



**DÖRDÜNCÜ PERİYOT ELEMENTLERİNDE
İNELASTİK NÖTRON SAÇILMASININ
DİFERANSİYEL TESİR KESİTİ HESABI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet BÜYÜKTÜRKMEN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK

FİZİK ANABİLİM DALI

Haziran 2019

Bu tez çalışması 17.FEN.BİL.08 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÖRDÜNCÜ PERİYOT ELEMENTLERİNDE İNELASTİK
NÖTRON SAÇILMASININ DİFERANSİYEL TESİR KESİTİ
HESABI

Mehmet BÜYÜKTÜRKMEN

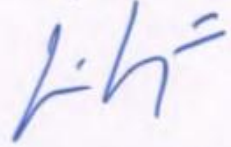
Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK

FİZİK ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Mehmet BÜYÜKTÜRKMEN tarafından hazırlanan “Dördüncü Periyot Elementlerinde İnelastik Nötron Saçılmasının Diferansiyel Tesir Kesiti Hesabı” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 18/ 06 /2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	: Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL Uşak Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi	
Üye	: Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi	

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

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

18/06/2019

Mehmet BÜYÜKTÜRKMEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÖRDÜNCÜ PERİYOT ELEMENTLERİNDE İNELASTİK NÖTRON SAÇILMASININ DİFERANSİYEL TESİR KESİTİ HESABI

Mehmet BÜYÜKTÜRKMEN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK

Gelecekte, güvenliliği ve çevreye olan minimum etkisi açısından nükleer füzyon en önemli enerji kaynaklarından biri olabilir. Füzyon, CO₂ ve SO₂ üretemeyeceğinden dolayı küresel ısınmayı veya asit yağmurları gibi zararlı çevresel sorunları önleyecektir. Füzyon reaktörlerinin devreye girmesi ile birlikte füzyon-fisyon reaksiyonlarını birleştiren hibrid reaktörlerinin geliştirilmesi gündeme gelmektedir. Ayrıca reaktörde üretilen radyoaktif çekirdeklerinin yarı ömürleri genellikle kısadır. Bundan dolayı bu çekirdeklerin tesir kesitlerinin doğrudan ölçülmesi mümkün değildir. Bu nedenle deneysel ve yarı deneysel reaksiyon tesir kesiti formülleri teorik olarak bu tesir kesitlerini tahmin etmek için geliştirilmektedir. Nükleer füzyon reaktörlerinde, reaksiyon sonucunda oluşan nötronlar reaktör yapı malzemesi olarak kullanılan çeşitli elementler ile inelastik saçılma reaksiyonu gerçekleştirebilir. İnelastik saçılma reaksiyonunun gerçekleşme olasılıklarının belirlenerek füzyon reaktör yapı araştırmalarına katkıda bulunmak amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Bu tez çalışmasında, 14,1 MeV enerjiye sahip nötronların ⁵²Cr ve ⁵⁶Fe çekirdeğinden; 14,6 MeV enerjiye sahip nötronların ⁵⁹Co hedef çekirdeğinden inelastik saçılma diferansiyel tesir kesitleri TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kodu ile hesaplanmıştır. Hesaplanan diferansiyel tesir kesitleri ile EXFOR kütüphanesinde bulunan deneysel diferansiyel tesir kesitleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre kullanılan hedef çekirdeklerin diferansiyel tesir kesitleri karşılaştırıldığında deneysel ve teorik verilerin uyumlu olduğu görülmüştür.

2019, viii + 37 sayfa

Anahtar Kelimeler: Nükleer Reaksiyonlar, Nükleer Saçılma, TALYS 1.8, EXFOR

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**CALCULATION OF THE DIFFERENTIAL CROSS SECTION OF INELASTIC
NEUTRON SCATTERING IN FOURTH PERIOD ELEMENTS**

Mehmet BÜYÜKTÜRKMEN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Asst. Prof. Bekir ORUNCAK

Nuclear fusion can be one of the most important energy sources because of its safety and minimum effects on environment in future. Because fusion cannot produce CO₂ and SO₂, it will prevent global warming or environmental problems like acid rains. By interceding of fusion reactors, improving of hybrid reactors which connects fusion-fission reactions comes up. Furthermore, radioactive nucleus half-lives which are produced in reactors are generally short. For this reason, it is not possible to measure cross section of these nucleus directly. Therefore, cross section formulas of experimental and semi-experimental reaction are improved in order to estimate this cross section theoretically. In nuclear fusion reactors, neutron which are formed as a result of reaction can make up. Inelastic scattering reaction with various elements which are used as a reactor construction material. This study is conducted for the aim of contributing to fusion reactor construction researches by determining possibility of actualization of inelastic scattering reaction. In this thesis, differential cross section is measured with TALYS 1.8 nuclear reaction code for neutrons which have 14.1 MeV energy inelastic scattering from ⁵²Cr and ⁵⁶Fe, neutrons which have 14.6 MeV energy inelastic scattering from ⁵⁹Co target nucleus. Differential cross section which is measured and experimental differential cross section which is in EXFOR library are compared. As a result of studies, when differential cross sections of target nucleus are compared, it is seen that experimental and theoretical data are compatible.

2019, viii + 37 pages

Keywords: Nuclear Reactions, Nuclear Scattering, TALYS 1.8, EXFOR

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması 17.FEN.BİL.08 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon (BAPK) Birimi tarafından desteklenmiştir.

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN ve Prof. Dr. Hüseyin Ali YALIM'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

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

Mehmet BÜYÜKTÜRKMEN
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
GRAFİKLER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Nükleer Reaksiyonlar	3
1.1.1 Doğrudan (Direkt) Reaksiyonlar	6
1.1.2 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları.....	7
1.1.3 Denge Öncesi Reaksiyonlar	9
1.2 Nükleer Saçılma	10
1.2.1 Elastik Saçılma	11
1.2.2 İnelastik Saçılma	12
1.3 Nükleer Reaksiyon Tesir Kesiti.....	13
1.4 Diferansiyel Tesir Kesiti.....	16
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	18
3. MATERYAL ve METOT	21
3.1 TALYS 1.8	21
3.2 EXFOR Veri Kütüphanesi.....	23
3.3 Tez Çalışmasında Kullandığımız Elementler	23
3.3.1 Krom (Cr) Elementi.....	23
3.3.2 Demir (Fe) Elementi.....	24

3.3.3 Kobalt (Co) Elementi	24
4. BULGULAR	25
4.1 $^{52}\text{Cr}(n, n')^{52}\text{C}$ Reaksiyonunun Diferansiyel Tesir Kesiti Hesaplamaları	25
4.2 $^{56}\text{Fe}(n, n')^{56}\text{Fe}$ Reaksiyonunun Diferansiyel Tesir Kesiti Hesaplamaları	27
4.3 $^{59}\text{Co}(n, n')^{59}\text{Co}$ Reaksiyonunun Diferansiyel Tesir Kesiti Hesaplamaları.....	29
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	31
6. KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	37



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama ışını
p	Proton
n	Nötron
A	Atom numarası
Z	Kütle numarası
E_K	Kinetik enerji
P	Lineer momentum
fm	Femtometre
σ	Sigma (Tesir kesiti)
$d\sigma/dE$	Enerji diferansiyel tesir kesiti
mb	Milibarn
keV	Kiloelektronvolt
MeV	Megaelektronvolt
GeV	Gigaelektronvolt

Kısaltmalar

IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
EXFOR	Exchange Format
NRDC	Nükleer Reaksiyon Veri Merkezleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Bir nükleer reaksiyonun momentum vektörlerinin geometrik gösterimi	6
Şekil 1.2 Bileşik çekirdeğin oluşturabileceği reaksiyonların enerji-seviye diyagramı	8
Şekil 1.3 Çıkan parçacık spektrumuna reaksiyon mekanizmalarının katkıları (Koning et al. 2017).....	10
Şekil 1.4 Gönderilen parçacığın hedeften saçılma durumundaki nükleer etkileşmeler (Martin 2013)	11
Şekil 1.5 Nötron inelastik saçılma (İnt. Kay. 1).....	13
Şekil 1.6 Bir hedefe çarpan parçacık demeti (Lamarsh 2015)	13
Şekil 1.7 Gelen demet, hedef ve $d\Omega$ katı açısına saçılan parçacıkları gösteren şematik diyagram.....	16

GRAFİKLER DİZİNİ

Sayfa

Grafik 4.1	$^{52}\text{Cr}(n, n')^{52}\text{C}$ reaksiyonunun, hesaplanan diferansiyel tesir kesitlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması	26
Grafik 4.2	$^{56}\text{Fe}(n, n')^{56}\text{Fe}$ reaksiyonunun, hesaplanan diferansiyel tesir kesitlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması	28
Grafik 4.3	$^{59}\text{Co}(n, n')^{59}\text{Co}$ reaksiyonunun, hesaplanan diferansiyel tesir kesitlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması	30



1. GİRİŞ

Nükleer fizik, Henri Becquerel'in 1896 yılında atom çekirdeğinin varlığını gösteren bir durumu keşfetmesi ve Rutherford'un 1911'de çekirdeğin varlığını ileri süren hipotezi ile başlamıştır. Çekirdeğin yapısı ve işleyişi oldukça karmaşık ve bu yapılar bir biçimde birbiriyle alakalıdır. Çekirdeğin bu karmaşık yapısını açıklayabilmek için de deneysel ve teorik çalışmalar yapılmaktadır. Bu yüzden de nükleer fizikteki deneysel ve teorik çalışmalar oldukça önem kazanmaktadır. Bu deneysel ve teorik çalışmalar 20. yy fiziğindeki gelişmelere önemli bir katkı sağlamaktadır.

Genelde doğal oluşan çekirdekler kararlı bir yapıya sahiptir. Bu çekirdeklerin barındırdığı özellikleri ortaya çıkarmak için ise bilim insanları bu çekirdekler üzerinde çeşitli çalışmalar yapar ve sonuçları kayıt altına alırlar. Bu çalışmalarını ise genel anlamda, hedef olarak seçilen bir çekirdeğe mermi parçacıkları göndererek yaparlar. Bunu yapmadaki temel amaç hedef çekirdek ile mermi parçacığının etkileşmesiyle nükleer bir reaksiyon meydana getirmektir. Bu nükleer etkileşmeler sonucunda çeşitli reaksiyonlar meydana gelebilir. Bu nükleer reaksiyonlar ise nükleer yapının ya da nükleer davranışın belirli bir yönünü açıklayabilir (Lilley 2018).

Hedef çekirdek ile hedefe gönderilen mermi parçacığı arasındaki etkileşme olasılığı tesir kesiti kavramı ile tanımlanmaktadır. Tesir kesiti kavramı, nükleer süreçlerde reaksiyonun gerçekleşme olasılığının bir ifadesi olduğu için oldukça önemlidir. Nükleer fizik başta fizik bilimin gelişmesi ve buna paralel olarak günümüz teknolojisinin birçok alanının gelişmesine katkı sağlamaktadır. Bu yüzden de geniş çapta uygulama alanı bulabilmektedir. Başta enerji sorununun çözümü için fisyon ve füzyon reaktörlerin tasarımı ve zırhlaması, çeşitli hastalıkların teşhis ve tedavisi amacıyla nükleer tıpta, evreni anlama ve açıklamak için astronomi çalışmalarında ve daha birçok alanda nükleer fiziğin uygulamaları önem kazanmaktadır.

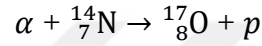
Nükleer reaksiyonu başlatabilmek için çeşitli mermi parçacıkları kullanılabilir. Protonlar, α parçacıkları, döteronlar ve diğer pozitif yüklü parçacıklar Coulomb kuvvetleriyle etkileştikleri için Coulomb engeli ile karşılaşılır ve bu engeli aşabilmek

için ise bir enerjiye sahip olmaları gerekir. Nötronlar ise kuark yapısından dolayı elektriksel olarak nötr oldukları için bir Coulomb engeli ile karşılaşmazlar ve enerjileri düşük olsa bile ekzotermik reaksiyonlar başlatabilirler. Nötronların bu önemli özelliği de nükleer enerji üretimine bir temel oluşturmaktadır (Lilley 2018).

