



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasancan ALKANLI

TORYUM HEDEF ÇEKİRDEĞİNİN
NÜKLEER REAKSİYON TESİR
KESİTLERİNİN ASİMETRİ
BAĞIMLI SKYRME POTANSİYELİ
KULLANARAK İNCELENMESİ

FİZİK ANABİLİM DALI

OSMANIYE –2016

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TORYUM HEDEF ÇEKİRDEĞİNİN NÜKLEER
REAKSİYON TESİR KESİTLERİNİN ASİMETRİ
BAĞIMLI SKYRME POTANSİYELİ KULLANARAK
İNCELENMESİ**

Hasancan ALKANLI

**FİZİK
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
AĞUSTOS-2016**

TEZ ONAYI

TORYUM HEDEF ÇEKİRDEĞİNİN NÜKLEER REAKSİYON TESİR KESİTLERİNİN ASİMETRİ BAĞIMLI SKYRME POTANSİYELİ KULLANARAK İNCELENMESİ

Hasancan ALKANLI tarafından Prof. Dr. Eyyup TEL danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Eyyup TEL
Fizik Anabilim Dalı, OKÜ

Üye Prof. Dr. Mustafa TOPAKSU
Nükleer Fizik Anabilim Dalı, ÇÜ

Üye Doç. Dr. Muhittin ŞAHAN
Fizik Anabilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki Jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../...../ tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. A. Ali GÜRTEN
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: OKÜBAP-2015-PT3- 012

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil ve çizelgeler kaynak gösterilmeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifadenin ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

.....

(İMZA)

Hasancan ALKANLI

ÖZET

TORYUM HEDEF ÇEKİRDEĞİNİN NÜKLEER REAKSİYON TESİR KESİTLERİNİN ASİMETRİ BAĞIMLI SKYRME POTANSİYELİ KULLANARAK İNCELENMESİ

Hasancan ALKANLI
Yüksek Lisans, Fizik Anabilim Dalı
DANIŞMAN: Prof. Dr. Eyyup TEL

Ağustos 2016, 82 sayfa

Dünya Toryum rezervleri Uranyum rezervlerinden üç kat daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, literatürde rapor edildiği gibi Toryum'un gelecekte yakıt olarak kullanılması planlanmaktadır. Bu çalışmada, Toryum (^{232}Th) hedef çekirdekleri için Skyrme Hartree Fock yöntemi kullanılarak SKa yoğunluk parametre setleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Tel ve ark. (2003, 2008) [1,2] ve Bychkov ve ark. (1982) [3] tarafından geliştirilen (n, p) ve (n, 2n) nükleer reaksiyon tesir kesit formüllerinde yaklaşık 14.5MeV ve $r=4.8\text{fm}$ 'lik çekirdek çapı için kullanılmıştır. Elde edilen (n, 2n) tesir kesit sonuçları tartışılmış ve daha sonra literatürden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda sonuçların Tel ve ark. (2003, 2008) [1,2] elde edilen deneysel sonuçlarla uyumlu iken Bychkov ve arkadaşlarından (1982) [3] elde edilen sonuçlarla uyumlu olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimer: Tesir Kesiti, Nükleer Reaksiyonlar, Asimetri Parametresi , Skyrme Etkileşimi, SKa Parametresi, Tel ve ark.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE ASYMMETRY DEPENDENT SKYRME NUCLEAR REACTION CROSS SECTIONS USING THORIUM TARGET CORE

Hasancan ALKANLI
M.s.c., Department of Physics
Supervisor: Prof. Dr. Eyyup TEL

August 2016, 82 pages

World Thorium reserves are estimated to be three times than that of Uranium. Thorium is therefore planned as fuel in the future as reported in the literature. In this study, the SKa density parameter sets were calculated for the target nucleus of Thorium (^{232}Th) element using Skyrme Hartree Fock method. Results obtained from calculations. Results from this calculation were used for the (n, p) ve (n, 2n) cross section formula developed by Tel et al. (2003, 2008) [1,2] and Bychkov et al. (1982) [3] around 14.5 MeV energy and nuclei radius of 4.8fm. The data from (n, 2n) reaction cross section data using two formula have been discussed and then compared with data obtained from literature. As a results, data from Tel et al. (2003, 2008) [1,2] formula show good agreement with the experimental data from literature, while Bychkov et al. (1982) [3] formula are not good agreement with literature data.

KeyWords: Cross Sections, Nuclear Reactions, Asymmeter Parameters, Skyrme Interaction, SKa Parameter, Tel at al.

Annem Gülsüm ALKANLI ve Babam Yusuf ALKANLI'ya



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin hem ders döneminde hem de tez döneminde bana yardımlarını esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübeleri ışığında yol gösterici telkinlerde bulunarak elinden gelen her türlü fedakarlığı gösteren, tez danışmanım Değerli Hocam Prof. Dr. Eyyup TEL'e (OKÜ) teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimi sırasında desteklerini hissetmiş olduğum Sayın Doc. Dr. Muhittin ŞAHAN'a (OKÜ) ve Yrd. Doç Dr. F.Aysun UĞUR'a (OKÜ) teşekkür ederim.

Babam Yusuf ALKANLI ve annem Gülsüm ALKANLI'ya tezin hazırlanması esnasında göstermiş oldukları maddi ve manevi tüm desteklerden dolayı teşekkür eder sevgi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Toryum Hakkında Genel Bilgi.....	2
1.2. Türkiye’de Ve Dünyada Toryum Rezerv Durumu.....	4
1.2.1. Türkiye’de Toryum rezervleri.....	5
1.2.2. Dünyada Toryum Rezervleri.....	7
1.3. Toryumlu Mineraller.....	9
1.3.1. Monazit.....	11
1.4. Toryumun Kullanım Alanları.....	13
1.4.1. Toryumun Günlük Yaşamda Kullanımı.....	13
1.4.2. Toryumun Enerji Alanında Kullanımı.....	15
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	19
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	21
3.1. Nükleer Reaksiyonlara Giriş.....	21
3.2. Nükleer Reaksiyonların Sahip olduğu Enerji Değerlerinin Literatürdeki Enerji aralıkları.....	21
3.3. Nükleer Reaksiyonların Gerçekleşmesi İçin Gerekli Olan Korunum Kanunları ve Bu Kanunların Açıklamaları.....	24
3.3.1. Nükleer Boyunca Sahip Olunan Enerjinin Korunumu Ve Reaksiyonun Sahip Olduğu Momentum Değerinin Korunması.....	25
3.3.2. Nükleer Reaksiyonda Nükleonların Korunumu.....	26
3.3.3. Nükleer Reaksiyonlarda, Reaksiyon Boyunca Açısız Momentumun Korunması.....	27

3.3.4.Nükleer Reaksiyon Sırasında Parçacıkların Sahip Olduğu Parite İfadelerinin Korunumu.....	27
2.3.5.Nükleer Reaksiyonlarda Reaksiyonların Sahip Olduğu Yük Değerlerinin Korunması.....	28
2.3.6.Nükleer Reaksiyonlarda İstatistik Korunumlar	28
3.3.7.Nükleer reaksiyonlarda İzospin İfadelerinin Korunumu	28
3.4. Nükleer Reaksiyonlarda Enerji Değerlerinin Hesaplanması.....	31
3.5.Nükleer Reaksiyon Türleri.....	31
3.5.1 Direk Reaksiyonlar.....	32
3.5.1.1. Elastik Reaksiyonlar.....	33
3.5.1.2. İnelastik Reaksiyonlar.....	34
3.5.2. Denge Reaksiyonları (Bileşik Çekirdek Reaksiyonları).....	36
3.5.3. Denge Öncesi Reaksiyonları.....	38
3.6 Tesir Kesiti.....	40
3.1. Tesir Kesit Türleri.....	40
3.6.2.Tesir Kesiti.....	40
3.6.3.Diferansiyel Tesir Kesiti	42
3.7.Skyrme Türleri, Skyrme Etkileşimi.....	43
3.8. Hartree Fock.....	51
3.8.1 Hartree Fock Yaklaşımı.....	51
3.9 Skyrme Kuvveti.....	55
4.BULGULAR VE TARTIŞMA	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge1.1 Toryum hakkında genel ifadeler.....	3
Çizelge1.2 Dünya üzerinde Bulunan Toryum'un içerisinde bulunduğu mineralleri ve bu mineraller içerisindeki yüzde oranları.....	13
Çizelge1.3 Nükleer Reaksiyonun sahip olmuş olduğu enerjilerine göre durumları.....	22
Çizelge 3.1 Nükleer Reaksiyonun sahip olmuş olduğu enerjilerine göre durumları.....	21
Çizelge 3.2 Nükleer reaksiyonların sahip olmuş olduğu enerji seviyelerine göre adlandırılması.....	24
Çizelge 3.3 Nükleer reaksiyon korunum ifadelerinin tablo şeklinde gösterimi.....	30
Çizelge 3.4 literatürde bulunan Skyrme kuvvet parametre eşitlikleri ve değerleri.....	50
Çizelge 4.1 SKa parametresi kullanılarak elde edilen yoğunluk değerleri.....	60
Çizelge4.2.14-15 MeV aralığında (n,p) nükleerreaksiyonların da kullanılan tesir kesit formülleri.....	62
Çizelge 4.3 14-15 MeV aralığında (n,p) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formüllerinden Tel ve ark.(2003) formülleri ile hesaplanması sonucu elde edilen yeni teorik değerler.....	63
Çizelge 4.4 14-15 MeV aralığında literatürde bulunan bazı (n, α) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formülleri.....	64
Çizelge 4.5 14-15 MeV aralığında (n,2n) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formülleri.....	65
Çizelge 4.6, Çizelge 4.5'de belirtilen Tel ve Ark (2008) [1] formülü ile hesaplama sonucu elde edilen değerler.....	66
Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.5'de belirtilen Tel ve ark. II (2008)[1] formülü kullanılarak hesaplanması sonucu elde edilen sonuçlar.....	67

