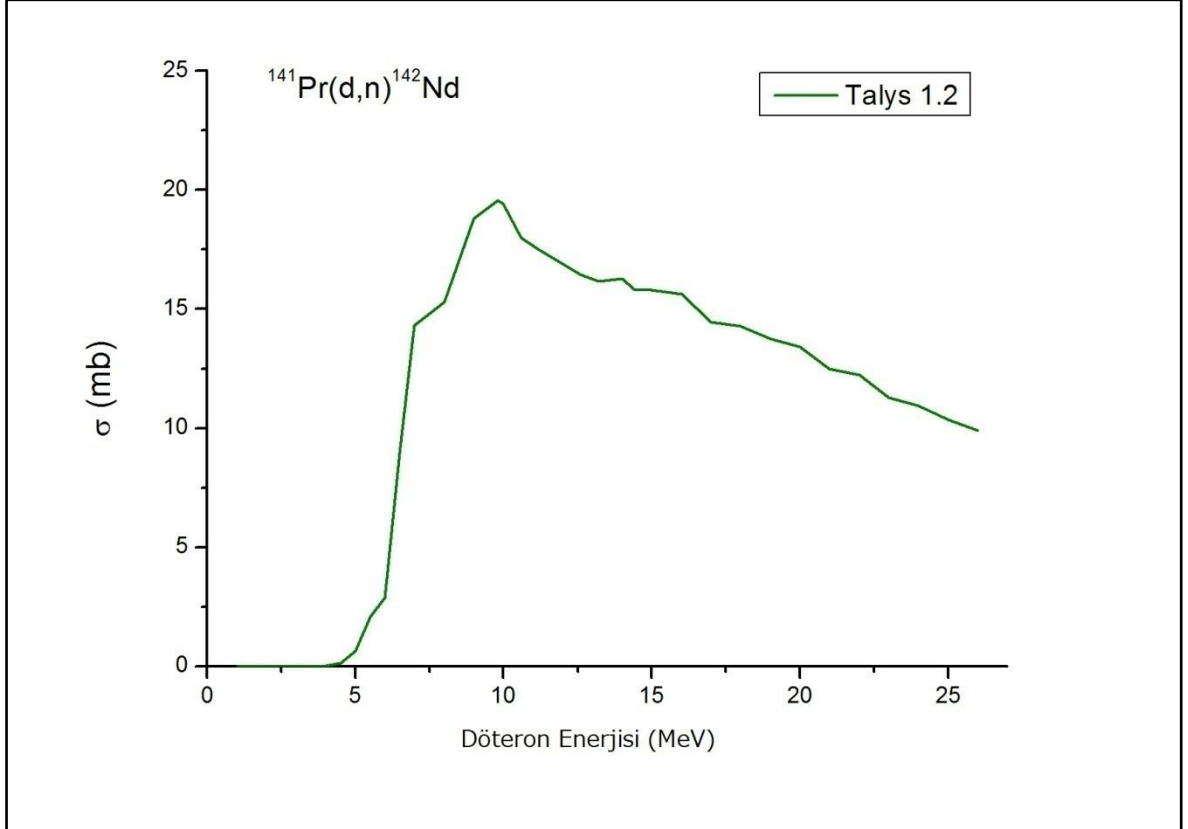
Yapılan literatür taramasında  $^{141}\text{Pr}(n,n)^{141}\text{Pr}$  reaksiyonuna ait herhangi bir deneysel reaksiyon tesir kesiti verisine rastlanmadı. Bu çalışmada, TALYS 1.2 kodlarıyla yapılan teorik hesaplamalarda 1-26 MeV aralığında nötron enerjileri kullanılmıştır. Bu aralıkta grafikte de görüldüğü gibi iki pik noktası belirlemektedir. Bu noktalar 3.5 MeV gelme enerjisine karşılık 2330 mb ve 8 MeV gelme enerjisinde 2133 mb olarak hesaplandı.



Şekil 4.4  $^{141}\text{Pr}(n,n)^{141}\text{Pr}$  reaksiyonu için tesir kesit

#### 4.5 $^{141}\text{Pr}(d,n)^{142}\text{Nd}$

$^{141}\text{Pr}(d,n)^{142}\text{Nd}$  tesir kesiti hesaplamalarında da herhangi bir deneysel veri mevcut değil. Çalışmada döteron enerjileri 1-26 MeV aralığında alındı ve sonuçta 9.8 MeV döteron enerjisine karşılık 19.5 mb tesir kesiti elde edilmiştir.