Nötronun keşfinden sonra nötron ile ilgili çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde nötron demetlerinin uranyum çekirdeklerine gönderildiğinde uranyumun orta ağırlıkta iki elemente dönüştüğu ve bunun sonucunda da büyük bir enerjinin açığa çıktığı görölmüştür. Filyon adı verilen bu olayda çok sayıda nötron oluşur ve bu nötronlar yeni filyon reaksiyonları gerçekleştirir. Reaksiyon, zincir reaksiyon şeklinde devam eder ve bu durum fazla miktarda enerjinin açığa çıkmasına sebep olur. Bu zincir reaksiyonun kararsız olmasından dolayı bu reaksiyon kontrol altına alınmazsa reaksiyon çok hızlı bir şekilde büyür ve bu durum filyon bombasına temel oluşturur. Bu reaksiyonların kararlı tutulabilir olmasıyla birlikte de nükleer güç santralleri oluşturulmuştur. Nükleer enerjinin kullanıldığı yapılara reaktör denir. Bu reaktörlerin iç yapısı yani reaktör kalbi; yavaşlatıcı ve yakıt kaplaması, yakıt karışımı, yapısal bileşenler gibi diğer materyallerden oluşur. Bu reaktör kalbini, reaksiyon esnasında dışarı sızabilecek nötronları kayıp olmadan reaktörün kalbinde tutabilmek için düşük soğurma ve yüksek saçılma olasılığına sahip olan bir malzemeden üretilen yansıtıcı ile evrelemenin önemi de oldukça büyüktür.

1.1 Nükleer Reaksiyonlar

Radyoaktif bir kaynaktan ya da reaktör ve hızlandırıcı gibi bir yapıdan çıkan belli bir enerjiye sahip parçacıkların madde üzerine düşürülmesi durumunda nükleer bir reaksiyonun gerçekleşmesi mümkündür. Rutherford, radyoaktif bir kaynaktan çıkan α parçacıklarını kullanarak ilk nükleer reaksiyonu gerçekleştirmiştir. Rutherford bu deneylerin bazılarında α parçacıklarının hedef çekirdekten elastik olarak geri saçıldığını gözlemlemiştir. Rutherford saçılması olarak bilinen bu olay atom çekirdeğinin varlığının ilk delilidir. Rutherford 1919’ da yaptığı diğer deneylerinde,

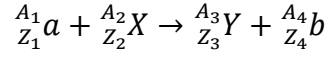


reaksiyonundaki gibi hedef çekirdeğindeki değişimi gözlemlemiştir (Krane 2002).

Hedef çekirdeklere belirli bir enerjiye sahip parçacıklar (mermiler) gönderirsek hedef çekirdeğin başka bir çekirdek haline geçmesini sağlayabiliriz. Bunun için kullanılan başlıca parçacıklar alfa (α), proton (p), nötron (n), elektron (β^-) ve döteron (d) dur. Bu parçacıklar çekirdeğe yaklaştıkları zaman Coulomb kanununa göre elektrostatik itme kuvveti ile karşılaşırlar (Nötronlar, nötr olduğundan dolayı çekirdeğin elektrik yükünden etkilenmezler). Gönderilen parçacığın kinetik enerjisi yeterli düzeyde ise, parçacık çekirdeğin içine girer ve güçlü nükleer kuvvetlerin etkisinde kalarak bileşik bir çekirdek meydana getirir. Bir parçacık çekirdeğe girdiğinde çeşitli olaylar meydana gelebilir:

1. Parçacık çekirdek ile etkileşir ve burada hiçbir enerji değişimi meydana getirmeden saçılır bu duruma elastik saçılma denir. Bu durumda elastik saçılma kanunlarına göre enerji ve momentum korunumu sağlanır. Eğer çekirdek ile etkileşen parçacık bir enerji değişimi meydana getiriyor ise bu duruma ise inelastik saçılma denir. İnelastik saçılmada çekirdek uyarılmış halde kalır.
2. Parçacık çekirdek tarafından yakalanır ve çekirdek başka cinsten bir parçacık çıkararak yeni bir çekirdek meydana getirebilir (Yaramış 1985).

Nükleer reaksiyonu genel bir denklem biçiminde aşağıdaki gibi yazabiliriz:



(Murray 2015).

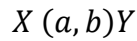
${}_{Z_1}^{A_1}a \rightarrow$ Gelen parçacık

${}_{Z_2}^{A_2}X \rightarrow$ Hedef çekirdek

${}_{Z_3}^{A_3}Y \rightarrow$ Ürün çekirdek

${}_{Z_4}^{A_4}b \rightarrow$ Çıkan parçacık

Y ürün çekirdeği genellikle duran ve doğrudan gözlenemeyen ağır bir ürün iken çıkan parçacık b ise tespit edilebilen ve ölçülebilen hafif bir parçacıktır. Genellikle a ve b nükleon ya da hafif çekirdekler olabilir, ancak b ürün parçacığı bazen γ ışını olabilir; bu reaksiyona ışımalı yakalama reaksiyonu denir. A gelen parçacığının γ ışını olması durumunda ise bu reaksiyona nükleer fotoelektrik olay denir. Bu reaksiyonların kısa gösterimi,



şeklindedir (Krane 2002).

Nükleer iki parçacığın çarpışmasında birçok farklı nükleer reaksiyon meydana gelebilir: Gelen (a) ve çıkan (b) parçacıklar buna bağlı olarak hedef (X) ve ürün (Y) çekirdekler aynı ise bu reaksiyona ‘saçılma reaksiyonu’, ürün çekirdek (Y) ve çıkan parçacık (b) taban durumunda ise ‘elastik saçılma’, eğer ürün çekirdek (Y) ve çıkan parçacık (b) uyarılmış bir durumda ise buna da ‘inelastik saçılma’ denir (Krane 2002).

Nükleer reaksiyonda, çıkan parçacıkların giren parçacıklardan farklı ve ikiden fazla sayıda olabilir. Bu duruma, reaksiyona giren parçacıkların aralarındaki kütle değişimini kapsayan kapma (pick-up) ve soyma (stripping) adı verilen transfer reaksiyonları örnek olarak verilebilir. Genel bir reaksiyon çeşidine örnek ise, gelen parçacığın hedef çekirdek ile kaynaşarak bir bileşik çekirdek oluşturması ve daha sonra bir ya da birden fazla parçacığın yayınlanmasıdır (Lilley 2018).

Bütün nükleer reaksiyonlar aşağıda belirtilen dört temel yasaya uyarlar.

1. Nükleonların korunumu: Nükleonların reaksiyondan önceki ve sonraki toplam sayıları eşittir.
2. Yükün korunumu: Tüm parçacıkların reaksiyondan önceki ve sonraki toplamları eşittir.
3. Momentum korunumu: Parçacıkların reaksiyon öncesi ve sonrası momentum toplamları eşittir.
4. Enerjinin korunumu: Nükleer reaksiyonlarda, durgun kütle enerjisi de dahil reaksiyondan önceki toplam enerji sonraki toplam enerjiye eşittir.

$a + X \rightarrow Y + b$ genel reaksiyon denkleminde göre laboratuvar referans sistemine göre enerji ve çizgisel momentum korunumu kısaca açıklayalım.

Enerji korunumunu;

$$m_x c^2 + E_{K_x} + m_a c^2 + E_{K_a} = m_Y c^2 + E_{K_Y} + m_b c^2 + E_{K_b}$$

şeklinde yazabiliriz. Burada, E_K kinetik enerjiler m ise durgun kütle değerleridir.

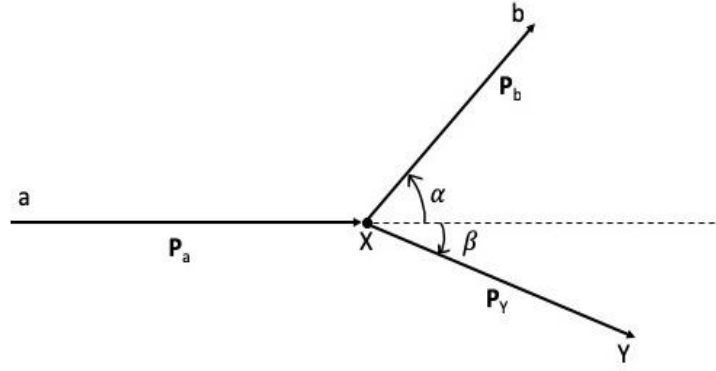
Reaksiyon için Q değerini ise şu şekilde yazabiliriz;

$$Q = (m_x + m_a - m_Y + m_b) c^2$$

$Q > 0$ ise bağlanma enerjisinin ürün çekirdeklere kinetik enerji olarak aktarıldığını gösterir bu reaksiyona ekzotermik reaksiyon,

$Q < 0$ ise burada gelen parçacıkların kinetik enerjisi ürün çekirdeklerde bağlanma enerjisine dönüşür bu reaksiyona ise endotermik reaksiyon denir (Krane 2002).

Reaksiyon sonucunda oluşan ürün parçacıklarının kinetik enerjileri ve hızlarını öğrenebilmemiz için momentum korunumu eşitliklerini de kullanmamız gerekir.



Şekil 1.1 Bir nükleer reaksiyonun momentum vektörlerinin geometrik gösterimi

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi çizgisel momentum korunumunu;

$$P_a = P_b \cos \alpha + P_Y \cos \beta$$

$$0 = P_b \sin \alpha - P_Y \sin \beta$$

şeklinde yazabiliriz (Krane 2002).

1.1.1 Doğrudan (Direkt) Reaksiyonlar

Bu reaksiyon, hedef çekirdeğe gönderilen parçacığın ilk olarak hedef çekirdeğin yüzeyiyle etkileştiği bir reaksiyondur. Gelen parçacığın enerjisinin artmasıyla parçacığın de Broglie dalga boyu, çekirdekteki nükleonlar ile etkileşecek boyutlara kadar küçülecektir. Bu durumu şu şekilde açıklayabiliriz; gelen nükleonun enerjisi 1 MeV ise bu nükleon 4 fm değerinde bir de Broglie dalga boyuna sahip olacaktır ve bundan dolayı tek nükleonları göremeyecektir. Böyle bir durumda bileşik çekirdek reaksiyonunun gerçekleşme ihtimali daha yüksektir. Eğer gelen nükleonun enerjisi 20 MeV ise parçacığın de Broglie dalga boyu 1 fm civarındadır ve bu durumda direkt reaksiyonun gerçekleşme ihtimali daha yüksektir. Direkt reaksiyonların, hedef çekirdeğin yüzeyi civarındaki yaklaşık bir veya birden fazla nükleon ile oluşma ihtimali oldukça yüksektir. Bir reaksiyonda, direkt ve bileşik çekirdek reaksiyonlarının katkılarını belirleyebilmede deneysel olarak gözlenen iki temel fark vardır. Bu farkları şu şekilde ifade edebiliriz:

Direkt reaksiyonlar 10^{-22} s'lik bir zaman diliminde çok hızlı bir şekilde gerçekleşir iken bileşik çekirdek reaksiyonları, genel olarak $10^{-16} - 10^{-18}$ s aralığında değişen daha uzun bir zaman diliminde gerçekleşir. Bileşik çekirdek reaksiyonlarındaki bu fazla zaman enerjinin dağılımı ve enerjinin yeniden yoğunlaşması için gerekli bir zamandır.

Direkt reaksiyonlarda saçılan parçacığın açısal dağılımının, bileşik çekirdek reaksiyonların açısal dağılımına göre daha keskin pikler oluşturma eğilimi vardır (Krane 2002).