Çizelge 4.8 Bychkov(1982) [1-3] ve arkadaşları tarafından oluşturulan (n,2n) nükleer reaksiyonlarında kullanılan tesir kesit formülü sonucunda elde edilen yeni değerler.....	68
Çizelge 4.9 Hedef Çekirdek ²³² Th için yapılan hesaplamalar sonucu oluşan yeni değerler.....	70
Çizelge 4.10 (n.2n) nükleer reaksiyonlarında Exfor data deneysel verileri.....	71



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Periyodik tablo	3
Şekil 1.2 Türkiye'deki Toryum rezervleri	7
Şekil 1.3 Türkiye'deki Maden Haritası	7
Şekil 1.4 Toryumun dünya üzerindeki dağılım oranları	9
Şekil 1.5 Monazit Minerali Örnek Fotoğrafı.....	11
Şekil 1.6 Toryum hedef çekirdeğinin kullanılarak Reaktörde uranyum üretilmesi.....	17
Şekil 3.1 Bir nükleer reaksiyonda nükleonların korunumu	26
Şekil 3.2 Çekirdeğin yüzey kısmında meydana gelen direk reaksiyonların oluşum şekli.....	30
Şekil 3.3 Elastik saçılma reaksiyonun gösterimi	34
Şekil 3.4 İnelastik saçılma reaksiyonun temsili gösterimi.....	35
Şekil 3.5 toplama (pick up) reaksiyonları	35
Şekil 3.6 stripping (soyma) reaksiyonları	33
Şekil 3.7 Knock out reaksiyonları	33
Şekil 3.8 Diferansiyel tesir kesit ifadesinin hesaplanması için kullanılan formül ifadesinin şekilsel gösterimi.....	42
Şekil 4.1 Hedef çekirdek ^{232}Th için SKa parametresi ile hesap sonucu proton ve nötron yoğunlukları.....	61
Şekil 4.2, Çizelge 4.3'de verilen değerler kullanılarak oluşturulan grafik.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Hedef çekirdeklerin sahip olmuş olduğu kütle değerlerini ifade eder (Hedef çekirdeğin sahip olmuş olduğu Proton ve nötron sayılarının toplamını ifade eder)
A.B.D	Amerika Bileşik Devletleri
$^{37}_{18}Ar$:	Argon
$A_{1a}, A_{2a}, A_{3b}, A_{4b}$	Nükleer reaksiyonlarda hedef çekirdeklerin sahip olmuş olduğu kütle numaralarını başlangıç ve son duruma göre ifade eder.
b	Nükleer reaksiyonun sonucunda ürün şeklinde ortaya çıkan çekirdek (hafif durumda bulunan çekirdek.)
B^*	Nükleer reaksiyon sonucunda uyarılmış halde kalan çekirdek.
BTYK	Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu
c	Birim saniyedeki ışık hızını ifade eder
C	Nükleer reaksiyon boyunca doğal ya da yapay yolla hızlandırılan parçacık(ağır durumda bulunan Çekirdek)
$^{40}_{20}Ca$	Kalsiyum
B'	Nükleer reaksiyon sonucu ortaya çıkan çekirdek
CEM	Cascade Excitation Model
CERN	Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
D.B.I.	Nükleer Enerji üretimi alanında Faaliyet göstermekte olan Amerika Bileşik Devletleri merkezli Firma
D.P.T.	Devlet Planlama Teşkilatı
DWBA	Distorted Wave Born Approximation, Bozunmuş dalga Born yaklaşımı
E_b	Reaksiyonun başlangıç enerjisi.(Reaksiyonun gerçekleşmeye başlamadan önce sahip olmuş olduğu enerji değeri)
E_s	Reaksiyonun sahip olmuş olduğu son enerji. (Reaksiyonun gerçekleştikten sonra sahip olmuş olduğu enerji değeri)

$E_{\text{başlangıç durumu}}$	Bu enerji durumu reaksiyonda girenler bölümünde bulunan hedef parçacık ve onu uyarmak için gönderilen parçacıkların enerjilerinin toplamını ifade etmektedir.
$E_{\text{son durum}}$	Bu enerji ifadesi ise reaksiyonun çıkanlar kısmında bulunan parçacıkların toplam enerji miktarının toplamını ifade etmektedir
E_K	Nükleer reaksiyonlarda hedef çekirdeğin kinetik enerjisini ifade eder.
G.B.H.M	Geometrik Bağımlı Hibrit Model
H	Hamiltonyen eşitliği
H_S, H_F	Nükleer reaksiyonlarda hedef çekirdeklerin sahip olmuş olduğu başlangıç ve son duruma göre parite değerlerini ifade eder.
I.A.E.A	Uluslararası Atom enerjisi Kurumu
I_a	Belirli zaman aralığında hedef çekirdek üzerine gelen parçacık akım sayısı
1kg	1Kilogram
K	Sıkıştırılmazlık katsayısını
k_n	Nötron için Fermi momentumu
k_p	Proton için Fermi Momentumu
$L_{1a}, L_{2a}, L_{3b}, L_{4b}$	nükleer reaksiyonu oluşturan parçacıkların sahip olmuş oldukları başlangıç ve son durumda sahip oldukları toplam açısal momentum sayı değerleri
1 MeV	1 Mega elektron Volt
M.T.A	Maden ve Teknik Arama Genel Müdürlüğü.
$m_{A'}$	Hedef durumda bulunan çekirdeğin durgun kütleini ifade etmektedir.
$m_{B'}$	Nükleer reaksiyon sonucu ortaya çıkan çekirdeğin durgun kütleini

m_c	Nükleer reaksiyon boyunca doğal ya da yapay yolla hızlandırılan parçacığın (ağır durumda bulunan Çekirdek) durgun kütleini
M	Nükleer reaksiyonun gerçekleşmesi sırasında hedef durumunda bulunan çekirdek sayısının ifadesi
mb	Milibarn
m	Parçacık kütleini ifade eder.
m^*	Nükleer etkin kütle değerleri
N	Hedef çekirdeklerin sahip olduğu Nötron sayılarını ifade eder.
${}_0^1n$	Nötron parçacığı
$N_{1a}, N_{2a}, N_{3b}, N_{4b}$	Nükleer reaksiyonu oluşturan parçacıkların sahip olmuş oldukları başlangıç ve son durumda sahip oldukları nötron sayı değerleri
${}^{208}\text{Pb}$	Kurşun
PO_4	Fosfat
$P_{1a}, P_{2a}, P_{3a}, P_{4a}$	Nükleer reaksiyonu oluşturan parçacıkların sahip olmuş oldukları başlangıç ve son durumda sahip oldukları moment değerleri
Po	Polonyum
P_σ	pauli spini
R_b	Belirli zaman aralığında nükleer reaksiyonun gerçekleşmesi sonrasında hedef çekirdekten ayrılmış parçacık sayıları ifade eder.
${}^{88}\text{Ra}$	Radyum
${}^{86}\text{Rn}$	Radon
R	Hedef çekirdeğin yarıçapını ifade eder.
r	Hesabı yapılmakta olan çekirdeğin yarıçapını göstermektedir.
S	Asimetri parametresi