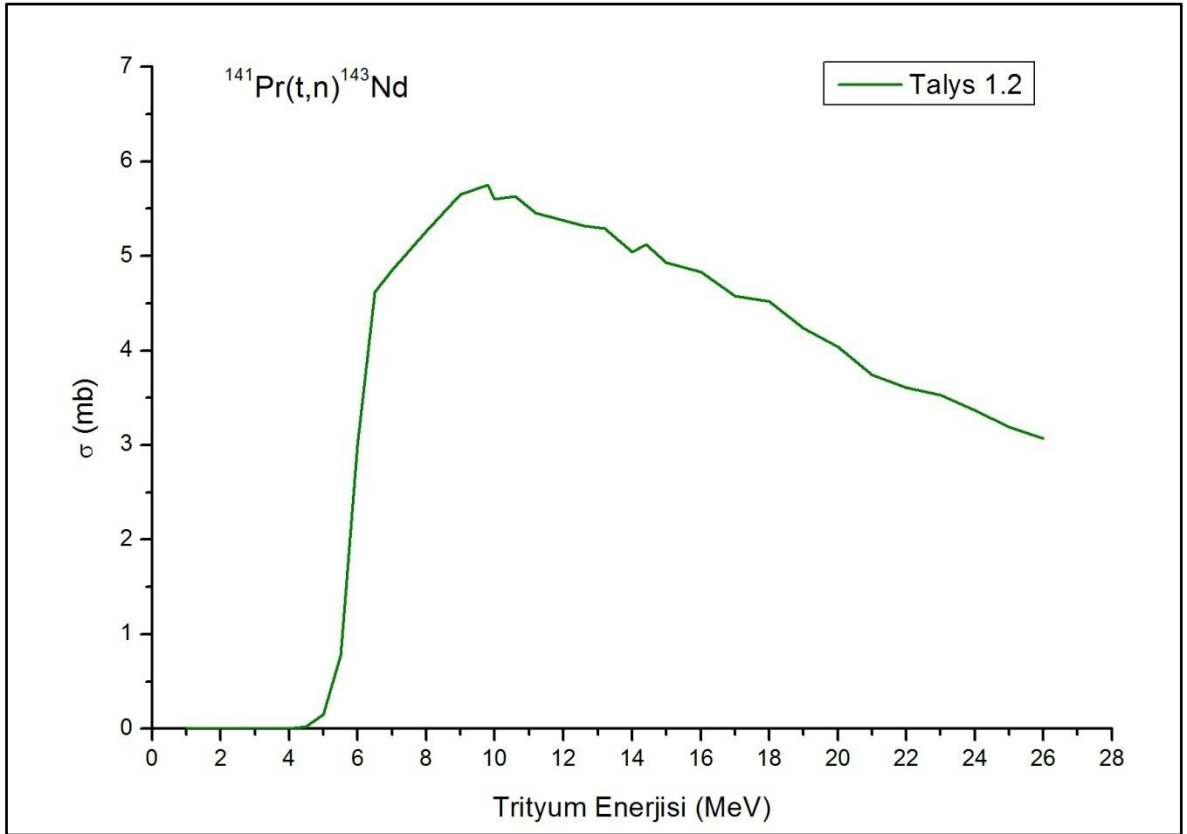


Şekil 4.5  $^{141}\text{Pr}(d,n)^{142}\text{Nd}$  reaksiyonu için tesir kesit



#### 4.6 $^{141}\text{Pr}(t,n)^{143}\text{Nd}$

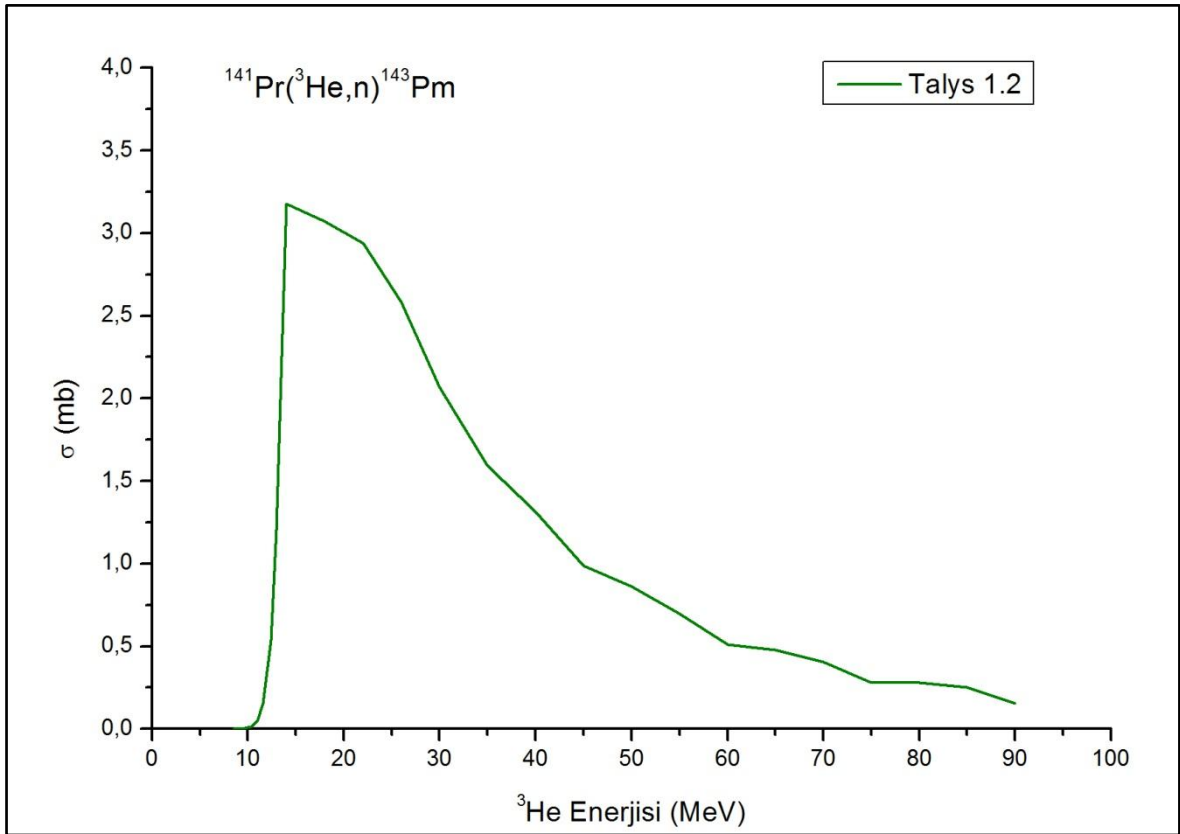
$^{141}\text{Pr}(t,n)$  reaksiyonu için trityum enerjilerini 1 MeV ile 26 MeV aralığında kullanıldı. Ve 9.8 MeV gelme enerjisine sahip triton için reaksiyonda 5.7 mb reaksiyon tesir kesiti olduğu görüldü.  $^{141}\text{Pr}(t,n)$  reaksiyonu içinde herhangi bir çalışma bulunamadığından dolayı karşılaştırma yapılamamıştır.



Şekil 4.6  $^{141}\text{Pr}(t,n)^{143}\text{Nd}$  reaksiyonu için tesir kesit

#### 4.7 $^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)^{143}\text{Pm}$

$^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)$  reaksiyonu için  $^3\text{He}$  enerjilerini 1 MeV ile 90 MeV aralığında kullanıldı. 12.5 MeV civarlarında reaksiyon tesir kesiti 0,5 mb iken bir anda 14. MeV enerji değerlerinde maksimum olan 3.17 mb tesir kesit değerine sıçraması görülmektedir. Ve bu değerden sonra eksponansiyel olarak bir düşüş olduğu Şekil 4.7'den görülmektedir. Yukarıda  $^{141}\text{Pr}(^4\text{He},n)^{144}\text{Pm}$  reaksiyonuna bakıldığında  $^4\text{He}$  ile reaksiyonu gerçekleştirdiğimizde daha büyük reaksiyon tesir kesitleri elde ederken, bir nötron eksilterek  $^3\text{He}$  ile reaksiyon gerçekleştiğinde reaksiyon tesir kesitinin küçüldüğü görülmektedir.  $^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)$  reaksiyonu içinde literatür taramasında hiçbir deneysel veriye ulaşamadığından karşılaştırma yapılamamıştır.