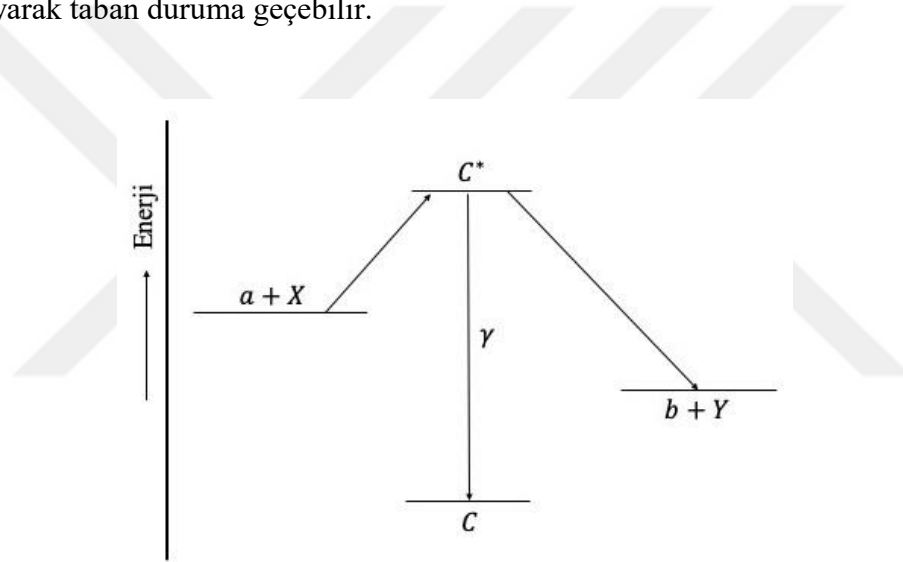
İnelastik saçılmada hedef çekirdek taban durumda iken uyarılmış duruma geçer. İnelastik saçılma, gelen parçacığın enerjisine göre direkt reaksiyon ya da bileşik çekirdek reaksiyonu ile oluşabilir. Transfer reaksiyonuna bir örnek olan (d, n) döteron soyma reaksiyonu da direkt ve bileşik çekirdek reaksiyonu ile gerçekleşebilir. (d, p) döteron soyma reaksiyonunun ise direkt reaksiyon mekanizması ile oluşma olasılığı daha yüksektir. Bunu sebebi ise protonun bileşik çekirdekten uzaklaşmasının Coulomb engeli tarafından engellenmesidir.

1.1.2 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları

Çekirdeğin yarıçapından daha küçük bir çarpışma parametresi ile bir hedef çekirdeğe gönderilen parçacığın çekirdek içine girdiğini düşünelim. Gönderilen parçacığın bir saçılma ile hedef çekirdeğin nükleonları ile etkileşme ihtimali oldukça yüksektir. Geri tepen nükleon ve enerjisi azalmış gelen parçacık diğer nükleonlarla art arda çarpışmalar yapmaya devam edebilir ve birkaç etkileşmeden sonra gelme enerjisi, gelen parçacık ve hedef çekirdeğin nükleonları arasında paylaşılır. Nükleonların ortalama enerji artışları çekirdeği terk edecek kadar yeterli değildir, ancak rastgele çarpışmalar oluşurken enerjilerindeki istatistiksel dağılım sonucu tek bir nükleonun çekirdeği terk etmesine yetecek kadar bir enerjiye sahip olma ihtimali vardır. Böyle reaksiyonlarda, gelen parçacığın soğrulmasından sonra ve giden parçacığın yayınlanmasından önce belirli bir ara durum oluşur. Bu ara durumu **bileşik çekirdek** denir (Krane 2002).

Bu çekirdeğe bileşik denmesinin sebebi gelen parçacık ile hedef çekirdeği barındırmasıdır. Ve hem gelen parçacık hem de hedef çekirdek kendi kimliğini kaybetmiştir. Gelen parçacığın kinetik enerjisi ve hedef çekirdeğin gelen parçacığı soğurmasıyla açığa çıkan bağlanma enerjisinden dolayı bileşik çekirdek, uyarılmış bir durum teşkil eder. Bileşik çekirdek kararsızdır. Reaksiyonu $X(a, b)Y$ olarak gösterirsek bileşik çekirdek $X + a$ durumuna bozunmalıdır. Eğer bu duruma bozunmuyor ise diğer durumlara bozunmalıdır. Bu durumu Şekil 1.2'deki diyagramdaki gibi gösterebiliriz.

Burada, C^* uyarılmış durumdaki bileşik çekirdeği gösterir. Bileşik çekirdek, $(a + X)$ durumuna bozunabileceği gibi $(b + Y)$ durumuna da bozunabilir veya bir γ ışını yayımlayarak taban duruma geçebilir.



Şekil 1.2 Bileşik çekirdeğin oluşturabileceği reaksiyonların enerji-seviye diyagramı

Yukarıdaki durumda olduğu gibi bu tip reaksiyonlarda saçılma kısmi tesir kesitlerinde bir pik görmeyi bekleyebiliriz.

Bileşik esnek saçılmayı	$a + X \rightarrow C^* \rightarrow a + X$
Bileşik nükleer reaksiyonu	$a + X \rightarrow C^* \rightarrow b + Y$
Bileşik ısımalı yakalamayı	$a + X \rightarrow C^* \rightarrow \gamma + C$
Bileşik esnek olmayan saçılma	$a + X \rightarrow C^* \rightarrow a + X^*$

reaksiyonları oluşabilir.

1.1.3 Denge Öncesi Reaksiyonlar

Nükleer reaksiyonlarda, hedef çekirdeğe belirli bir enerjiye sahip parçacıklar gönderildiği zaman belirli enerji değerlerinde reaksiyonun oluşma ihtimalinin arttığı ve bir maksimum durumun olduğu görülmektedir. Hedefe gönderilen parçacığın reaksiyon sonucunda oluşan ürün çekirdeğin uyarılma enerjisine eşit bir enerjiye sahip olduğu durumda, çekirdeğin parçacığı yakalama ihtimalinin oldukça yüksek olduğu belirtilmektedir. Bu maksimum durumlar rezonans olayı ile açıklanmaktadır (Büyükuslu 2010).

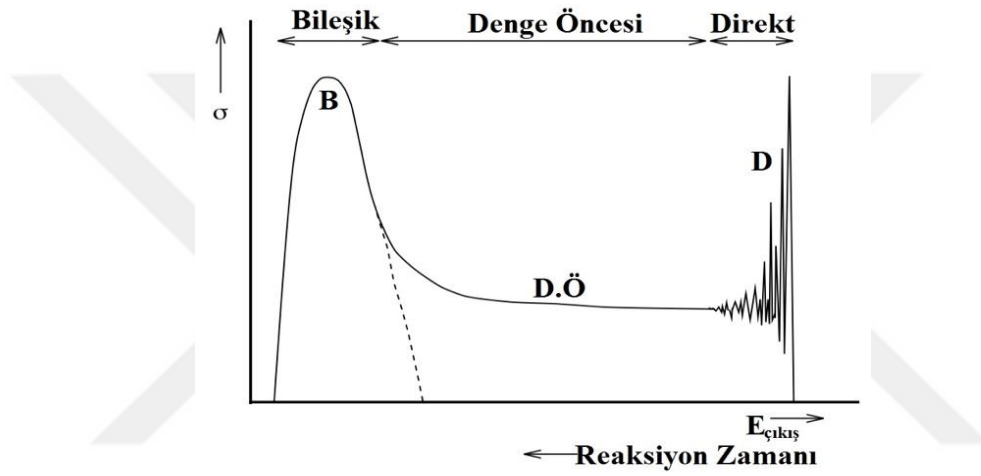
Bileşik çekirdek reaksiyonlarının genel anlamda bileşik çekirdeğin taban durumundan yaklaşık 8-10 MeV üzerindeki seviyelere kadar olan durumlarda olduğu belirtilir. Enerji seviyelerinin yoğun olduğu bu durumda enerji seviyeleri daha çok genişler ve çakışır. Yoğunlukların artmasıyla seviyeler ayırt edilemez bir durum oluşturur ve bazı enerji durumlarında reaksiyonun tesir kesiti rezonansların etkilerinin toplamına eşit olduğu söylenebilir. Enerjinin artması ile toplam tesir kesitinde dalgalanma durumu gözlemlendiği belirtilmektedir. Ancak daha çok sayıda ve daha geniş rezonansların toplanmasıyla dalgalanmaların azaldığı, bu durumun ise dalgalanmaların ortadan kalkması ve tesir kesitinin enerji ile değişimi düzgün oluncaya kadar devam ettiği belirtilmektedir. Bu reaksiyon mekanizması da bileşik çekirdek reaksiyonundan direkt reaksiyon mekanizmasına dönüşümü ifade etmektedir (Williams 2014).

Nötron kaynaklı gerçekleşen reaksiyonlarda, direkt nükleer reaksiyonlar ve bileşik çekirdek reaksiyonlarından farklı olan denge öncesi reaksiyonların varlığı belirlenmiştir. Gelme enerjisinin 10 MeV üzerindeki reaksiyonlarda, direkt reaksiyon durumundan sonra çekirdeğin termal veya istatistiksel dengeye ulaşmasından önce parçacık yayınlanmasının mümkün olabileceği belirtilmektedir. Bu durum denge öncesi nükleer reaksiyonlar olarak açıklanmaktadır. Denge öncesi reaksiyon süreçlerinin direkt ve bileşik çekirdek reaksiyonlarından farklı sonuçlar verdiği belirtilmektedir.

Denge öncesi reaksiyon mekanizmalarını inceleyen temelde dört model vardır. Bunlar; Full Exciton Modeli, Cascade Exciton Modeli, Hibrid modeli ve Geometri Bağımlı

Hibrid Modeli'dir. Bu modellerin ortak özelliklerini kısaca açıklarsak: Bütün modellerin istatistiksel yöntemler içerdiği; bu modeller ile yayınlanan parçacıkların tesir kesitlerinin ve toplam enerji spektrumlarının hesaplanmasının pratik bir şekilde yapıldığı; bu modellerde çekirdek yapısının ve açısal momentumun etkisinin hesaba katılmadığı belirtilmektedir.

Nükleer reaksiyon süreçlerini reaksiyon zamanı ve yayınlanma enerjilerine bağlı grafiği Şekil 1.3 teki gibi gösterilmektedir.



Şekil 1.3 Çıkan parçacık spektrumuna reaksiyon mekanizmalarının katkıları (Koning *et al.* 2017)

1.2 Nükleer Saçılma

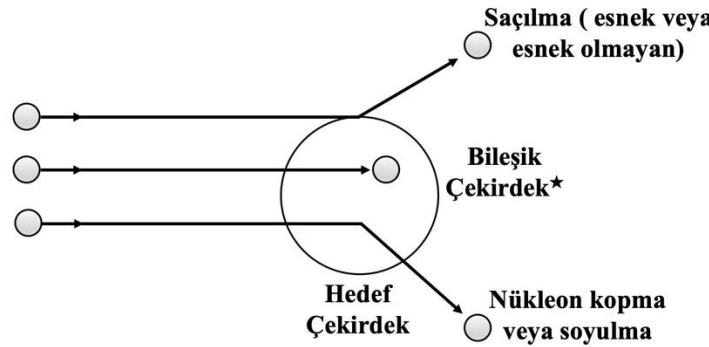
Nükleer reaksiyonlarda etkileşmelerin üç şekilde oluştuğu belirtilmektedir. Bu durumlar:

Saçılma reaksiyonları; hedefe gönderilen parçacığın hedeften saçılma esnasında enerjisinin bir miktarını hedef çekirdeğe aktarmaktadır. Esnek ve esnek olmayan saçılma olarak ikiye ayrılır. Çekirdeğin taban enerji seviyesinde bulunması durumunda saçılma esnek, çekirdek uyarılmış enerji seviyesinde bulunuyorsa saçılma esnek olmayan saçılma olmaktadır.