SKa,SKb, SKM*, SLy4,SLy5,SLy6 ve SLy7	Skyrme etkileşim parametreleri
Thor	Mitolojik bir kavram olup,İskandinav mitolojisinde savaş, Gök gürültüsü ve Fırtına Tanrısı olarak geçmektedir.(1)
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
T.A.E.K.	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
Th	Toryum
TI	Titanyum
TÜBAV	Türkiye Bilim Araştırma Vakfı
T_A'	Hedef durumunda bulunan çekirdeğin kinetik enerjisini
T_B'	Nükleer reaksiyon sonucunda ortaya çıkan parçacığın kinetik enerjisini ifade eder.
T_C	Nükleer reaksiyon boyunca doğal yolla ya da yapay yolla hızlandırılan parçacığın kinetik enerjisini ifade etmektedir.
t_3	Cisimler arasındaki etkileşme sırasında oluşan etkileşme yoğunluğunu ifade etmekte olup bu etkileşim değerinin formüldeki gösterimidir.
U	Uranyum
US	Birleşik Devletler
Q	Herhangi bir nükleer reaksiyondaki reaksiyonun başlaması için alınan veya verilen ısıyı ifade eder.
\vec{V}_{Skyrme}	Hedef çekirdeğin sahip olmuş olduğu skyrme kuvvetini ifade eder.
Y	İtriyum
Z	Hedef çekirdeklerin sahip olduğu Proton sayılarını ifade eder
$Z_{1a}, Z_{2a}, Z_{3b}, Z_{4b}$	Nükleer reaksiyonu oluşturan parçacıkların sahip olmuş oldukları başlangıç ve son durumda sahip oldukları proton sayı değerleri

α	${}^4_2\text{He}$ çekirdeği
β	Nükleer reaksiyonlarda, reaksiyon oluşumunun öncesinde ve sonrasında ortaya çıkmakta olan parçacıklardan birisi.
γ	Gamma ışınması
ρ_n	Nötron yoğunluğu
ρ_z	Proton yoğunluğu
φ	Çekirdeğin sahip olmuş olduğu her tek parçacık fonksiyonu slater determinantındaki karşılığı
Φ	Sistemin sahip olmuş olduğu toplam dalga fonksiyonunun slater determinanttaki karşılığı
$1/\sqrt{N!}$	Hesaplanacak sistemin sahibi olduğu nükleon sayısını N , göstermekte ve kaç parçacık için hesaplanacak ise o kadar faktör yelinin alınacağını ifade etmektedir. Ya da diğer bir ifade ile slater determinantındaki normalizasyon sabitini ifade etmektedir.

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji üretim alanında, özellikle nükleer enerjinin kullanılması alanında hammadde olarak Uranyumun kullanımı tercih edilmektedir. Bu tercihin yakın bir zamanda kendisini Toryum'a bırakacak olduğu yapılan bir çok bilimsel çalışmalarda görülmektedir. Uranyum'un kullanımı sırasında ortaya çıkan radyasyon miktarı ve çevreye vermiş olduğu zararları etkilerinden dolayı dünyada yapılan araştırmalar Uranyum yerine Toryum'un kullanılması, özellikle, 200 ton Uranyum'dan alınan enerjinin 1 ton Toryum'dan alabileceğini göstermesi Toryumun enerji alanında kullanılması konusunda öncülük teşkil etmiştir. Buna ek olarak Uluslararası örgütlerin ve dünyada, Uranyum'un kullanılması tehdit olarak algılanması Toryum'un enerji alanında kullanımını zorunlu hale getiren sebeplerin başında gelmektedir.

Doğada bulunan Toryum mineralinin tenör değerleri, hangi mineralde hangi oranda ne kadar sıklıkta rastlanması önemlidir. Türkiye açısından kendi öz kaynakları ile dünyada üst sıralarda yer almaktadır. Bu çalışmada Toryum hedef çekirdeğinin Nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin Asimetri bağımlı Skyrme Potansiyeli kullanılarak incelenmesi yapılmıştır. Türkiye ve dünyada Toryum hedef çekirdeğinin gerek nükleer reaktörlerde enerji olarak gerekse günlük yaşam alanında kullanımı araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile nükleer reaksiyonlarda hedef durumunda bulunan, hedef çekirdek şeklinde, Toryum hedef çekirdeğinin SKa parametresi ile hesaplamaları yapılmıştır.

Toryum hedef çekirdeğini Skyrme kuvvetleri yardımıyla hesapları yapılmıştır. Yapılan araştırmalar ve analiz çalışmaları ile hesaplamalar sonucu ortaya konan bu çalışma "Toryum Hedef Çekirdeğinin Nükleer reaksiyon Tesir Kesitlerinin Asimetri Bağımlı Skyrme Potansiyeli Kullanarak İncelenmesi" olarak isimlendirilmiştir. Bu çalışma ile elde edilen yeni değerler EXFOR data verileri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen bu yeni değerler için kullanılan $S=N-Z/A$ parametresi yerine, SKa Skyrme parametresi kullanılarak elde edilen yoğunluk değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu yoğunluk değerleri için $S=(\rho_n - \rho_z) / (\rho_n + \rho_z)$ yoğunluk değerleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, SKa parametresi kullanılarak elde edilmiş olan yeni değerlerin, EXFOR data programından alınan deneysel değerler ile

karşılaştırılmalarının yapılması sonucunda uyumlu olduğu ve yeni oluşturulmuş olan parametrenin literatürde mevcut bulunan, Tel ve ark (2003.2008)[1,2] tarafından oluşturulmuş olan nükleer reaksiyon tesir kesit formülünde uyumlu olduğu ve Bychkov (1982) [1-3] tarafından oluşturulan ve $(n,2n)$ nükleer reaksiyon tesir kesitlerinde kullanılan formüllerde uyumlu olduğu görülmüştür.

1.1 Toryum Hakkında Genel Bilgi

Üzerinde yaşadığımız dünyanın yer yüzeyinde ve yer yüzeyine yakın olan kısımlarda birçok farklı isimde ve farklı özelliklere sahip materyaller mevcuttur. Bu materyallerin bazıları bir kaç özelliğinde benzerlik gösterebildiği gibi bazı özellikleri ise birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Bu farklı özelliklere sahip materyallere örnek olarak radyoaktiflik özelliği örnek verilir. Bu materyallere ise örnek olarak Toryum, Uranyum, Sezyum gibi radyoaktif materyaller örnek verilebilir. Bu tez kapsamında Toryum materyali hedef çekirdek olarak seçilmiş ve nükleer reaksiyon tesir kesitlerinde asimetri bağımlı Skyrme potansiyeli kullanılarak araştırılması yapılmıştır.

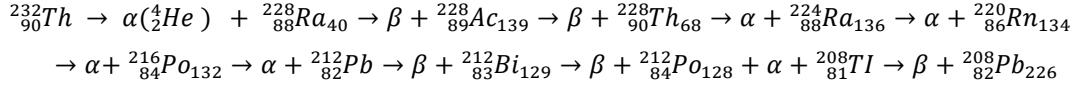
Toryum materyali diğer radyoaktif materyallere oranla yer kabuğunda bulunma miktarının yüzdelik ifadesi %0,0007'dir [4]. Rus Kimyager Dimitri Medvedev'in 1869 yılında yapmış olduğu çalışmasıyla ortaya konulan Periyodik cetvelde, aktinitler sınıfında bulunan 15 radyoaktif materyalden birisi olarak aktinyumdan sonra ikinci sırada Toryum yer almaktadır. Toryumun Periyodik tablodaki konumunu Şekil 1.1'den görülebilir. Toryum'un keşfi 1828 yılına dayanmaktadır. Bu tarihte Toryum'un keşfini gerçekleştiren kişi ise İsveçli bilim insanlarından Kimyager Jöns Jacob Berzelius'dur. J. J. Berzelius'un keşfini gerçekleştirmiş olduğu yeni radyoaktif materyale Toryum isminin verilmesi İskandinav Mitolojisine dayanmaktadır. İskandinav mitolojisinde "Thor" isminin karşılığı Savaş, Gök Gürültüsü ve Fırtına tanrısı olmasıdır [5].

Şekil1.1 Periyodik tablo [6]

Çizelge 1.1 Toryum hakkında genel ifadeler.