Şekil 4.7  $^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)^{143}\text{Pm}$  reaksiyonu için tesir kesit

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Nükleer reaksiyon çalışmaları, çekirdek fiziğinin daha iyi anlaşılması için gerekli olan çalışmalardandır. Ayrıca, nükleer reaksiyonlar sonucunda yapay olarak elde edilen birçok izotop, farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bundan dolayı bir izotopun üretilebilmesi için gerekli olan nükleer reaksiyonun en iyi hangi koşullarda gerçekleştiğinin araştırılması, nükleer fiziğin önemli konuları arasında yer alır.

Bu çalışmada da,  $^{141}\text{Pr}(x,n)$  reaksiyonunun en iyi hangi enerji aralığında gerçekleşeceği hakkında araştırmalar yapılmıştır. Bu kapsamda TALYS 1.2 bilgisayar kodu ile teorik hesaplamalar yapılmıştır. Nükleer reaksiyonların toplam tesir kesit hesaplamaları yapılmıştır. Teorik hesaplamalar, Uluslar Arası Atom Enerjisi Kurumu'nun EXFOR kütüphanesinden alınan deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Literatürden ulaşılamayan nükleer reaksiyonlar için karşılaştırma yapılamamıştır.

### 5.1 $^{141}\text{Pr}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

Şekil 4.1'de  $(\alpha,n)$  reaksiyonunu için reaksiyon tesir kesit grafiği incelendiğinde bu çalışmada hesaplanan değerler ile deneysel ölçümler arasında bir uyum olduğu görülmektedir. Çalışmada 18,24 MeV değerinde bu uyumu kaybettiği ancak sonrasında tekrar bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Fakat hem deneysel ölçümler sonucunda hem de bu çalışmada elde edilen hesaplama sonucunda benzer enerji değerlerine karşılık maksimum tesir kesiti elde edilmiş olması önemlidir.

### 5.2 $^{141}\text{Pr}(\gamma,n)$ Reaksiyonu

Şekil 4.2'de ise  $(\gamma,n)$  reaksiyonu için verilen grafikten deneysel ölçümlerle elde edilen reaksiyon tesir kesit değerleri ile bu çalışmada elde edilen değerlerin tam bir benzerlik gösterdiği görülmektedir. Çizelge 3.2'de belirtilen Q değerine uygun olarak bu

reaksiyon da 9.25 MeV değerinden başlamaktadır.  $^{140}\text{Pr}$  üretimi için gerekli olan gama enerjilerinin 14 – 16 MeV aralığında olması gerektiği görölmektedir.

### 5.3 $^{141}\text{Pr}(p,n)$ Reaksiyonu

Şekil 4.3’de verilen (p,n) reaksiyonu için hesaplanan tesir kesiti, deneysel ölçümlerle 11 MeV değerine kadar uyum içerisinde görölmektedir. Ancak bu değerden sonra bir faz kayması görölmesine rağmen bir paralellik içerisinde gitmektedir. Bu grafiğe bakıldığında da reaksiyonun geręekleşmesi için en uygun enerji aralığının 10-13 MeV aralığı olduğu görölmektedir.

### 5.4 $^{141}\text{Pr}(n,n)$ Reaksiyonu

Yapılan literatür taramasında  $^{141}\text{Pr}(n,n)$  reaksiyonu için herhangi bir deneysel ölçüme ulaşılamamıştır. Çalışmada yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen verilerin grafiği Şekil 4.4’de verilmiştir. Reaksiyonun elastik reaksiyon olmasının sonuçları da grafikte görölmektedir. 3.5 MeV nötron enerjileri ve 8 MeV nötron enerjilerinde reaksiyonun maksimum tesir kesite sahip olduğu Şekil 4.4’de görölmektedir. Diğer reaksiyonlara göre  $^{141}\text{Pr}(n,n)$  reaksiyonunda küçük nötron enerjilerinde çok daha büyük tesir kesitler elde edildiği de görölmektedir.

### 5.5 $^{141}\text{Pr}(d,n)$ Reaksiyonu

$^{142}\text{Nd}$  üretimi için yapılan reaksiyonda 9,8 MeV enerjiye sahip döteryumlar için maksimum 19,5 mb tesir kesiti elde edilmiştir.  $^{141}\text{Pr}(d,n)$  reaksiyonu için de literatür taramasında herhangi bir deneysel ölçüme ulaşılamamıştır. Ancak reaksiyonun Çizelge 3.2’de ki Q değerine uyumlu bir şekilde yaklaşık 4,9 MeV enerjilerine sahip döteryumlardan sonra başladığı Şekil 4.5’den görölmektedir.