Kapma ve soyulma reaksiyonları; hedefe gönderilen parçacık yüksek enerjili olması durumunda hedeften nükleon kopması (pick up) veya parçacığın nükleon kaybetmesi (stripping) ile açıklanmaktadır. Bu durum nükleonun hedef çekirdekteki nükleonları rahatsız etmeden hedef çekirdekteki bir kabuğa girmesi veya terk etmesi ile açıklanmaktadır.

Soğurma reaksiyonları; hedef çekirdeğin gönderilen parçacığı soğurması ve sonra çekirdeğin değişime uğrayarak uyarılmış bir atom olması ile açıklanmaktadır. Bu olay bileşik çekirdeğin yaklaşık 10^{-16} s sonra uyarılmış durumdan çıkması ve parçalanması ile açıklanmıştır.

Bu etkileşmelerde enerji ve momentum değişiminin oluşmasından dolayı çekirdeğin geri tepmesi ve gönderilen parçacığın yavaşlaması durumlarının oluştuğu bilinmektedir (Martin 2013).



Şekil 1.4 Gönderilen parçacığın hedeften saçılma durumundaki nükleer etkileşmeler (Martin 2013)

1.2.1 Elastik Saçılma

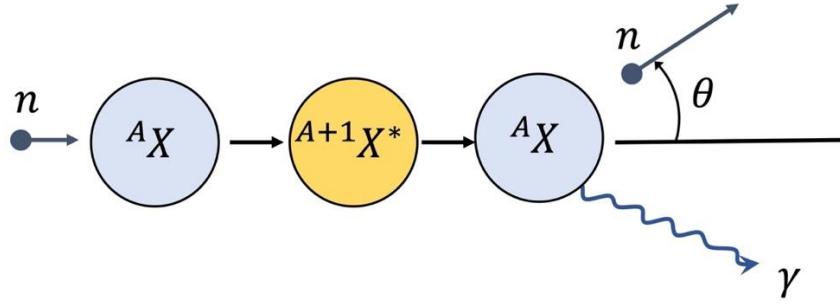
Hedef çekirdeğe gönderilen mermi parçacığının çarpışması olayında toplam kinetik enerjinin kaybolmadığı durum elastik saçılma olarak tanımlanmaktadır. Coulomb saçılmasının (Rutherford saçılması) bu durumun en bilinen örneği olduğunu söyleyebiliriz. Temel parçacıkların ve çekirdeklerin geneli bir yüke sahip olduklarından saçılma durumlarında Coulomb saçılması ile sıklıkla karşılaşılır (Lilley 2018).

Nötronlar net bir yüke sahip olmadıklarından Coulomb kuvvetleri ile etkileşmezler. Nötronların madde ile etkileşebilmesi için çekirdek kuvvetlerinin etkisi altında kalmaları veya çekirdeğe girmeleri gerekmektedir. Nötronun, bir hedef çekirdeğe çarpması ile sahip olduğu kinetik enerjinin bir miktarını çekirdeğe aktardıktan sonra gelme doğrultusundan farklı doğrultuda saparak çekirdekten uzaklaştığını söyleyebiliriz. Bu olayda hedef çekirdeğin fiziksel yapısında bir değişiklik olmayacaktır. Bu çarpışmada enerji ve momentum korunumu kanunları geçerlidir. Burada çekirdeğin kütesinin küçük olması çekirdeğin kazanacağı kinetik enerjinin büyük olmasına sebep olmaktadır. Elastik çarpışmanın, nötronun sahip olduğu bütün kinetik enerji değerlerinde oluşabileceğini söyleyebiliriz (Yaramış 1974).

1.2.2 İnelastik Saçılma

İnelastik saçılmada reaksiyona giren ürünler ile reaksiyon sonucunda oluşan son ürünler aynıdır. Reaksiyondan önceki sahip olunan kinetik enerjinin bir miktarının, γ salınımı ile bozunabilecek olan parçacıkları uyarmak için kullanıldığı söylenebilir. Çekirdeğin iç yapısı hakkında bilgi sahibi olmak oldukça önemlidir. Bu yüzden inelastik saçılma reaksiyonlarının, uyarılmış nükleer reaksiyon özelliklerinin tespit edilmesi açısından önemli reaksiyonlar olduğunu belirtebiliriz (Lilley 2018).

İnelastik saçılmada nötronun, öncelikle hedef çekirdeğin içine girmesi ve bu durumdan dolayı da hedef çekirdeğin fiziksel yapısını değiştirdiği belirtilmektedir. Çok kısa bir zamanda gerçekleşen bu olayda nötron sahip olduğu kinetik enerjisinin bir miktarını çekirdeğe aktararak, hedef çekirdeğe geliş doğrultusundan farklı bir doğrultuda ve gelme kinetik enerjisinden daha küçük bir enerji ile çekirdekten ayrılacaktır. Nötronun çekirdekten ayrılmasından sonra uyarılmış hedef çekirdek γ ışını yayınlayarak içinde oluşan fazla enerjiyi dışarı gönderecektir. Ve böylece çekirdek temel enerji düzeyine geçecektir. İnelastik saçılmanın, enerji bakımından hızlı nötronlar ile gerçekleştiğini söyleyebiliriz (Yaramış 1985).



Şekil 1.5 Nötron inelastik saçılma (İnt. Kay. 1)

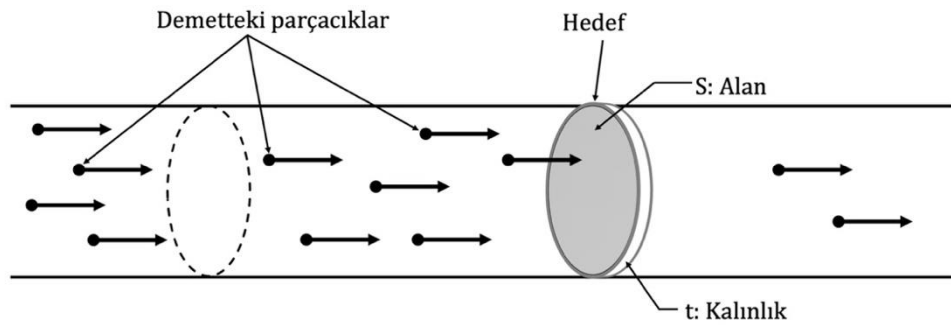
1.3 Nükleer Reaksiyon Tesir Kesiti

İki parçacık arasında bir çarpışmanın oluşabilme olasılığını gösteren niceliği **tesir kesiti** kavramı ile açıklayabiliriz. Tesir kesiti, çarpışmanın gerçekleştiği parçacıkların doğası ve aralarındaki kuvvetlerle ilişkilidir. Yapılan bu ölçümlerin sayesinde reaksiyon mekanizmaları hakkında önemli bilgilerin elde edildiğini söyleyebiliriz. Tesir kesitinin bilinmesi, gelen demet akısının, hedefin kalınlığı ve yoğunluğunun bilinmesi koşuluyla beklenen çarpışma sayısının tahminine olanak verecektir (Williams 2014).

Şekil 1.6 da görüldüğü gibi aynı yönde hareket eden mermi parçacıklarının durağan bir hedef üzerine hareket ettiğini düşünelim. Burada akıyı (Φ), hareket yönünde dik doğrultudan birim zamanda birim alandan geçen parçacık sayısı ile ifade edebiliriz. Mermi parçacıkları aynı ϑ hızı ile hareket ediyor ise akıyı şu şekilde tanımlayabiliriz;

$$\Phi = n_p \vartheta$$

n_p : Mermi parçacıklarının yoğunluğu.



Şekil 1.6 Bir hedefe çarpan parçacık demeti (Lamarsh 2015)

Mermi parçacıklarının hızları genel olarak bir dağılıma sahiptir bu durumda, mermi parçacıklarının yoğunluğunu ϑ ile $\vartheta + d\vartheta$ aralığında tanımlanan $n_p(\vartheta) d\vartheta$ şeklinde yazabiliriz. Bu durumda akı;

$$\Phi = \int \vartheta n_p(\vartheta) d\vartheta$$

integrali ile tanımlanmaktadır.

A (a, b)B reaksiyonunun belirli bir hızda gerçekleştiğini düşünelim. Hedef çekirdeklerin bağımsız olarak hareket etmesi durumunda parçacık demeti ile etkileşime giren çekirdek başına olay hızının (reaksiyon hızı) gelen akı ile orantılı olduğunu belirtebiliriz. Bu orantı sabiti ise, *tesir kesiti* (σ) olarak ifade edilir. Ve tesir kesitini;

$$\sigma = \frac{\text{çekirdek başına olay hızı}}{\text{gelen akı}}$$

şeklinde yazılabilir. Gelen parçacık demeti ile N tane hedef çekirdeğin etkileşmesi durumunda reaksiyon hızı;

$$R = N\sigma\Phi$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Şekil 1.6 demet parçacıklarının şiddeti, $I = \Phi S$ şeklinde tanımlanmaktadır. Burada I , birim zamandaki parçacık sayısı, S ise demetin gördüğü kesit alanı olarak verilmektedir. Reaksiyon hızı için ifadeyi şu şekilde de yazabiliriz;

$$R = \frac{N\sigma I}{S} = I\sigma n_t t$$

n_t : Birim hacim başına hedef çekirdek sayısı

t : Hedef kalınlığı

Burada n_t ifadesini, atomik kütle birimi (M_A), hedefin yoğunluğu (ρ) ve Avogadro sayısı (N_A) kullanılarak;

$$n_t = \frac{\rho N_A}{M_A}$$

şeklinde ifade edilirse reaksiyon hızı;

$$R = \frac{I(\rho t)\sigma N_A}{M_A}$$

ile verilebilir.

Burada (ρt), hedef madde miktarının bir ölçüsüdür ve birim alan başına kütle birimini ifade etmektedir.

Tesir kesitini, alan boyutunda, ancak reaksiyon oluşma olasılığı ile orantılı bir nicelik olarak belirtilmektedir. Tesir kesitinin en çok kullanılan birimi barn (b)'dır. Ve barn ifadesi SI birimi cinsinden, $1 b = 10^{-28} m^2$ dir (Lilley 2018).

Nötronların çekirdek ile etkileşimleri durumundaki her reaksiyon için karakteristik bir tesir kesiti tanımlanmaktadır.

σ_e : esnek saçılma tesir kesiti

σ_i : inelastik saçılma tesir kesiti

σ_γ : ışımalı yakalama tesir kesiti

σ_f : fisyon tesir kesiti

Yukarıda verilenler ve bunların dışındaki diğer reaksiyonlar için tüm olası reaksiyonların tesir kesitlerinin toplamı toplam tesir kesiti olarak tanımlanmaktadır. Bu durum şu şekilde yazılabilir;

$$\sigma_t = \sigma_e + \sigma_i + \sigma_\gamma + \sigma_f + \dots$$

Saçılma tepkimelerini $\sigma_s = \sigma_e + \sigma_i$ ve soğurma tepkimelerini $\sigma_a = \sigma_\gamma + \sigma_f + \dots$

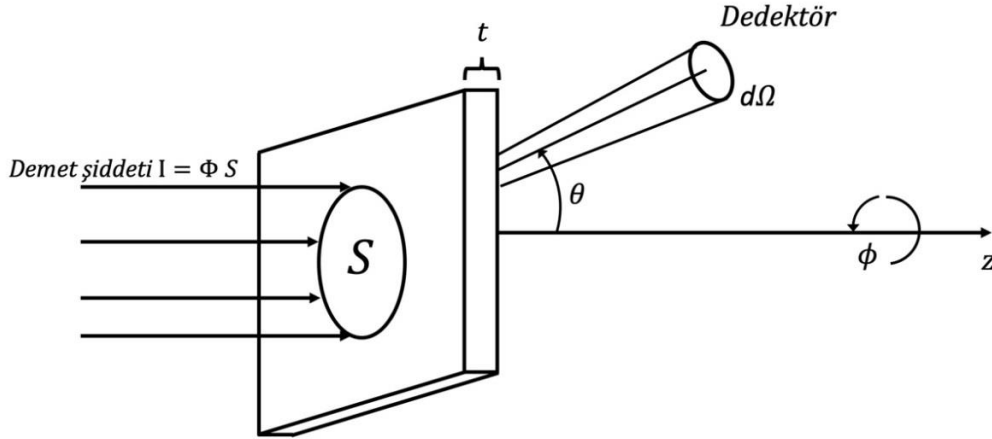
şeklinde yazılması durumunda toplam tesir kesiti genel olarak şu şekilde;

$$\sigma_t = \sigma_s + \sigma_a$$

olduğunu söyleyebiliriz (Lamarsh 2015).