Hedef Malzemenin adı	Toryum	
Kimyasal Sembolü	$^{232}_{90}\text{Th}$	
Gözle görülür durumdaki renk durumu	Kurşun renginde	
Dünyada yer kabuğunda bulunma miktarı	1.200.000 ton	
Periyodik tabloda bulunduğu yer	Aktinidler sınıfı	
Bulunuş tarihi	1828 yılı	
Keşfi Yapan bilim İnsanı	Jöns Jacab Berzelius	
Yarılanma ömür süresi	1.41 x 10 ¹⁰ yıl	
İsminin Nereden geldiği	İskandinav Mitolojisindeki Savaş, Gök Gürültüsü ve Fırtına tanrısı	
İçermiş olduğu nükleon sayısı	142 Nötron	90 proton
İçermiş olduğu Atom numarası	90	
1 cm ³ içerisindeki yoğunluk oranı	11.72 g	
Ticari amaçla Kullanılmaya Başlandığı tarih	1884 yılı	
Ticari amaçla ilk kullanmaya başlayan bilim insanı:	Avusturya vatandaşı Kimyager Carl Auer Von Welsbach	
Türkiye'deki Toryum miktarı	380.000 ton	
1 kg'nın uluslar arası maden borsalarında değeri	80.00\$ (ortalama değer olarak)	
Türkiye'deki Toryum tenör değeri	% 0.2	

Toryum bozunma serisi ($^{232}_{90}Th$ için), aşağıda verildiği gibi olup serideki son ürünü ise kararlı durumda bulunan $^{208}_{82}Pb$ 'dir. Bu seriye Toryum serisi denilmesinin en büyük nedenlerinden birisi, seri içerisinde bulunan çekirdeklerde en uzun yarı ömür değeri olarak Toryum olmasından kaynaklanmaktadır.



Bu bozunum serisi içerisinde; $^{232}_{90}Th$ kararlı durumda bulunan $^{208}_{82}Pb_{226}$ 'e ulaşıncaya kadar toplamda altı (6) defa $\alpha(^4_2He)$ bozunumu gerçekleştirmiştir. Buna ilaveten Beş (5) defa da β bozunumu gerçekleştirmektedir. Bu bozunum serisinde bulunan her çekirdeğin yarılanma ömrü birinden farklı olmakla beraber Toryum ($^{232}_{90}Th$) yarılanma ömrü 1.41×10^{10} yıldır.

1.2. Türkiye'de ve Dünyada Toryum Rezerv Durumu

Toryum'un, Uranyum gibi radyoaktif bir çekirdek olması ve yapılan son araştırmalara göre, ilerleyen dönemlerde Uranyum hedef çekirdeğinin yerine geçebilecek potansiyeli kendi içerisinde barındırması, bu radyoaktif çekirdeğin hem dünyada hem de Türkiye'deki rezerv durumlarının bilinmesini zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Toryumun radyoaktif özellik göstermesi, yapılacak olan analiz ve çalışmalarda hedef durumunda bulunması belirli bir takım sorunları gündeme getirmektedir. Bu sorunların önceden tespiti oldukça önemlidir. Türkiye'de ve dünyada hangi bölgelerde, hangi tenör değerlerine sahip Toryumun olduğunun bilinmesi enerji ihtiyacı olan ülkeler için önem arz etmektedir. Yapılan birçok araştırma ve çalışmalar göstermektedir ki Toryum, Uranyumun yerine kullanılabilir bir özelliğe sahip hedef çekirdek durumundadır. Bu durum gerek Türkiye açısından gerekse diğer ülkelerin ekonomisi açısından da oldukça önemlidir. Ülkeler günümüzde enerji üretimi için birçok farklı tesislerin inşasını yapmakta ve kendi kaynakları ile beslemek suretiyle kendi ekonomilerini geliştirmek istemektedirler. Ayrıca nükleer teknolojinin kullanımını ileri seviyede gerçekleştirmiş olan ülkelerin yaşam standartlarının üst seviyelerde olması nükleer teknolojilerin sayesinde olmaktadır. Nükleer teknolojilerin ve özellikle bu

teknolojilerde kullanılan hedef durumundaki malzemelerin rezerv durumlarının bilinmesi önemlidir.

Bu çalışmada nükleer teknolojilerde kullanılmakta olan Toryumun araştırılması ve SKa Skyrme parametresi ile hesaplamaları yapılmıştır. Toryum rezerv durumlarının günümüze kadar yapılan ve gelecekte yapılacak olan araştırmalar içerisinde önem arz etmektedir. Temel olarak Türkiye'nin kendi öz kaynakları içerisinde Toryum rezerv oranlarının ve dünyadaki rezerv durumları içerisindeki konumu Şekil 1.4'den de anlaşılmaktadır. Toryumun dünya üzerindeki rezervleri ayrıntılı olarak incelendiğinde homojene yakın bir dağılım göstermiştir. Uranyuma oranla doğada daha fazla bulunuyor olması tüm ülkelerin enerji ihtiyaçlarının nükleer güç santralleri yoluyla karşılanması için önemli bir avantajdır.

1.2.1 Türkiye’de Toryum Rezervleri

Türkiye'nin yer altı madenlerinden birisi olan ve Uranyum'dan sonra nükleer reaktörlerde kullanımı gündeme gelecek olan diğer bir kaynak Toryum'dur. Toryum, Uranyum'un yerine kullanılacak bir potansiyele sahip olarak görülmesi Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılacak hedef kaynak durumundadır. Türkiye'nin kendi toraklarında bu yer altı madenin bulunması, araştırılıp analiz edilmesinin gerekli olduğunu göstermektedir. Ayrıca son dönemlerde gerçekleştirilen çalışmalarda göstermiştir ki dünyadaki fosil yakıtların azalması, petrol yakıtlarının yakın bir tarihte rezervlerinin azalması ve enerjiye olan ihtiyaçların ülkeler bazında artış göstermesi ülkelerin kendi öz kaynaklarının kullanımı ve çeşitlendirilmesi bakımından önem arz etmektedir. Bu durum nükleer enerjinin ve nükleer enerji üretiminde kullanılan hedef durumundaki malzemenin önemini artırmaktadır. Nükleer enerji üretiminde hedef durumunda bulunan Uranyum ve Toryum gibi kaynakların araştırılarak öğrenilmesi ve özellikle Toryumun, Uranyumdan sonra kullanılacak bir potansiyele sahip olması Toryumun Türkiye açısından önemini daha da artırmaktadır. Ülke olarak enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artarak devam etmesi ve buna paralel olarak teknolojinin bu yönde geliştirilmesi Türkiye açısından önemlidir. Günümüzde Toryum teknolojisinde önde olan ülkeler kendi öz kaynaklarıyla enerji üretimi yapmak istemektedirler. Toryum oranları yüksek olan ülkeler Toryum teknolojisinin

geliştirilmesinde önde gelmektedirler. Toryum teknolojisinin geliştirildiği ülkelerden olan Hindistan'da bu durum geçerlidir. Şekil 1.4'de belirtilmiş olan haritada dağılımı verilen Toryumun ve Toryum teknolojisinin önde olan diğer ülkelerde de durum aynıdır. Türkiye için Toryum adına daha fazla araştırma yapılması ve teknoloji ile Toryumun entegre hale getirilmesi gereklidir.

Türkiye'de Toryum ile ilgili yer altı madeni olarak yapılan çalışmalar ve araştırmalar 1959 yılında MTA tarafından başlatılmıştır [7]. MTA tarafından yapılan araştırmalar daha sonraki yıllarda da devam etmiştir ve günümüzde de devam etmektedir. MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulan bir harita Şekil 1.2'de verilmiştir. Burada da belirtilmiş olduğu gibi Şekil 1.2 harita Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin toprakları üzerindeki Toryum ve Uranyum rezerv durumlarını belirtmektedir. Şekil 1.2'deki haritadan da anlaşılacağı üzere günümüze kadar yapılmış olan çalışmalarda Türkiye'nin sahip olmuş olduğu radyoaktif kaynaklardan olan Uranyum ve Toryum rezervleri hakkında bilgi verilmiştir [8]. Türkiye'nin sahip olmuş olduğu Toryum rezervi yaklaşık 380.000 tondur [8]. Sahip olunan Toryumun tenör değeri yaklaşık %0.2 civarındadır. Aşağıda Şekil 1.2'deki verilmiş olan harita üzerindeki kırmızı noktalar Uranyumun bulunduğu bölgeleri mavi olarak belirtilen noktalar ise Toryum kaynağının Türkiye'de bulunmuş olduğu bölgeleri belirtmektedir. Ayrıca Şekil 1.3'de belirtilmiş olan Türkiye Maden Haritasında ise Toryum madeninin ülkemiz de diğer madenlerle arasındaki durumunun karşılaştırılması açısından Toryum madeninin durumu açıkça göstermektedir. Türkiye'de hem Şekil 1.2'de hem de Şekil 1.3'de görülmektedir ki Toryum rezerv durumuna Eskişehir İli civarında yoğun olarak rastlanılmıştır. Ülkemizdeki Bir çok araştırma geliştirme birimleri, üniversiteler, T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [9], MTA Genel Müdürlüğü, ETİ Maden İşleri Genel müdürlüğü gibi kurum ve kuruluşların yapmış olduğu araştırmalar devam etmektedir. Bu araştırmalar Türkiye adına çok önemlidir.