## 5.6 $^{141}\text{Pr}(t,n)$ Reaksiyonu

$^{141}\text{Pr}(t,n)$  reaksiyonu literatür taramasında reaksiyon tesir kesiti ölçümüne ulaşılamamıştır. Ancak çalışmadaki reaksiyon tesir kesiti hesaplamalarında  $^{141}\text{Pr}(d,n)$  reaksiyonun da olduğu gibi maksimum tesir kesiti değerine 9.8 MeV enerjilerine sahip trityumlarda görülmektedir. Fakat bu değere karşılık elde edilen reaksiyon tesir kesiti 5,7 mb dir.  $^{141}\text{Pr}(p,n)$  reaksiyonunda 9,8 MeV enerjiye sahip protonlarda reaksiyon tesir kesiti 414 mb olmasına rağmen bu enerji değerlerinde  $^{141}\text{Pr}(d,n)$  reaksiyonu için 19,5 mb ve  $^{141}\text{Pr}(t,n)$  reaksiyonu için 5,7 mb tesir kesiti değerinde olduğu ilgili şekillerde görülmektedir. Gönderilen parçacığın kütesinin artmasıyla tesir kesit değerinde bir azalmanın olduğu görülmektedir.

## 5.7 $^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)$ Reaksiyonu

$^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)$  Reaksiyonu için literatür taramasında hiçbir deneysel ölçüme ulaşılamamıştır. Bu çalışma da hesaplanan değerler sonucunda  $^{143}\text{Pm}$  üretimi için gerekli olan  $^3\text{He}$  enerjilerinin 14 MeV olması gerektiği Şekil 4.7'de görülmektedir.  $^{141}\text{Pr}(\alpha,n)$  reaksiyonunda maksimum reaksiyon tesir kesiti değerine 18,24 MeV alfa enerjileriyle ulaşılırken,  $^{141}\text{Pr}(^3\text{He},n)$  reaksiyonunda maksimum tesir kesite ulaşabilmek için, alfadan bir nötron az olan  $^3\text{He}$ 'ların 14 MeV enerji değerlerine sahip olması gerektiği Şekil 4,7 de görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aslam, M.N., Sudar, S., Hussain, M., Malik, A.A. and Qaim, S.M. (2011). Evaluation of excitation functions of proton,  $^3\text{He}$ - and  $\alpha$ -particle induced reactions for production of the medically interesting positron-emitter bromine-76, *Applied Radiation and Isotopes*, **70**: 1490–1505
- Ansari, M.A., Sathik, N.P.M., Singh, D., Rashid, M.H. (2005). Measurement and analysis of alpha particle induced reactions on Praseodymium, *Journal of the Physical Society of Japan*, **74**: 1150
- Ashby, N. and Miller, S.C. (1970). Principles of Modern Physics, University of Colorado, Holden-Day
- Berman, B., Pywell, R., Dietrich, S., Thompson, M., McNeill, K. and Jury, J. (1987). Absolute photoneutron cross sections for Zr, I, Pr, Au, and Pb, *Physical Review, Part C, Nuclear Physics*, **36**: 1286-1292
- Bianco, W.E. and Stephens, W.E. (1961). Photonuclear activation by 20.5 MeV gamma rays, *Physical Review*, **126**: 709-717
- Bilideanu, V., Garcia, M., Joyer, P., Lopez, D., Mayoral, A., Ogando, F., Ortiz, F., Sanz, J. and Sauvan, P. (2011). Deuteron cross section evaluation for safety and radioprotection calculations of IFMIF/EVEDA accelerator prototype, *Journal of Nuclear Materials*, **417**: 1271–1274
- Crasta, R., Naik, H., Suryanarayana, S. V., Prajapati, P. M., Jagadisan, K. C., Thakare, S. V., Ganesh, S., Nimje, V. T., Mittal, K. C. and Goswami, A. (2011). Photo-neutron cross-section of  $^{100}\text{Mo}$ , *Journal Radioanal Nuclear Chemistry*, **290**: 367–373