1.4 Diferansiyel Tesir Kesiti

Hedef çekirdek ile mermi parçacıklarının etkileşmesi durumunda farklı türde reaksiyonlar meydana gelmiş ise her tür için tesir kesiti genellikle farklı olabilir. Bu durumdaki tesir kesiti kısmi tesir kesiti olarak adlandırılmaktadır. Kısmi tesir kesitlerinin toplamlarının ise toplam tesir kesitini vereceğini söyleyebiliriz. Nükleer reaksiyon ya da nükleer saçılma sonrasında mermi parçacıkları farklı enerji ve açılara sahip olabilmektedir. Şekil 1.7’de görüldüğü gibi geliş doğrultusu ile θ açısı yaparak $d\Omega$ katı açısını gören bir detektöre giren parçacıkların sayısını bilmek önemlidir. Açıya bağımlı bu tesir kesiti *diferansiyel tesir kesiti* ($d\sigma/d\Omega$) olarak adlandırılmaktadır ve bu birim katı açı başına düşen tesir kesiti olarak verilmektedir (Arya 1999).



Şekil 1.7 Gelen demet, hedef ve $d\Omega$ katı açısına saçılan parçacıkları gösteren şematik diyagram

Diferansiyel tesir kesitini;

$$\sigma(\theta, \phi) = \frac{d\sigma}{d\Omega} \text{ (tesir kesiti/steradyan)}$$

açıya bağlı durumu ile ifade edilmektedir. Burada ürün parçacıklar, N hedef çekirdek sayısı ve Φ akısı ve $d\Omega$ katı açısı ile orantılı $dR(\theta, \phi)$ reaksiyon hızına sahip olduğunu söyleyebiliriz. Bu durumda;

$$dR(\theta, \phi) = \frac{d\sigma}{d\Omega} N\Phi d\Omega = \sigma(\theta, \phi) N\Phi d\Omega$$

ile verilmektedir.

Tesir kesiti (σ) ise, diferansiyel tesir kesitinin tüm θ ve ϕ açıları üzerinden integraline;

$$\sigma = \int \sigma(\theta, \phi) d\Omega$$

eşit olmaktadır (Lilley 2018).

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Nötron ile oluşturulan, nötron saçılma reaksiyonları ve bu saçılma reaksiyonlarında bileşik çekirdek, denge öncesi ve direkt reaksiyon modellerinin katkılarını inceleyen teorik ve deneysel çalışmalar ve nötron inelastik saçılma ile ilgili yapılan diğer çalışmalara bu kısımda yer verilmiştir.

Bayrak tarafından yapılan teorik çalışmada; nötron inelastik tepkimelerinde denge öncesi exciton modeli incelemiştir. $E_n = 14,1 - 14,6 \text{ MeV}$ enerji aralığında gelme enerjisine sahip nötronların ^{55}Mn , ^{56}Fe , ^{93}Nb , ^{181}Ta , ^{197}Au , ^{209}Bi hedef çekirdeklerinden inelastik saçılması için diferansiyel tesir kesitleri hesaplanmıştır. Daha önce bulunmuş deneysel çalışmalar ile hesaplanan diferansiyel tesir kesitleri karşılaştırılmıştır (Bayrak 1997).

Reshid tarafından yapılan tez çalışmasında, ^{181}Ta , ^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{209}Bi , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu çekirdeklerinde nötron inelastik reaksiyonlarının tesir kesitleri, 1-20 MeV nötron enerji aralığında denge ve denge öncesi reaksiyon modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar ise yapılmış olan deneysel sonuçların verileri ile karşılaştırılmış ve nükleer modellerin uygunluğu tartışılmıştır. Hesaplamalar için ise ALICE/ASH ve CEM03.01 bilgisayar programlarını kullanmıştır (Reshid 2009).

Beyer ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, fotonötron kaynağı olan nELBE' de ^{56}Fe çekirdeğinden hızlı nötronların inelastik saçılması incelenmiştir. Yapılan bu deneyde 0,8 – 9,6 MeV enerji aralığında ölçülen inelastik tesir kesitleri, önceki verilerle ve TALYS nükleer reaksiyon kod programının teorik verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu değerlerin %15 oranında uyum içinde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu çalışmada gama ışını spektrumları bir germanyum dedektörü ile gama ışını üretim tesir kesiti ve ^{56}Fe çekirdeğindeki 2^+ , 4^+ ve 6^+ yrast seviye durumları için tesir kesitleri ölçümleri yapılmıştır (Beyer *et al.* 2014).

Zhuravlev ve Titarenko tarafından yapılan deneysel ve teorik çalışmada, 6, 7 ve 8 MeV gelme enerjisine sahip nötronların ^{56}Fe çekirdeğinden inelastik saçılması incelenmiştir.

Burada teorik yapılan hesaplamalarda, bileşik çekirdek, denge öncesi ve direkt etkileşim modelleri çerçevesinde ve Hauser-Feshbach istatistik teorisi GNASH nükleer reaksiyon kod programı kullanılarak yapılmış ve bu teorik hesaplamaları yapmış oldukları deneyin sonuçları ile karşılaştırılması yapılmıştır (Zhuravlev *et al.* 2017).

Vanhoy ve arkadaşları tarafından, 2 ve 6 MeV arasında gelme enerjisine sahip nötronların ^{54}Fe çekirdeğinden elastik ve inelastik saçılmaları incelenmiştir. Bu çalışmada, açığa bağlı diferansiyel tesir kesitleri TALYS nükleer reaksiyon kod programı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, önceki ölçümler ve JENDL, ENDF, TENDL nükleer veri kütüphanelerinde mevcut olan teorik hesaplamaların sonuçları ile karşılaştırmaları yapılmıştır (Vanhoy *et al.* 2018).

Özdoğan tarafından yapılan çalışmada, 14,75 MeV gelme enerjili nötron ile oluşan $^{197}\text{Au}(n, xn)$, 14,1 MeV gelme enerjili nötron ile oluşan $^{208}\text{Pb}(n, xn)$ ve 14,1 MeV gelme enerjili nötron ile oluşan $^{209}\text{Bi}(n, xn)$ reaksiyonlarının nötron yayınlama spektrumlarını deneysel verilerle karşılaştırmıştır. Yapmış olduğu model incelemelerinde;

- $^{197}\text{Au}(n, xn)$ reaksiyonu için, Geometri Bağımlı Hibrid Model'inin deneysel verilerle en uyumlu model olduğunu belirtmiş ve maksimum 12 MeV enerjili nötron üretilebileceğini belirtmiştir.
- $^{197}\text{Au}(n, xn)$ reaksiyonu için, Cascade Exciton Model ve Geometri Bağımlı Hibrid Model hesaplamalarının 12 MeV enerjili nötron yayınlanmasına kadar hemen hemen bire bir takip ettiğini deneysel verilerle en çok uyuşan modeller olduğunu belirtmiştir.
- $^{209}\text{Bi}(n, xn)$ reaksiyonu için, 14 MeV enerji nötron yayınlamasına kadar Geometri Bağımlı Hibrid Model ve Cascade Exciton Model'inin deneysel veriler ile en çok uyuşan modeller olduğunu belirtmiştir (Özdoğan 2012).

Thiry ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, dördüncü nesil nükleer reaktör tasarımı ve yakıt çevrimi araştırması için reaktörlerde meydana gelen $(n, xn\gamma)$ reaksiyonunun tesir kesitlerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu

çalışmada hızlı nötronlar ile $^{232}\text{Th}(n,n'\gamma)$ ve $^{235}\text{U}(n,xn\gamma)$ reaksiyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Bilinmeyen tesir kesitlerini ölçmek ve transmutasyon veya rejenerasyon süreçlerinde bulunan reaksiyonlara ve izotoplara göre mevcut veriler üzerindeki belirsizliği azaltmak amacıyla bu çalışmayı yapmışlardır (Thiry *et al.* 2010).

Kerveno ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, hızlı nötronlar ile $^{232}\text{Th}(n,xn\gamma)$ ve $^{235}\text{U}(n,xn\gamma)$ reaksiyonları $x = 1,2,3$ değerleri için tesir kesiti ölçümleri yapılmış ve ölçüm sonuçları mevcut deneysel değerler ve TALYS hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu ölçümlerin belirsizliğini azaltmak amacıyla yapılan bu çalışmada $(n,xn\gamma)$ tesir kesiti ölçümlerini %5-7 arasında değişen bir doğrulukla ölçtüklerini belirtmişlerdir (Kerveno *et al.* 2010).

Wang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, ^{115}In çekirdeğinden nötron inelastik saçılma tesir kesiti ölçülmüştür. Çoklu saçılma ve akı zayıflatma etkilerinin GEANT4 programı Monte Carlo metodu ile düzeltildiği belirtilmektedir. Nötron inelastik saçılma tesir kesitleri TALYS programı ile 1-15 MeV enerji aralığında teorik hesaplamaları yapılmış ve sonuçta teorik hesaplamalar ile mevcut deneysel verilerin uyum içinde olduğu belirtilmiştir (Wang *et al.* 2016).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 TALYS 1.8

Bu çalışmadaki nükleer reaksiyonlar için diferansiyel tesir kesitlerinin teorik hesaplamaları TALYS 1.8 nükleer reaksiyon programı ile yapılmıştır.

TALYS nükleer reaksiyonların analizi ve tahmininde kullanılan bir bilgisayar kod programıdır. 1 keV-1 GeV enerji aralığında atomik kütlesi 12 ve daha ağır olan hedef çekirdekler için proton, nötron, döteryum (2H), trityum (3H), 3He ve α (alfa) parçacıklarını mermi parçacığı olarak kullanan nükleer reaksiyonlar TALYS ile teorik olarak hesaplanabilmektedir. TALYS, Linux/Unix işletim sisteminde çalışmaktadır ve ana yapısı Fortran programlama dilinde yazılmış bir nükleer simülasyon programıdır. Programın temel amaçlarından ilki, nükleer reaksiyon deneylerinin analizinin bu programla yapılabilmesidir. Deney ve teori arasındaki analizin çekirdek ve parçacıklar arasındaki temel etkileşim hakkında fikir vermesi ve hassas ölçümler sonucunda modellerin sınırlandırılması bakımından bu analiz oldukça önemlidir. İkinci temel amacı ise nükleer veri aracı olmasıdır. Varsayılan modda hiçbir ölçüm olmadığında veya mevcut deneysel verileri kullanarak çeşitli reaksiyon modellerinin ayarlanabilir parametrelerini ayarladıktan sonra TALYS, kullanıcı tanımlı bir enerji ve açı aralığında tüm açık reaksiyon kanalları için nükleer veri üretebilir. Teorik olarak hesaplanmış verilerle ve deneysel sonuçlarla oluşturulan nükleer veri kütüphaneleri nükleer çalışmalar ve nükleer teknolojiler için gerekli bilgileri sağlamaktadır. Genel olarak doğrudan, bileşik çekirdek, denge öncesi ve fisyon reaksiyonları için en yeni nükleer modellerin çoğu tam olarak uygulanabilmektedir. Hem mikroskobik hem de isteğe bağlı dağılım ilişkileri de dahil olmak üzere birçok çekirdek için son optik model parametrelerini barındırmaktadır. Toplam ve kısmi tesir kesitleri, enerji spektrumları, açısal dağılımlar ve çift diferansiyel tesir kesiti hesaplamaları yapılabilir. Nükleer yapı parametrelerinde kütleler, ayırık seviyeler, rezonanslar, seviye yoğunluk parametreleri, deformasyon parametreleri, fisyon bariyeri ve gama ışıını parametreleri IAEA referans giriş parametre kütüphanesinde mevcuttur.