Şekil 1.2 Türkiye'deki Toryum rezervleri [10]



Şekil 1.3 Türkiye'deki Maden Haritası [11]

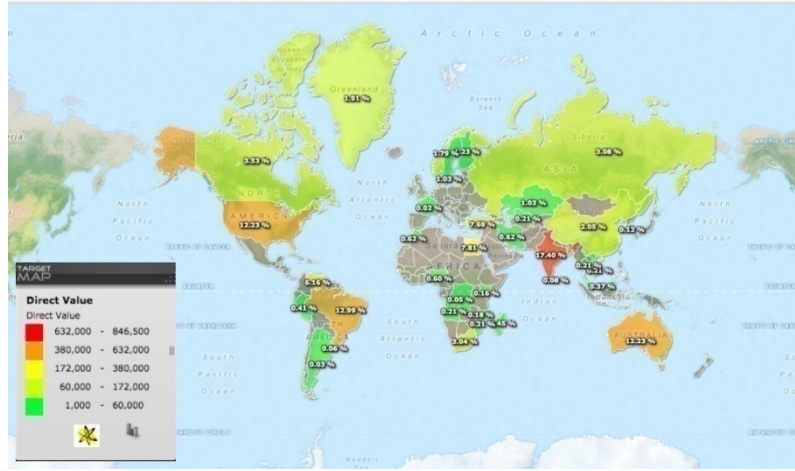
1.2.2 Dünyada Toryum Rezervleri

Dünya'da Toryum rezervinin bilinmesi önemli olup bunun sebebi olarak Toryum madeninin sahip olmuş olduğu özellikler bu duruma örnek olarak gösterilir. Toryumun, yapılan araştırmalarda ortaya çıkmış olan sonuçlar doğrultusunda Uranyumun yerine kullanılabilir bir potansiyele sahip olması ve şu anda araştırılması süren, ileriki dönemlerde yapılması gündeme gelecek olan Toryumlu nükleer reaktörler bu duruma verilebilecek birkaç örnektir. Uranyum yerine Toryum'un kullanılması dünyada, Uranyum'un kendisinden kaynaklanan birçok zararlı özelliklerinin azaltılması adına önemlidir. Toryumun dünyada kullanılması ve araştırılması ile ilgili olarak günümüzde birçok araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak 2013 yılının Haziran ayı içerisinde alanında uzman birçok üniversite öğretim üyelerinden oluşan bir çalışma grubunun 27-31 Ekim 2013 tarihlerinde gerçekleştirilen ve uluslararası statüsü bulunan, İsviçre'nin Cern şehrinde

gerçekleştirilen kongre örnek verilir. Bu kongre doğrultusunda, ülkeler Toryum çalışmalarına ve Toryum teknolojilerinde nerede oldukları ile ilgili, bir rapor hazırlama çalışmaları başlatılmış ve ülkeler kendi Toryum teknolojileri ile ilgili standart sayılabilecek bu programları diğer ilgili kurum ve kuruluşların görüşlerini almak için taslak haline getirmeye çalışmışlardır.[43]

Dünyada özellikle gelişmiş teknolojiye sahip ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamak adına bir çok farklı teknik ve alt yapı ile enerji üretim tesisleri inşaatını yapmaktadır. Gelişmiş teknolojiye sahip ülkeler hem kendi ihtiyaçlarını sağlamak hem de enerji fazlası yaratarak ülke ekonomilerine katkı sağlamak adına nükleer teknolojilerden yararlanmak istemektedirler. Gelişmiş teknoloji sahibi ülkelerin geçtiğimiz son 50-60 yıllık dönemde ve gelecek dönemlerde Toryum teknolojisine alt yapı çalışmaları yapmış ve yapmaya devam edecektir. Çünkü Toryum'un yapısı itibari ile sahip olduğu bir takım özellikler diğer radyoaktif maddelere göre, yatırım yapan ülkelere yarar sağlaması açısından, diğer radyoaktif maddelere göre daha avantajlıdır. Özellikle çıkacak herhangi bir nükleer savaşta toplu ölümlere sebep verecek şekilde bir silah yapımının Toryumda mümkün olmaması ve Toryum'un dünyadaki diğer bütün ülkelerin, kendi ülkelerinde sahibi olduğu coğrafik yapılarına göre dengeli dağılım göstermiş olması buna ek olarak nükleer reaktörlerde kontrol imkanının sıfır olduğu zincir reaksiyonu nedeni ile bir takım riskler bulunmuyor olması Toryum'u avantajlı hale getirmektedir. Bu kontrol risklerine örnek olarak erime ve patlamaları örnek verilebilir. Uranyum'a göre Toryum'un, Uranyum'un kullanılmasının her evresinde daha az radyoaktif kirliliğe sebep olması ve böylelikle çevre kirliliğinin daha az olması Toryum'u diğer radyoaktif materyal olan Uranyum'a göre daha avantajlı hale getirmektedir. Bu durum Toryumun kullanılmasını avantajlı hâle getirmektedir. Bu avantajlı durumlara ek olarak dünyada gelişmiş ülkelerde Uranyum'un yakıt olarak kullanıldığı nükleer reaktörlerde ve nükleer teknolojinin her aşmasında, kullanım sonrasında atıl halde bulunan kaynağın yeniden kazanılmasında, atıl durumda bulunan kaynağın yarı ömrünün düşürülmesinde kullanılan Toryum bir kaynak durumundadır. Toryum nükleer yakıt kaynağı ekonomisi oluşturulmasında kullanılır. Bu nükleer yakıt ekonomisi her kullanıcı ülke açısından önemlidir. Kullanıcı her ülke açısından, kendi ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. Dünyada Toryum rezerv olarak Şekil 1.4'deki gibidir. Şekil 1.4'de belirtilen bu oranlar için

Türkiye adına yüzde olarak % 7.69 olarak, Hindistan için %17.40 ve Avustralya için %12.33 olarak verilmiştir.



Şekil 1.4 Toryumun dünya üzerindeki dağılım oranları [12].

Şekil 1.4'deki verilen dünyadaki Toryum rezerv miktarının dağılım oranları haritada gösterildiği gibidir. Gösterilen dağılım oranlarının, hangi bölgede ne kadar olduğu ise haritalarda kullanılmakta olan renklendirme yöntemiyle gösterilmiş olup gösterilen renk skala aralığına karşılık gelen değerler haritada sol alt köşede belirtilmiştir. Dünya üzerindeki Toryumun oranlarının dağılımının genel itibari ile dengeli bir dağılımda olduğu Şekil 1.4'de görülmekte ve Türkiye'deki Toryum oranının miktarı dünya Toryum rezerv durumu içerisindeki miktarını açıkça göstermektedir. Bu durum Türkiye'deki Toryum oranının dünya Toryum oranının %7'sini ve dünya üzerinde bulunan Toryum miktarı içerisindeki 380.000 tonunun Türkiye'de bulunduğunu göstermektedir [7]. İfade edilen Şekil 1.4 Toryumun dağılımı günümüze kadar yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulmuştur. Oluşturulan ve Şekil 1.4'de ifade edilmiş olan haritada da ileri dönemlerde yapılacak olan, gelişmiş teknik donanımlar kullanılarak yapılacak olan araştırmalarla değişim gösterme ihtimali var olup ülkelerin ihtiyaçlarını karşılamak istemelerine göre mevcut rezervlerinde azalma olma ihtimali de vardır.

1.3 Toryumlu Mineraller

Dünyadaki rezerv oranlarına bakıldığında birçok radyoaktif materyal rezervleri bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Uranyum ve Toryum örneği verilebilir. Dünya üzerindeki radyoaktif kaynak olarak kullanılan madenlerin çıkarılmış oldukları

ülkelere ekonomik olarak katkıları oldukça fazladır. Ancak buna ek olarak dünyada ülkeler arasında yapılmış olan antlaşmalar radyoaktif materyallerin kullanımları ve rezerv durumları, belirli kurum ve kuruluşlar tarafından takibi yapılmaktadır.

Dünyada radyoaktif rezervlerin bulunması ve bu rezervlere sahip ülkelerin kendi ihtiyaçları doğrultusunda yararlanmak istemeleri ve özellikle bazı materyallerin hem ekonomik değer hem de enerji üretim değeri olarak değer var olması bu rezervlerin önemini daha çok artırmaktadır. Bu rezervlere örnek olarak Toryum verilebilir. Toryum'un dünyada madencilik üretimi belirli birçok işlem gerektirmektedir. Bu durum birçok sebep içermektedir. Toryum'un radyoaktif olmasından kaynaklanmakta olması bu sebeplerden bir tanesidir.