- Dağ, M. (2009). Hızlandırıcı Güdümlü Reaktör Sistemlerinde Kullanılan Bazı Çekirdeklerin (p,f) Reaksiyon Tesir Kesitlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli
- Durukan, H., Bayer, A., Sobacı, G., Bayraktar, M. Z. ve Akar, Y. (2003). Lazer Kullanan Askeri Araçlara Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Makula Hasarı. *Ret – Vit*, **11**: 284-289
- Ercan, T., Ercan, T., Satır , M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C., Walter, H.J. ve Yıldırım, T. (1995). Biga Yarımadası İle Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan Dağlarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmanın Özellikleri, *MTA Dergisi*, **117**: 55-86
- Feynman, R. P. (1964). Lectures on Physics, Addison-Wesley Publishing, London
- Gritsyna, V.T., Klyucharev, A.P., Remaev, V.V. and Reshetova, L.N. (1963). Ratio of the cross sections for the production of the isomer and ground states of nuclei in the (p,n) reaction at the energies from the threshold to 20 MeV, *Zhurnal Eksperimental`noi i Teoret. Fiziki*, **44**: 1770
- Hermanne, A., Rebeles, A., Tarkanyi, F., Takacs, S., Spahn, I. and Ignatyuk, A. (2011). High yield production of the medical radioisotope  $^{167}\text{Tm}$  by the  $^{167}\text{Er}(d,2n)$  reaction, *Applied Radiation and Isotopes*, **69**: 475–481
- Hilgers, K., Sudar, S. and Qaim, S.M. (2007). Formation of the isomeric pairs  $^{139}\text{Nd}^{\text{m,g}}$  and  $^{141}\text{Nd}^{\text{m,g}}$  in proton and  $^3\text{He}$ -particle-induced nuclear reactions, *Physical Review*, **76**: 064601-1,6
- Jevremovic, T. (2005). Nuclear Principles in Engineering, Springer
- Khandaker, M.U., Kim, K., Kim, K.S., Lee, M., Lee, Y.S., Kim, G., Cho, Y.S. and Lee, Y.O. (2009). Excitation functions of the proton-induced nuclear reactions on

$^{nat}\text{Sn}$  up to 40 MeV, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **267**: 23–31

Krane, K. S. (2002). *Introductory Nuclear Physics*, John Wiley-Sons Press, New York

Koning, A.J., Hilaire, S. and Duijvestijn, M. (2009). *Talys 1.2 A Nuclear Reaction Program*, NRG– Nuclear Research and Consultancy Group, Netherlands

Martin, R.B. (2006). *Nuclear and Particle Physics An Introduction*, Press, John Wiley & Sons, England

Murray, R. L. (2000). *Nuclear Energy, Fifth Edition*, Press, Butterworth-Heinemann

Sadeghi, M., Kakavand, T., Mokhtari, L. and Gholamzadeh, Z. (2008). Determination of  $^{68}\text{Ga}$  production parameters by different reactions using ALICE and TALYS codes, *Pramana-Journal of Physics*, **72**: 335-341

Sauerwein, A., Becker, H.W., Dombrowski, H., Elvers, M., Endres, J., Giesen, U., Hasper, J., Hennig, A., Netterdon, L., Rauscher, T., Rogalla, D., Zell, K.O. and Zilges, A. (2011). Determination of  $\text{Pr-141}(a,n)\text{Pm-144}$  cross sections at energies of relevance for the astrophysical p process using the gamma-gamma coincidence method, *Physical Review, Part C, Nuclear Physics*, **84**: 045808-1,11

Steyn, G.F., Vermeulen, C., Nortier, F.M., Szeleszenyi, F., Kovacs, Z. and Qaim, S.M. (2006). Production of no-carrier-added  $^{139}\text{Pr}$  via precursor decay in the proton bombardment of  $^{nat}\text{Pr}$ , *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, **252**: 149–159

Sund, R.E., Verbinski, V.V., Weber, H. and Kull, L.A. (1970).  $^{141}\text{Pr}$  ( $\gamma,n$ ) cross section from threshold to 24 MeV, *Physical Review, Part C, Nuclear Physics*, **2**: 1129