TALYS programının çalışması için bazı kurallar vardır. İlk olarak giriş dosyasında bulunması gereken dört ana anahtar kelime ve bu anahtar kelimelerle ilişkili değerler vardır. Giriş dosyası için ana anahtar kelimeler şunlardır;

projectile: Mermi parçacığı ifade eden anahtar kelimedir. Nötron için “n”, proton için “p”, döteron için “d”, triton için “t”, ^3He için “h”, alfa için “a”, gama için “g” harfleri ile ifade edilir.

element: Hedef çekirdeğin sembolü veya atom numarasını (Z) ifade eder.

mass: Hedef çekirdeğin kütle numarasını (A) ifade eder. Doğal kütle için mass ifadesi 0 ile verilir.

energy: Mermi parçacığın MeV cinsinden enerjisini ifade eder.

Örnek bir giriş dosyasını şu şekilde yazabiliriz;

projectile	n
element	al
mass	27
energy	14.

Giriş dosyasını oluştururken şu hususlara dikkat etmek gerekir;

- Her giriş satırı bir anahtar kelime içermelidir.
- Anahtar kelime ve anahtar kelimenin değeri arasında en az bir boşluk olmalıdır.
- Anahtar kelimeler istenilen sırada yazılabilir.
- Tüm karakterler büyük ya da küçük harfle yazılabilir.
- Giriş satırı 80 karakteri aşmamalıdır.
- Bu dört temel anahtar kelimeye istediğiniz duruma bağlı olarak başka parametreler de eklenebilir.

TALYS programının çıktı dosyası ise hesaplama durumunuza bağılı olarak birçok sonuç dosyası verecektir. Reaksiyon türüne bağılı olarak isteğe bağılı sonuç dosyaları da üretilebilmektedir. Örneğin; nspec020.000.tot, gam082208L01L00.tot, rp040089.tot gibi özel sonuç dosyaları alınabilmektedir (Koning 2015).

3.2 EXFOR Veri Kütüphanesi

EXFOR, IAEA Nükleer Veri Bölümü tarafından koordine edilen, Nükleer Reaksiyon Veri Merkezi Ağı (NRDC) tarafından kayıt altında tutulan deneysel nükleer reaksiyon verilerinin uluslararası ölçekte toplanması, derlenmesi ve yaygınlaştırılmasını koordine etmek için düzenlenen bir veri tabanıdır. Mayıs 2008 itibari ile veri tabanı yaklaşık 129.000 veri tablosu ile 17.000 civarında bir çalışmanın olduğunu söyleyebiliriz. EXFOR veri tabanının temelinde, genellikle bir veya daha fazla bibliyografik referansta açıklanan deneye ait bir bilgi girişı vardır. Bu bilgi girişı, yazarların ölçtüğü sayısal verileri ve tanımlarını, ilgili bibliyografik bilgileri ve deneysel yöntemin kısa bir açıklamasını içerir. Bu bilgiler, genellikle deney sonucunda oluşan çeşitli veri tablolarını içeren farklı alt bölüme ayrılır. Deneysel verilerin sürekli güncellendiğı EXFOR, en sık kullanılan nükleer reaksiyon veri kütüphanelerinden bir tanesidir (İnt. Kay. 2).

3.3 Tez Çalışmasında Kullandığımız Elementler

3.3.1 Krom (Cr) Elementi

Atom numarası 24 olan krom elementinin atom ağırlığı 51,9961 g/mol dır. Erime noktası 1907⁰C ve yoğunluğu 7,140 g/cm³ tür. Normal şartlarda hava ve su ile kimyasal reaksiyona girmez. Mekanik aşınmalara karşı sert bir yapıya sahip olmasından dolayı metallere sertlik kazandırmada ve zırhlı araç üretiminde kullanılmaktadır. Nükleer reaktör yapılarında kullanılan çeliklerde (316LN) yaklaşık %18,5 oranında krom kullanılmaktadır. Havada bulunan oksijen ile krom oksit bileşigi oluşturarak çelik yüzeyini bir film tabakası gibi kaplayıp çeliğı kimyasal korozyona karşı koruduğunu söyleyebiliriz (Aygün 2015). ⁵²Cr bağılı bolluğı %83,79 dur.

3.3.2 Demir (Fe) Elementi

Atom numarası 26 olan demir elementinin atom ağırlığı 55,845 g/mol dır. Erime noktası 1538⁰C ve yoğunluğu 7,874 g/cm³ tür. Hava ve su içinde oksitleme reaksiyonları gerçekleştirir. Genel olarak üretilen metallerde %95 oranında demir kullanılır. Yüksek dayanıklılık ve düşük maliyetli olmasından dolayı binalarda, gemi yapımında ve otomotiv üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Nükleer reaktörlerde kullanılan çeliklerde (316LN) yaklaşık %67 oranında demir kullanıldığını söyleyebiliriz (Aygün 2015). ⁵⁶Fe bağıl bolluğu %91,8 dir.

3.33 Kobalt (Co) Elementi

Atom numarası 27 olan kobalt elementinin atom ağırlığı 58,9332 g/mol dır. Erime noktası 1495⁰C ve yoğunluğu 8,90 g/cm³ tür. Oksitlenmeye karşı dirençli ve sert bir yapıya sahip olduğu için galvanik kaplamada kullanılmaktadır. Askeri alan ve endüstride önemli kullanım alanları vardır. Roket ve süper alaşım üretiminde kullanılan özel çeliklerde sıkça kullanılmaktadır. Kobaltın çeliklere %40 oranında ilave edilmesi durumunda mıknatıslanma özelliğini arttırmaktadır. Demire kobalt ilave edildiğinde ise demirin yüksek sıcaklıkta dayanımını arttırdığı belirtilmektedir (Okudan 2009). ⁵⁹Co bağıl bolluğu %100 dır.

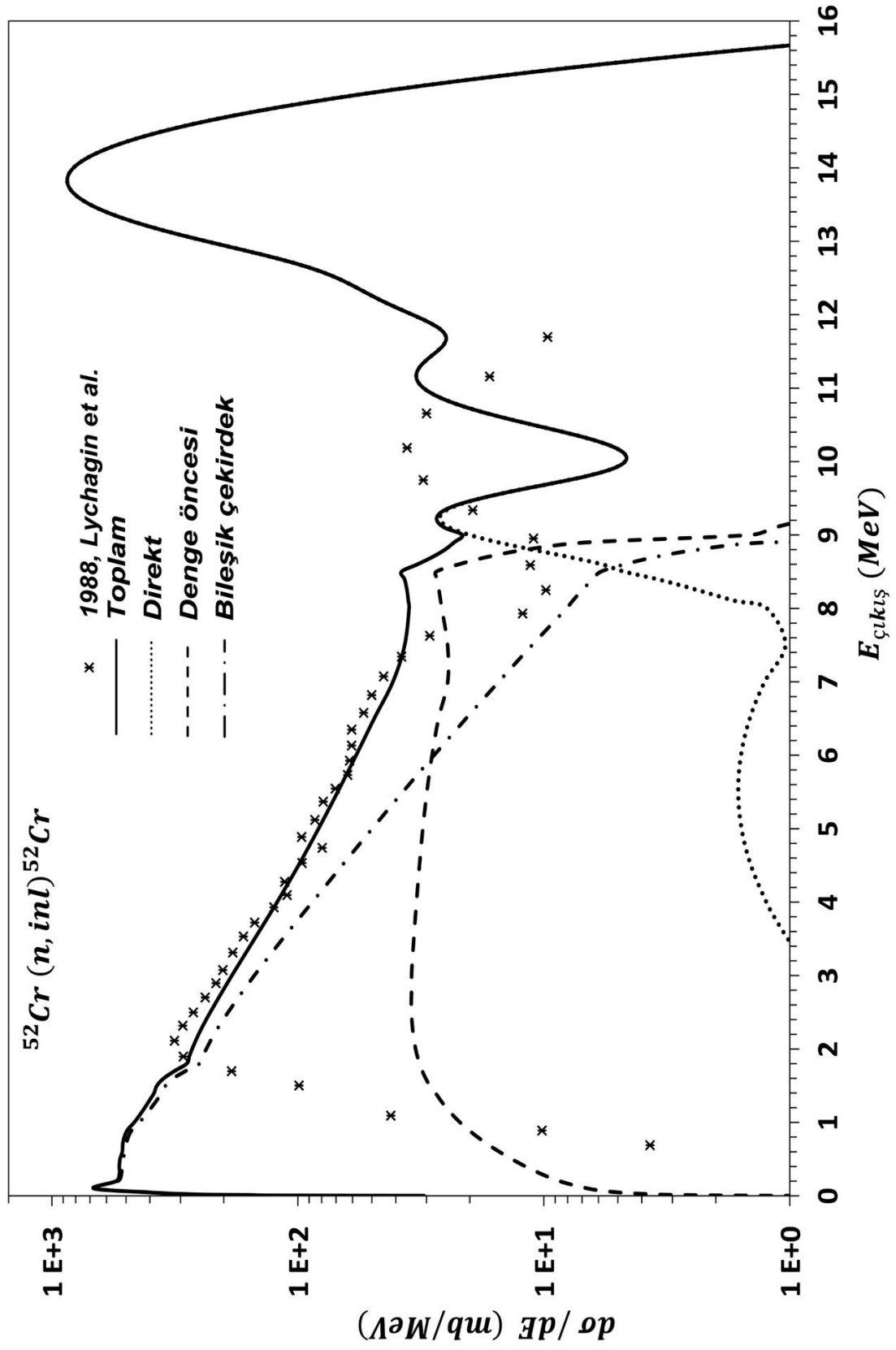
4. BULGULAR

Bu çalışmada, periyodik cetvelin 4. periyodunda bulunan ^{52}Cr , ^{56}Fe ve ^{59}Co elementleri hedef çekirdek olarak seçilmiştir. Hedef çekirdeklere tek enerjili nötron mermi parçacıklarının gönderilmesi durumunda oluşacak nötron inelastik saçılma reaksiyonları incelenmiştir. Nötronların saçılma enerjisine bağlı diferansiyel tesir kesitleri için önceden yapılmış deneysel çalışma sonuçları ile teorik olarak hesaplanan sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Teorik hesaplamalar TALYS 1.8 nükleer reaksiyon simülasyon programı ile yapılmış ve deneysel verilerin sonuçları ise EXFOR nükleer reaksiyon veri kütüphanesinden alınmıştır.

4.1 $^{52}\text{Cr}(n, n')^{52}\text{Cr}$ Reaksiyonunun Diferansiyel Tesir Kesiti Hesaplamaları

$^{52}\text{Cr}(n, n')^{52}\text{Cr}$ reaksiyonunda, ^{52}Cr çekirdekleri 14,1 MeV enerjiye sahip nötron demeti ile bombardıman edilmiştir. Nötronun hedef çekirdekten inelastik saçılması için enerjiye bağlı diferansiyel tesir kesiti TALYS 1.8 programı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerler EXFOR'dan alınan Lychagin vd. (1988)'nin mevcut deneysel verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu verilerin karşılaştırılması Grafik 4.1 ile verilmiştir.