Toryumun radyoaktif olması bu materyalin üretiminin, kullanımının ve bu süreçlerinin takip altına alınmasını gerektirir. Radyoaktif özellikleri içerisinde barındıran ve hedef olarak seçilebilecek çekirdeklerin kullanımının takibini yapmak amacıyla ve radyoaktif özelliğe sahip olan hedef çekirdeklerin barışçıl amaçla, insanlığın zararına kullanılmasını önlemek amacıyla dünyada Uluslar arası Atom Enerjisi Kurumu ve ülkelerin kendi atom enerji kurumları kurulmuştur [13]. Bu duruma örnek olarak Türkiye'nin kendi Atom Enerji Kurumu olan Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ya da kısa adıyla TAEK örnek olarak verilebilir.

Türkiye'de Toryum madeni denilince akla gelen Toryum içerikli belli başlı mineraller bulunmaktadır. Türkiye'de mevcut olan bu mineraller içerisinde, Türkiye'de en fazla monazit çıkarılır. Monazit minerali dışında daha bir çok mineralde de Toryum bulunmakla beraber Türkiye'de genellikle yapılan araştırmalarda karşılaşılan mineral tiplerinin başında Monazit gelmektedir. Türkiye'de monazit mineralinin yanında Çizelge 1.2'de belirtilmiş olan diğer minerallerden bir veya bir kaçına da rastlanma ihtimali vardır. Toryumun araştırılması yapılması ve daha iyi anlaşılması açısından Monazit minerali Bölüm 1.3.1 'de ayrı bir başlıkta açıklanmıştır.

1.3.1 Monazit



Şekil 1.5 Monazit minerali örneği [14] .

Şekil 1.5'de görülen mineral monazit olup bu mineralin bazı özellikleri vardır. Monazit yapısında Toryum barındırmasından dolayı bir öneme sahiptir. Bu doğrultuda ülkemizde Monazit yatakları mevcut olup bu yataklardan belirli oranlarda Toryum üretimi sağlanmaktadır. Monazit günlük yaşamda kullanımının sınırlı olması bu mineralin önemini azaltmakla beraber asıl önemini Toryum üretiminde kullanılıyor olmasından almaktadır. Toryum açısından oldukça önem arz etmekte olan bu durumun nedeni üretilen Toryumun çoğunlukla Monazit'ten elde ediliyor olmasıdır.

Türkiye Uluslararası Atom Enerji Kurumuna (IAEA) nadir toprak elementleri içeren monazit yataklarından 80 US \$ kadar mal edilebilen Toryum rezervi olduğunu bildirmiştir [15,16].

Türkiye topraklarında maden aranması konusunda yetki almış bazı kurum ve kuruluşlar vardır. Bu kurumlar, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü ve Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'dür. Bu kurumların belirli periyotlar ve zaman aralıklarında yapmış oldukları çalışmalar sonucunda yayınlamış oldukları raporlar, yayınlar v.b. belgeler doğrultusunda Türkiye'nin sahip olmuş olduğu mineral ve madenler ile bunların oranları gün yüzüne çıkarılmış ve çıkarılmaya devam edilecektir. Bu doğrultuda ülkemizde monazit mineralinin varlığı da tespit edilmiştir. Monazit'in ülkemizde var olduğunun tespiti tarihsel olarak 1968 yılına tekabül etmektedir.

Monazit'in sahip olmuş olduğu özellikler ise; kimyasal yapısı içerisinde (Ce, La, Y, Th) PO_4 Sahip olmuş olduğu kristal sistemi ve biçimi sırasıyla mono klinik ve kristal biçimleri ise c- eksenini boyunca uzanmış kısa prizmatik şekildedir [17]. Belirtilen özelliklerinin yanında buna ek olarak bazı bastnazit mineralleri % 0.02 – 0.1 ve monazit mineralleri % 0.02-0.35 arasında Uranyum içermektedir [18-19]. Monazit üretiminde Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya, Brezilya, Çin Halk Cumhuriyeti, Hindistan ve Malezya'da üretimi yapılmakta olup bu ülkeler arasında en çok üretim sağlayan ülkeler Amerika ile Çin'dir [17]. Toryum minerallerinden olan Monazitin, Bölüm 1.3.1'de Monazit olarak ayrı bir başlıkta belirtilmesine neden olan durum aşağıdaki Çizelge 1.2'de verilen diğer Toryum mineralleri içerisinde ekonomik olarak üretiminin monazit minerali üzerinden yapılması ile ilgilidir. Çizelge 1.2'de verilen diğer Toryum mineralleri ve bu minerallerin ihtiva ettiği oranlar verilmiştir.

Toryum mineralleri ve doğada bulunan bu mineraller içerisindeki Toryum oranları Çizelge 1.2'de belirtilmiştir. Belirtilen bu Çizelge 1.2'deki mineraller dünyada Toryum rezervine sahip ülkelere gerek ekonomiye kazandırılması gerekse enerji alanında kullanımının sağlanması ile ilgili çalışmalar sürmektedir.

Çizelge 1.2 Dünya üzerinde bulunan Toryum'un içerisinde bulunduğu mineralleri ve bu mineraller içerisindeki yüzde oranları [20].

Mineral	Toryum %
Ampangabeite	1.8
Branerit	0.26 - 4.4
Calciosamarskite	1.9- 2.9
Eschynite	9.9 - 15.4
Euxenite	<4.3
Fergusonite	0.7-2.5
Formanite	1.1
Khlopinite	1.9
Polycrase	< 4.7
Priorite	0.5-14.9
Samarskite	< 3.7
Thorianite	45.3- 87.9
Allahite	< 3.2
Cheralite	25.9- 27.7
Huttonite	71.6
Monazit	< 26
Pilbarite	27.4
Torit	25.2-62.7
Throgummite	18.2-50.8
Tscheffkinit	< 18.4
Ksenotim	< 2.2

1.4 Toryumun Kullanım Alanları

1.4.1 Toryumun Günlük Yaşamda Kullanımı

Toryum, ilk olarak 1884 yılında Avusturyalı kimyacı Carl Auer von Welsbach tarafından “Welsbach mantle” ya da “Auerlicht” olarak bilinen akkor gaz lambalarının keşfedilip geliştirilmesinden sonra kullanılmaya başlanmıştır [21]. Toryum günlük yaşam içerisinde belirli alanlarda kullanılmaktadır. Bu durumda olma potansiyeline sahip olan Toryum için öncelikle hedef durumunda bulundurulduğunda, bir nötron parçacığı ile nükleer reaksiyon gerçekleştirildiğinde

U-233 formuna geçmesinden dolayı nükleer reaktörlerde enerji üretimi için Uranyum'un yerine kullanılmasını gündeme getirir. Uranyum'dan sonra enerji üretiminde Toryum'un kullanılması gündeme gelir. Toryum'un bu özelliğinden dolayı enerji üretiminde kullanılmasını sağlayacaktır. Toryum'a dayalı nükleer reaktör sahibi olan ülkeler tarafından enerji üretimi alanında kullanılması sağlanır.

Gerekli işlemlere tabii tutulduktan sonra güçlü alaşımlarda kullanımı sağlanarak Toryum'un günlük yaşamda ihtiyacımız olan güçlü alaşımların yapısında kullanılmaktadır. Toryum sahip olmuş olduğu özellik dolayısıyla Kızılötesi Fotoelektrik Hücrelerin yapılarının analizi ve araştırmalarında kullanılmaktadır.

Toryum güçlü yapısı itibari ile elektronik ortamlarda kullanılan birçok kablo sistemlerinde kaplama malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Bu durum elektronun kopartılması için gerekli olan enerji seviyesinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca elektronik bazı donanımlarda kullanılan tungsten iletim kablolarında kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. Toryum'un kullanım alanlarından bir başkası cam üretimi sektöründe kullanılıyor olmasıdır. Toryum'un kullanımı ile normal camlardaki kırılma indislerinden daha yüksek seviyelerde indislere sahip camların üretilmesinde ve ışığın cama vurduğu zaman normal bir cama göre daha az kırılma (ya da literatürdeki adıyla dispersiyon olayının) olmasına olanak sağlamazlar. Bundan dolayı kaliteli ya da yüksek çözünürlüklü fotoğraf çekimlerinde kullanılmaktadır. Bu durum fotoğrafı çekilen malzemenin ya da araştırması yapılan ürünün analizinin daha kolay olmasını ve daha iyi anlaşılması sağlamaktadır. Bu normal bir mercekle çekim yapılması ve yapısında Toryum içeren mercek ile çekim yapılması arasındaki farkta da kendisi göstermektedir.