- Tarimer, I. and Yuzer, E.O. (2011). Designing of a Permanent Magnet and Directly Driven Synchronous Generator for Low Speed Turbines, *Electronics and Electrical Engineering*, **6**: 15-18
- Tuğlu, D. (2011). Ürolojik Cerrahide Lazer Kullanımı, *Türk Üroloji Seminerleri*, **2**: 134-9
- Uddin, M.S., Scholten, B., Hermanne, A., Sudar, S., Coenen, H.H. and Qaim, S.M. (2010). Radiochemical determination of cross sections of  $\alpha$ -particle induced reactions on  $^{192}\text{Os}$  for the production of the therapeutic radionuclide  $^{193\text{m}}\text{Pt}$ , *Applied Radiation and Isotopes*, **68**: 2001–2006
- Uddin, M.S., Scholten, B., Hermanne, A., Sudar, S., Aslam, M.N., Coenen, H.H. and Qaim, S.M (2010). Excitation functions of  $\alpha$ -particle induced reactions on enriched  $^{123}\text{Sb}$  and  $\text{natSb}$  for production of  $^{124}\text{I}$ , *Applied Radiation and Isotopes*, **69**: 699–704
- Utsunomiya, H., Makinaga, A., Goko, S., Kaihori, T., Akimune, H., Yamagata, T., Ohta, M., Toyokawa, H., Muller, S., Lui, Y.-W. and Goriely, S. (2006). Photoneutron cross section measurements on the  $N = 82$  nuclei  $^{139}\text{La}$  and  $^{141}\text{Pr}$ : Implications for p-process nucleosynthesis, *Physical Review, Part C, Nuclear Physics*, **74**: 025806

## ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Vehbi PEKTAŞ

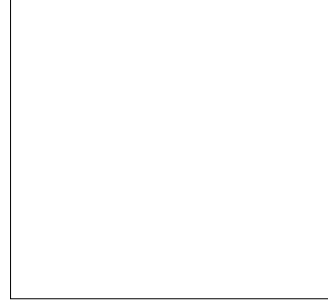
**Tel:** 0505 359 63 31

**e-mail:** mvehbipektas@hotmail.com

### **Mevcut İkamet:**

Kırklar Mh. Hacılar Sk.

No:29 Bolvadin/AFYONKARAHİSAR



## EĞİTİM

2010- 2012 Afyon Kocatepe Üniversitesi / Afyonkarahisar - Türkiye  
Fen Bilimleri Enstitüsü / Fizik A.B.D. (Yüksek Lisans)

2003- 2008 Gaziantep Üniversitesi / Gaziantep - Türkiye  
Mühendislik Fakültesi / Fizik Mühendisliği (Lisans)  
CGPA: 73.6 / 100.0

2000-2003 Bolvadin Lisesi – Afyonkarahisar / Türkiye  
CGPA: 4.76 / 5.00

## İŞ/STAJ TECRÜBESİ

2009-2012 Matematik Öğretmenliği – (Milli Eğitim Müdürlüğü)

2008-2009 İngilizce Öğretmenliği – (Milli Eğitim Müdürlüğü)

**Yaz Stajı** – 13.08.2007-15.09.2007 Türkiye Atom Enerjisi Kurumu/İstanbul-Turkey  
Çekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi

*Sağlık Fiziği, Endüstriyel Uygulamalar, Fizik, Nükleer Elektronik ve Nükleer Reaktör Teknolojileri Bölümleri*

**Yaz Stajı** – 17.07.2006 – 18.08.2006 Afyon Kocatepe Üniversitesi, A.N.S. Araştırma ve Uygulama Hastanesi - Nükleer Tıp Servisi

*Gamma Camera- Isotop Generator Tc-Mo*

## **DİL YETKİNLİĞİ**

Türkçe ( Anadil )  
İngilizce ( Çok İyi )  
Arapça ( Başlangıç )

## **BİLGİSAYAR BİLGİSİ**

Windows 98/XP/Vista/7 İşletim Sistemleri  
Linux İşletim Sistemi (Ubuntu 9.+, Pardus )  
MS Office Programları (Excel, Word, Access, Powerpoint)

Fortran 90 Programlama  
Visual Basic 6.0 Programlama  
Talyx 1.2 (Nukleer Reaksiyon Programı)  
Photoshop 6.0

## **SERTİFİKALAR**

İngilizce Öğretmenliği Sertifikası 2007 GÜSEM

## **İLGİ ALANLARI**

Bilgisayar  
Simülasyonlar  
Müzik Dinlemek  
Futbol oynamak, Basketbol maçları izlemek  
Yüzmek  
Kitap Okumak