Grafik 4.1 incelendiğinde toplam diferansiyel tesir kesiti için; deneysel veriler ile hesaplanan veriler, **2 – 7,5 MeV** enerji aralığında oldukça uyumludur. **0 – 2 MeV** aralığında ise uyumlu değildir fakat bir paralellik olduğu görülmektedir. **7,5 – 12 MeV** aralığında ise biçim olarak benzerlik vardır fakat enerji değerlerinde bir kaymanın olduğunu söyleyebiliriz. **12 MeV** üzerinde ise deneysel değer bulunmamaktadır. Teorik hesaplamamızda ayrıca direkt, denge öncesi ve bileşik çekirdek modellerinin nükleer reaksiyona etkilerini inceleyebiliriz. **0 – 6 MeV** aralığında bileşik çekirdek reaksiyonları etkili iken bu etki giderek azalmıştır. Bu enerji aralığında denge öncesi reaksiyonlar etkisini arttırmaya başlamış ve **6 – 9 MeV** aralığında ise daha etkili olduğu görülmektedir. **9 MeV** den sonra ise sadece direkt reaksiyonların etkili olduğunu görmekteyiz.



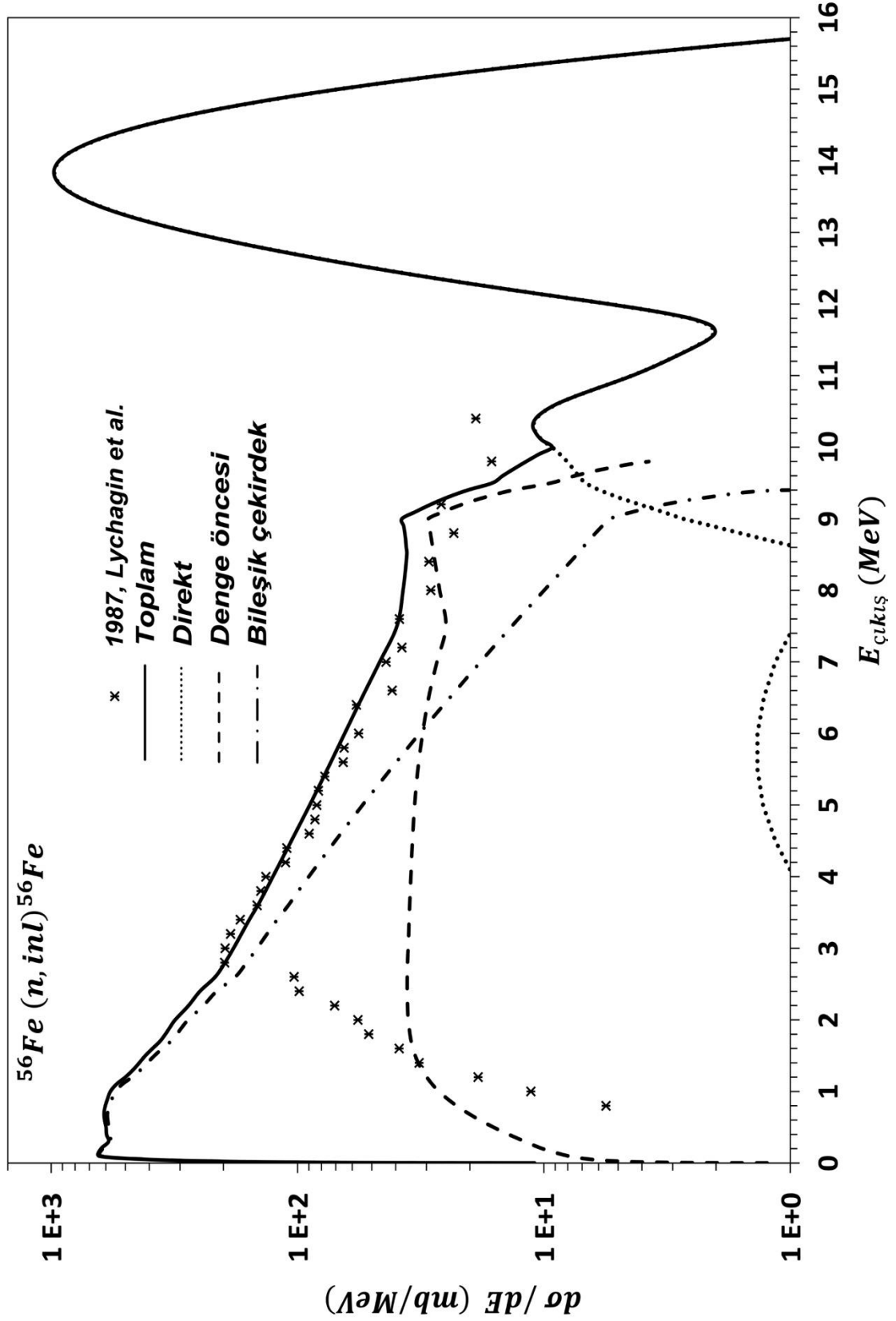
Grafik 4.1 $^{52}\text{Cr}(n, n')^{52}\text{Cr}$ reaksiyonunun, hesaplanan diferansiyel tesir kesitlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

4.2 $^{56}\text{Fe}(n, n')^{56}\text{Fe}$ Reaksiyonunun Diferansiyel Tesir Kesiti Hesaplamaları

$^{56}\text{Fe}(n, n')^{56}\text{Fe}$ reaksiyonunda, ^{56}Fe çekirdekleri 14,1 MeV enerjiye sahip nötron demeti ile bombardıman edilmiştir. Nötronun hedef çekirdekten inelastik saçılması için enerjiye bağlı diferansiyel tesir kesiti TALYS 1.8 programı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerler EXFOR'dan alınan Lychagin vd. (1987)'nin mevcut deneysel verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu verilerin karşılaştırılması Grafik 4.2 ile verilmiştir.

Grafik 4.2 incelendiğinde toplam diferansiyel tesir kesiti için; deneysel veriler ile hesaplanan veriler, **3 – 7,5 MeV** aralığında bazı enerji değerlerinde sapmalar olsa da iyi bir uyum içindedir. **0 – 3 MeV** aralığında uyumun olmadığı görülmektedir. **7,5 – 10,5 MeV** aralığında ise biçim yönünden bir benzerlik olduğunu söyleyebiliriz. **10,5 MeV** üzerinde ise deneysel değer bulunmamaktadır.

0 – 6 MeV aralığında bileşik çekirdek reaksiyonları etkili iken bu etki giderek azalmıştır. Bu enerji aralığında denge öncesi reaksiyonların etkisini arttırmaya başladığını ve **6 – 10 MeV** aralığında ise daha etkili olduğu görülmektedir. **10 MeV** den sonra ise sadece direkt reaksiyonların etkili olduğunu görmekteyiz.



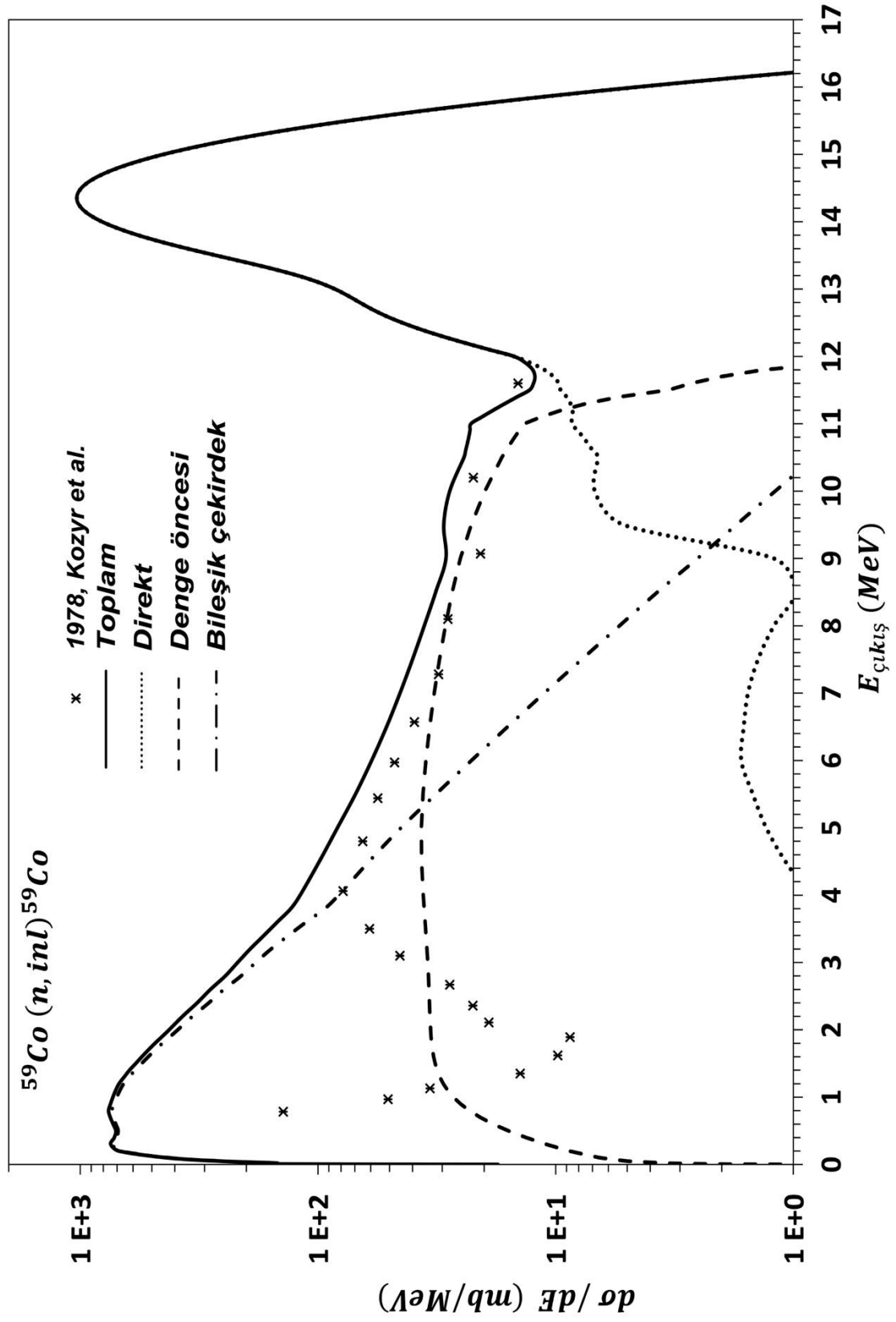
Grafik 4.2 $^{56}\text{Fe}(n, n') ^{56}\text{Fe}$ reaksiyonunun, hesaplanan diferansiyel tesir kesitlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

4.3 $^{59}\text{Co}(n, n')^{59}\text{Co}$ Reaksiyonunun Diferansiyel Tesir Kesiti Hesaplamaları

$^{59}\text{Co}(n, n')^{59}\text{Co}$ reaksiyonunda, ^{59}Co çekirdekleri 14,6 MeV enerjiye sahip nötron demeti ile bombardıman edilmiştir. Nötronun hedef çekirdekten inelastik saçılması için enerjiye bağlı diferansiyel tesir kesiti TALYS 1.8 programı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerler EXFOR'dan alınan Kozyr vd. (1978)'nin mevcut deneysel verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu verilerin karşılaştırılması Grafik 4.3 ile verilmiştir.

Grafik 4.3 incelendiğinde toplam diferansiyel tesir kesiti için; deneysel veriler ile hesaplanan veriler, **4 – 12 MeV** enerji aralığında deneysel değerler bir miktar düşük olsa da uyumun iyi olduğu görülmektedir. **0 – 4 MeV** enerji aralığında ise uyumun olmadığı görülmektedir. **12 MeV** üzerinde ise deneysel veri bulunmamaktadır.

0 – 5,5 MeV aralığında bileşik çekirdek reaksiyonları etkili iken bu etki giderek azalmıştır. Bu enerji aralığında denge öncesi reaksiyonların etkisini arttırmaya başladığını ve **5,5 – 11,5 MeV** aralığında ise daha etkili olduğu görülmektedir. **12 MeV** den sonra ise sadece direkt reaksiyonların etkili olduğunu görmekteyiz.