Toryum gündelik yaşamda bir başka kullanım alanı olarak petrolün ayrıştırılması (yada literatürdeki adı ile damıtılması) işlemlerinde kullanılmaktadır. Toryum bazı asitlerin üretilmesinde de görev almakta olup bu asitlere örnek olarak, sülfürik asit örnek verilebilir. Toryumun 1884 yılında kullanılmasından günümüze kadar birçok farklı alanda kullanımı olup bu alanlardan bazıları bahsedilmiştir. Bu alanlara ek olarak meteoroloji alanında hava durumlarının tespiti konusunda, savunma sanayi içerisinde askeri amaçlı kullanımı vardır. Ayrıca radyasyon ölçüm detektörlerinin yapılmasında kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilmiş olduğu gibi havacılık sektöründe

yapısından dolayı sahip olduğu özellikler dolayısıyla kullanılmaktadır. Son dönemlerde Toryumun radyoaktif özelliğinden dolayı kullanımlarında azalmalar olmaktadır. Uranyumun yerine kullanılması anlamına gelmekle birlikte ileriki dönemlerde nükleer santrallerde enerji üretimi için kullanılan malzeme olarak Toryumun tercih sebebi olması ihtimalini güçlendirmektedir. Bu anlamda enerjide kullanımı ile ilgili olarak 1.4.2'de belirtilmiştir.

1.4.2 Toryumun Enerji Alanında Kullanımı

Toryumun yapısı itibari ile yapılan araştırmalara göre Uranyum ile kıyaslandığı zaman, doğada Uranyuma oranla üç kat fazla bulunuyor olduğunun tahmin ediliyor olması, dünyanın sahip olmuş olduğu Uranyum yataklarının belirli bir sınırdan bulunuyor olması, Uranyumun çıkarılmış olduğu Uranyum yatağından enerji üretimi için geçecek süreç içerisinde Uranyum zenginleştirme maliyetinin Toryuma oranla yüksek olması Toryumun kullanılmasını zorunlu olduğunun göstergesidir. İlaveten gelecek dönemlerde Uranyum kaynaklarının az olmasından kaynaklanacak olan ekonomik değer karşılığının (parasal karşılığının) yükselme ihtimali Toryum'un enerji alanında kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Toryum'un enerji alanında kullanımı ile ilgili dünyada birçok ülke araştırmalar yapmakta olup bu radyoaktif materyalden kendi enerji ihtiyaçları doğrultusunda kullanmak ve enerji ihtiyaçlarını karşılamak istemektedirler. Dünyada enerji alanında kullanımının sağlanması için çalışma yapan ülkeler ise Amerika Bileşik Devletleri ve Hindistan başta olmak üzere Almanya ve İngiltere bu ülkelere örnek olarak verilebilecek ülkelerdendir [8]. Bu ülkelerin kendi enerji ihtiyaçlarını Uranyumdan sonra sırada bulunan Toryumu enerji üretim sistemlerinde yakıt olarak kullanmak istemeleri kendi enerji ihtiyaçlarının karşılanması ile ilgilidir.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelere enerji ihtiyacı her alanda kendini hissettirmekte olup Türkiye'nin sahip olmuş olduğu öz kaynakları kullanabilecek olması hem ekonomik olarak hem de bilimsel anlamda önemlidir. Bu önemin sebebi kendi öz kaynakları arasında Toryum oranının diğer ülkelere oranla fazla bulunuyor olmasından kaynaklanmaktadır.

Amerika da (Dünyada Toryumun nükleer reaktörlerde enerji amacıyla ilk kullanımı A.B.D.'de gerçekleştirilmiştir.) gerçekleştirilen Manhattan projesi ile birlikte başlamıştır. Manhattan Projesinin tarihsel olarak 1945-1958 yılları arasına denk gelmektedir. Daha sonraki dönemlerde ve özellikle 1958-1980 dönemi arasında dünyada bazı ülkelerde Toryum yakıtı ile çalışan ilk örnek (yada diğer adıyla ilk prototip) Toryum nükleer güç reaktörleri yapılmıştır. 1980 ile 2000 yılları arasındaki dönemde Toryum yakıtlı nükleer güç santrallerinin inşaatını yapan ülkelere olan Amerika Bileşik Devletleri ve A.B.D'nin yöneticisi, Cumhuriyetçi liderlerinden, (Başkanlarından) Gerald Rudolph Ford ve James Earl Carter Jr. (Yada diğer bilinen adıyla Jimmy CARTER) [22], nükleer enerji konusunda yapılan araştırma ve geliştirmelere destek vermemeleri, toplumsal ve bilimsel olarak, Toryum yakıtlı nükleer güç santrallerine olan ilgiyi azaltmıştır. Azalan bu ilgiye karşı 1993 yılında Nobel ödülü sahibi olan bilim insanı Prof. C. Rubia yapmış olduğu çalışma ile, Avrupa nükleer Enerji merkezinde (ya da kısa ve bilinen adı ile Cern'de) ilk defa Toryumu yakıt olarak kullanan enerji yükselteç reaktörü oluşturulmuş olup takip eden yıllarda yapmış olduğu projenin yapılabilirlik ön çalışması olan fizibilite raporunu 1998 yılında bitirmiştir [23].

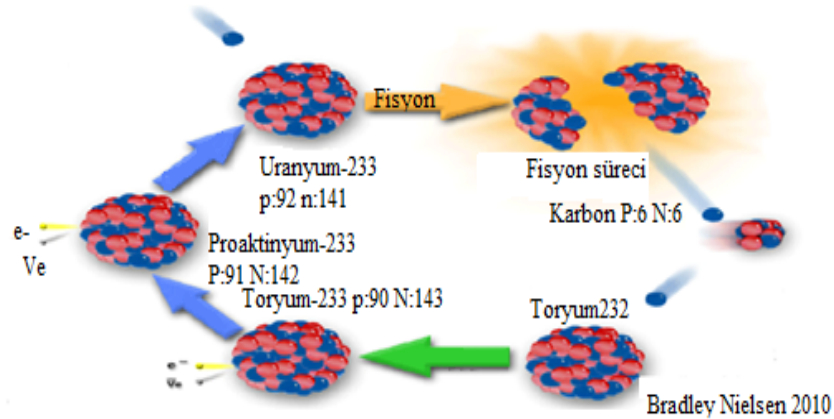
Nükleer enerjiden yararlanmak isteyen ülkeler, radyasyonun ve özellikle Uranyum'un zararlı etkilerinden kurtulmak isteyen ülkelerin bilim insanların yapmış olduğu araştırma, sonuç ve değerlendirmeler sonucunda temiz enerji olarak tabir edilen Toryum'dan enerji üretimini tekrar gündemlerine almışlardır.

Dünyada enerjiye olan ihtiyacın artması ve Toryum'un Uranyum'dan sonra sırada bekleyen radyoaktif enerji üretim kaynak materyali olması Toryum'un yeniden gündeme gelmesine ve araştırılmaya başlanmasına sebep olmuştur. Yeniden gündeme alınan bu araştırmalarda bazı ülkeler ön sıralarda yer almıştır. Bu ülkelere birisi de Hindistan'dır. Hindistan'ın ilk sıralarda yer alması tesadüf (ya da rastlantısal) olmayıp sahip olmuş olduğu öz kaynaklardan olan Toryum'un kendi ülke topraklarında fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Hindistan'da bulunan Toryum oranı dünya üzerindeki dağılışı oranına göre %17.40 olup bu oran Şekil 1.4' ten öğrenilebilir. Hindistan'ın yanı sıra Rusya ve A.B.D gibi ülkelerde Toryum'dan yararlanma konusunda araştırma ve geliştirmelerde bulunmaktadır. Özellikle

Rusya'nın yapmış olduğu çalışmalar Toryum'un kullanımı açısından önem arz eden çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

Rusya'nın yapmış olduğu çalışma, Toryum ile ilgili yapılan diğer çalışmalar arasında ayrı bir yere sahip olup bu çalışma Kurchatow Enstitüsünde (Rusya) yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalara ek olarak A.B.D. merkezli olan ve Thorium Power isimli araştırma ve geliştirme şirketinin Rusya'da yapılmış olan çalışmalara katkıları bulunmaktadır.

Toryum'un enerji üretiminde kullanımı ile ilgili olarak uygulamaları mevcut olup bu uygulamanın yapılmış olduğu nükleer reaktör Kamini Nükleer Reaktörü'dür. Bu reaktör Hindistan'da olup reaktör içerisinde Toryum'dan elde edilmiş olan U-233 kullanılmaktadır. Reaktörde kullanılan Uranyum için Hindistan Enerji Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu 2008 yılındaki bildirimlerine göre 30.000 ton Toryum'un Hindistan Hükümeti'nin depolamış olduğu belirtilmektedir. Bir A.B.D firması olan ve Nükleer enerji üretimi alanında faaliyet yürüten D.B.I. Firması Hindistan Hükümetine Toryum reaktörü kurabilecekleri ile ilgili teklif vermişlerdir[24].