Grafik 4.3 $^{59}\text{Co}(n, n')^{59}\text{Co}$ reaksiyonunun, hesaplanan diferansiyel tesir kesitlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, tek enerjili nötron mermi parçacığının hedef çekirdekten inelastik saçılma reaksiyonu için enerjiye bağlı diferansiyel tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca inelastik saçılma reaksiyon sürecinde, direkt, denge öncesi ve bileşik çekirdek reaksiyonlarının toplam diferansiyel tesir kesitine katkıları da hesaplanmıştır. TALYS 1.8 programı ile yapılan bu hesaplamalar, nükleer veri merkezi olan EXFOR kütüphanesinden alınmış olan deneysel verilerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Burada nötron geliş enerjisini yaklaşık 14 MeV seçmemizin sebebi, döteryum-trityum (DT) füzyon reaksiyonunda oluşan nötronun enerjisinin 14,1 MeV olmasıdır.

Grafik sonuçlarını incelediğimiz zaman, nötronların inelastik saçılma reaksiyonları için hesaplanan değerler ile deneysel değerlerin uyumlu olduğu enerji aralıklarının:

^{52}Cr elementi için değerlerin uyumlu olduğu enerji aralığının 2 – 7,5 MeV aralığı,

^{56}Fe elementi için değerlerin uyumlu olduğu enerji aralığının 2,5 – 8 MeV aralığı,

^{59}Co elementi için değerlerin uyumlu olduğu enerji aralığının 4 – 12 MeV aralığı,

olduğu görülmektedir. Verilen bu enerji aralıklarında TALYS 1.8 programı ile hesaplanan veriler ile deneysel verilerin oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. ^{52}Cr elementi için 0 – 2 ve ^{56}Fe elementi için 0 – 3 MeV enerji aralığında uyumun olmadığı görülmüştür fakat iki reaksiyon için de deneysel değerler ve hesaplanan değerlerde bir paralellik olduğunu söyleyebiliriz. Burada kullandığımız program için veri dosyalarında farklı parametreler kullanılarak uyumun olmadığı düşük enerji değerlerinde deneysel sonuçlara daha yakın sonuçlar elde edebiliriz. ^{59}Co elementi için ise 0 – 4 MeV enerji aralığında uyum görülmemektedir. Düşük enerjilerdeki uyumsuzluğun, TALYS programının nötron inelastik saçılmada saçılan çekirdekten ayrılan nötronu, çekirdekteki herhangi bir nötron olarak düşünerek hesaplamasından kaynaklandığını düşünmekteyiz. Buradaki uyumsuzlukta, deneyin yapıldığı zaman itibari ile deney ile ilgili durumlarında etkisinin olabileceğini söyleyebiliriz.

Yapmış olduğumuz üç reaksiyonun hesaplamasında, genel olarak **0 – 12 MeV** aralığında saçılma enerjisinin artmasıyla diferansiyel tesir kesiti değerlerinde bir azalışın, direkt reaksiyonların etkili olduğu **12 – 14 MeV** enerji aralığında diferansiyel tesir kesiti değerlerinin yüksek değerlere çıktığını ve **14 MeV** enerjisinden sonra da azalarak yaklaşık **16 MeV** enerjisinde diferansiyel tesir kesiti değerlerinin sıfıra indiği görülmektedir. Deneysel olarak saçılan nötronların 14 MeV den daha büyük enerjide olamayacaktır. Fakat program bu enerjilerden daha yüksek enerjilerde saçılma enerjisini teorik olarak hesaplayabilmektedir.

Yapmış olduğumuz hesaplamalarda toplam diferansiyel tesir kesitine direkt, denge öncesi ve bileşik çekirdek reaksiyonlarının katkısının etkin olduğu enerji aralıkları;

<u>Reaksiyon</u>	<u>Bileşik Çekirdek</u>	<u>Denge Öncesi</u>	<u>Direkt</u>
$^{52}\text{Cr}(n, n')^{52}\text{Cr}$	0 – 6 MeV	6 – 9 MeV	9 – 16 MeV
$^{56}\text{Fe}(n, n')^{56}\text{Fe}$	0 – 6 MeV	6 – 10 MeV	10 – 16 MeV
$^{59}\text{Co}(n, n')^{59}\text{Co}$	0 – 5 MeV	5 – 12 MeV	12 – 16 MeV

şeklindedir. Genel olarak, düşük enerji saçılma spektrumunda bileşik çekirdek reaksiyonlarının, yüksek enerji saçılma spektrumunda direkt reaksiyonların ve iki ara enerji durumunda ise denge öncesi reaksiyonların daha etkin olduğu görülmektedir. Deneysel verilerde bu reaksiyonların katkıları görülmemektedir. Teorik hesaplamalarda bu katkıların hesaplanabilmesi reaksiyon süreçleri hakkında daha detaylı bilgiler vermesi açısından önemlidir.

Sonuç olarak reaksiyon için kullanılan elementlerde nötron inelastik saçılma reaksiyonları, TALYS 1.8 ile hesaplanan değerler belirli enerji aralıklarında deneysel değerler ile oldukça uyum içinde olduğunu söyleyebiliriz. Füzyon ve fisyon reaksiyonlarının bir arada kullanılması ile oluşan hibrid reaktörler gelecekte önemli bir enerji kaynağı olacaktır. Füzyon-fisyon reaktörlerinde reaksiyonlar sonucu oluşan nötronların reaktör yapı malzemelerinden inelastik saçılma durumu için, seçmiş olduğumuz elementlerin uyumlu olduğu enerji aralıklarında nötron için lineer azaltma hesaplamaları da yapılarak bu elementler yapı malzemesi olarak değerlendirilebilir. Yapılan bu hesaplamaların, reaktör yapı malzemesi hakkında hem ön bilgi edinilmesi

hem de zaman ve maddi olarak bir avantaj oluşturması bakımından bir öneme sahip olduğunu söyleyebiliriz.



6. KAYNAKLAR

- Arya, A. P. (1999). Çekirdek Fiziğinin Esasları. Aktif Yayıncılık, Erzurum.
- Aygün, B. (2015). Nükleer Uygulamalarda Radyasyon Güvenliği Amacıyla Yeni Kalkan Malzemelerin Deneysel ve Monte Carlo Simülasyon Kodları (Cern-Fluka ve Geant4) ile Belirlenmesi ve Fabrikasyonu. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bayrak, C. (1997). (n,n_1) Tepkimelerinde denge öncesi etkinin incelenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, **13**: 111-114
- Beyer, R., Schwengner, R., Hannaske, R., Junghans, A.R., Massarczyk, R., Anders, M., Bemmerer, D., Ferrari, A., Hartmann, A., Kögler, T., Röder, M., Schmidt, K. and Wagner, A. (2014). Inelastic scattering of fast neutrons from excited states in ^{56}Fe . *Nuclear Physics A*, **927**: 4152
- Büyükuslu, H. (2010). Nükleon Girişli Reaksiyonlarda Deforme Olan ve Deforme Olmayan Hedef Çekirdekler İçin Denge ve Denge-Öncesi Etkilerin İncelenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kerveno, M., Dessagne, P., Karam, H., Rudolf, G., Thiry, J.C., Borcea, C., Negret, A., Drohe, J.C., Plompen, A.J.M., Rouka, C., Stanolu, M., Jericha, E., Koning, A.J. and Pavlik, A. (2010). Measurement of $(n,xn\gamma)$ reactions of interest for new nuclear reactors. Nuclear Measurements, Evaluations and Applications- NEMEA-6 workshop, Krakow (Poland), 25-28 October.
- Koning A., Hilaire, S. and Goriely, S. (2015). TALYS 1.8 Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), The Netherlands.
- Krane, K. S. (2002). Nükleer Fizik. Palme Yayıncılık, Ankara.
- Lamarsh, J. R. and Baratta, A. J. (2015). Nükleer Mühendisliğe Giriş. Palme Yayıncılık, Ankara.
- Lilley, J. S. (2018). Nükleer Fizik İlkeler ve Uygulamalar. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Martin, J. E. (2013). Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği. Palme Yayıncılık, Ankara.

- Okudan, M. D. (2009). Kobalt ve Molibden İçeren Kullanılmış Hidrodesülfürizasyon (HDS) Katalizör Atıklarına Asidik ve Alkali Liç Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Özdoğan, H. (2012). Bazı Ağır Hedef Çekirdekler İçin Denge ve Denge-Öncesi Etkilerin Teorik Nükleer Modeller ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Reshid, S. T. (2009). Ta, W, Pb, Bi, Th, Pa, U ve Pu Elementlerinin 0-20 MeV Enerji Aralığındaki Nötronlarla Oluşturulan Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Hesaplanması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Thiry, J.C., Dessagne, P., Karam, H., Kerveno, M., Rudolf, G., Borcea, C., Negret, A.L., Drohe, J.C., Plompen, A.J.M., Rouki, C., Stanoiu, M., Jericha, E., Koning, A.J. and Pavlik, A. (2010). Measurement of $(n, xn\gamma)$ reactions at high precision. Nuclear Measurements, Evaluations and Applications- NEMEA-6 workshop, Krakow (Poland), 25-28 October.
- Vanhoy, J.R., Liu, S.H., Hicks, S.F., Combs, B.M., Crider, B.P., French, A.J., Garza, E.A., Harrison, T., Henderson, S.L., Howard, T.J., McEllistrem, M.T., Nigam, S., Pecha, R.L., Peters, E.E., Prados-Estévez, F.M., Ramirez, A.P.D., Rice, B.G., Ross, T.J., Santonil, Z.C., Sidwell, L.C., Steves, J.L., Thompson, B.K. and Yates, S.W. (2018). ^{54}Fe neutron elastic and inelastic scattering differential cross sections from 2–6 MeV. *Nuclear Physics A*, **972**: 107-120
- Wang, C., Xiao, J., Luo, X. (2016). Experimental measurements with Monte Carlo corrections and theoretical calculations of neutron inelastic scattering cross section of ^{115}In . *Radiation Physics and Chemistry*, **127**: 177-18.
- Williams, W. S. C. (2014). Nükleer ve Parçacık Fiziği. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Yaramış, B. (1985). Nükleer Fizik. İ.T.Ü Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Zhuravlev, B.V., Titarenko N. N. (2017). Experimental verification of neutron inelastic scattering cross section for iron. *Nuclear Energy and Technology*, **3 (3)**: 211-215

İnternet Kaynakları

- 1) <https://www.nuclear-power.net/nuclear-power/reactor-physics/nuclear-engineering-fundamentals/neutron-nuclear-reactions/neutron-inelastic-scattering/>, 08.04.2019
- 2) <https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm>, 01.04.2019



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet BÜYÜKTÜRKMEN
Doğum Yeri ve Tarihi : Kadınhanı / 03.12.1988
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : (533) 793 43 34 / turkmen1449@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Konya Ata İçil Lisesi, (2003-2006)
Lisans : Selçuk Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim
Fakültesi, Fizik Öğretmenliği Bölümü, (2007-
2011)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : MEB/Fizik Öğretmeni/2015-

Yayınları (SCI ve diğer) :

- Büyüktürkmen, M., Sarpün, İ.H., Oruncak, B. (2017). Inelastic Scattering of 14,6 MeV from ^{23}Na , ^{27}Al , ^{32}S , ^{59}Co Nuclei. *3rd Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology*, Poster sunum, Adana.
- Büyüktürkmen, M., Yalın, H.A., Oruncak, B. (2017). Inelastic Scattering of 14,1 MeV Neutrons from ^{52}Cr , ^{56}Fe , ^{208}Pb Target Nuclei. *Turkish Physical Society 33rd International Physics Congress*, Poster sunum, Bodrum.
- Büyüktürkmen, M., Oruncak, B., Demir, B. (2018). Investigation of ^{131}Cs Medical Radioisotope Production by TALYS. *4rd Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology*, Sözlü sunum, Alanya.
- Büyüktürkmen, M., Sarpün, İ.H., Aydın, A. (2019). Inelastic Scattering of DT Neutrons from ^{27}Al , ^{32}S Targets. *5rd Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology*, Poster sunum, Amasya.