Şekil1.6 Toryum hedef çekirdeğinin kullanılarak reaktörde Uranyum üretilmesi [26].

Toryum hedef çekirdeğinin nükleer reaktörlerde enerji üretimi için kullanılması öncelikle Toryum hedef çekirdeğinin Uranyum-233 hedef çekirdeğine çevrilmesi gerekliliğini ortaya çıkarır. U-233 hedef çekirdeği 198 MeV de oluşturulmak istendiği zaman bir nötron parçacığı yakalayarak fisyon yapar. Bu süreçten sonra U-233 çekirdeği birbirine eşit olmayan iki tane yeni elemente ayrışır. Bu ayrılmış olduğu elementlerden birisi ağır diğeri hafiftir[26]. Buna ek olarak 2 yada 3 nötron

gibi Ksenon ve Neodiminyum olarak bu yeni elementlerin büyük çoğunluğu toplanır ve yayınlanır.

Fisyon ile gelen nötronlar çok hızlı hareket eden ve fisyonu ya da hemen hemen tüm bu kinetik enerjiyi absorbe etmeden vazgeçmesi grafit karbon çekirdeğine dikkat çeken gözlenebilir olması muhtemel değildir. Bu tuz karışımının geri kalanı ile aynı sıcaklıkta olduğu için nötronlar termal nötron olarak adlandırılır [26].

Toryum-232 bu durumda bir nötron absorbe etmek koşulu ile Th-233 e dönüşür. Th-233 ün yarılanma zamanı ise 22 dakikadır. Th-233 den Proaktinyum-233 geçişi esnasında bir proton ve beta bozunumu gerçekleştirilir. Bu bozunum sürecinde ise bir elektron ve bir anti nötrino açığa çıkarılır. Bu gerçekleşen süreçlerin sonucunda Proaktinyum-233 oluşturulur. Bu duruma ek olarak Proaktinyum yarı ömrü 27 gün olup Proaktinyum-233 son kez beta bozunumu yaptırılarak U-233'e dönüştürülür [26].

Şekil 1.6 'da gösterilmiş olan Toryum hedef çekirdeğinin nükleer reaktörlere enerji üretimi alanında kullanımı için gerçekleştirilen işlemler anlatılmış olup bu işlemler sonucunda nükleer reaktörlerde Toryum hedef çekirdeğinden enerji üretimi sağlanır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Türkiye'de ve dünyada Toryum alanında daha önceden yapılmış çalışmalar mevcut olup bu çalışmalar genel olarak nükleer reaksiyonlarda hedef durumunda bulunan çekirdek şeklinde yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında Toryum çekirdeğinin enerji alanının da uranyumdan sonra kullanılabilir potansiyele sahip olması ve özellikle son dönemlerde gerek Türkiye'de gerekse dünyada artan enerji ihtiyaçlarını karşılanması adına, elektrik enerjisi üretimi sırasında reaktörlerde ortaya çıkma ihtimali bulunan zararlı radyasyonların azaltılması, reaktörlerde enerji üretimi sonrasında atık ürün olarak Toryumun uranyuma oranla daha az atık madde olarak (yapılan araştırmalara göre) daha az kalması, yapılan çalışmalarda başat rol oynamıştır. Son yıllarda özellikle uluslararası alanda enerjinin kullanım ihtiyacı artması, gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkelerin enerji ihtiyaçlarını nükleer enerji olarak sağlamak istemeleri diğer bir etkidir. Özellikle Toryumun nükleer silah yapımında direk kullanımın mevcut olmaması ve uranyuma oranla radyasyon oranlarının daha az olması önceki çalışmaların diğer bir etkenidir.

Dünyada Toryum ile ilgili bir çok çalışma mevcut olup bu çalışmaların yapılması ülkemizde olduğu gibi bir çok yabancı ülke tarafından gerek devlet eli ile gerekse özel sektör eli ile desteklenmekte olup teşviki sağlanmaktadır. Dünyada Toryum çalışmaları ile ilgili olarak Toryum reaktörleri çalışmaları ve nükleer reaksiyonlarda hedef çekirdek olarak Toryumun seçilerek yapılan gerek deneysel gerekse teorik çalışmalar örnek verilebilir

Türkiye'de yapılmış olan çalışmalarda çoğunlukla devlet eli ile yapılmıştır. Bu anlamda özellikle Üniversite akademisyen kadrolarında çalışan bilim insanlarının çalışmaları mevcuttur. Türkiye'de yürütülen bu çalışmalar T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, D.P.T, T.A.E.K., M.T.A, TUBİTAK, TÜBAV, ETİ Maden gibi kurumlar tarafından yapılan desteklenmektedir. Yapılan çalışmalar da ismi geçen kurumların katkı payları oldukça büyüktür. Türkiye'nin Toryum maden rezervi bakımından (Yapılan araştırmalara göre) dünya sıralaması yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Özellikle Türkiye'de yapılmış olan çalışmalara örnek olarak 6-7 Ocak 2003 Toryum Yakıtlı Nükleer Teknolojiler Çalıştayı, bu çalıştay DPT ve TAEK tarafından desteklenmiş olup Eskişehir Orhangazi Üniversitesinde

yapılmıştır. Ek olarak 3 Ekim 2013 Tarihinde Enerji ve Tabii kaynaklar Bakanlığı bünyesinde düzenlenmiş olan “Toryum Enerji Çalıştayı” yapılmıştır. T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde üniversitelerin akademik üyelerinden oluşan Toryum Danışma Kurulu oluşturulmuş olup bu alanda faaliyet göstermektedir [43]. Buna ek olarak Bilim Ve Teknoloji Yüksek Kurulu (BTYK) 20 Kasım 2007 tarihinde görüşmüş olup 2007/102 numaralı karar ile Ulusal Nükleer Teknoloji Geliştirme Programı (2007-2015) programı kararı alınmıştır [43].

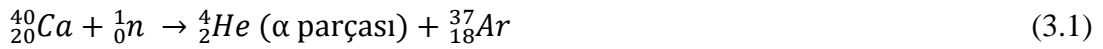
Yapılan bu çalışmaların yanı sıra dünyada Toryum alanında ileride olan gelişmiş ülkelerin Toryum kullanımı ile ilgili olarak geliştirmiş oldukları strateji planları Türkiye tarafından örnek alınarak Türkiye'nin kendisine ait bir strateji planının oluşturulması çalışmaları yapılmıştır. 2007 yılı içerisinde BTYK kurulunun almış olduğu kararlar doğrultusunda ilgili kurumların temsilcileri ile T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde Toryum konusunda uzman bazı bilim insanlarından oluşan bir toplantı yapılmıştır. Uluslararası alanda geçerliliği olan bir çok hakemli dergilerde Türk bilim insanları tarafından gerek araştırma sonuçları gerekse konu ile ilgili bir çok uzman görüşü mevcuttur [44-46]. Toryum nükleer alanında yapılan bu araştırmalar ülkemizde T.A.E.K tarafından dünyada ise I.A.E.A tarafından takibi sağlanmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Nükleer Reaksiyonlara Giriş

Nükleer reaksiyonlar (literatürdeki diğer adıyla çekirdek tepkimeleri), hedef durumda bulunan parçacıktan daha yüksek enerji seviyelerine sahip bir parçacık arasında gerçekleşen ve gerçekleşen reaksiyonun sonucuna göre başlangıçtaki hedef durumunda bulunan çekirdeğin, başlangıçtaki hedef çekirdeği uyaran parçacığın reaksiyona göre belirli bir takım özelliklerinin değişmiş veya değişebilecek olduğu reaksiyonlardır. Gerçekleşecek olan reaksiyonlar belirli enerji aralıklarında gerçekleşir ve bu enerji aralıklarına verilen genel isimleri literatürde mevcuttur. Bu enerji aralıkları ve enerji aralıklarının karşılık geldiği literatürdeki genel adları Çizelge 3.1'deki gibi olup bu ifadeler açıklanmıştır. Buna ek olarak bu değişen özellikler belirli bir korunum yasaları referansında gerçekleşmekte ve bu referansların, korunum kanunlarının neler olduğu ilgili bölümlerde verilmiştir. Nükleer reaksiyonların (ya da literatürdeki diğer ismi ile çekirdek tepkimelerinin), gerçekleşmesinde hedef durumdaki çekirdeğin uyarılması anlamında uyaran parçacıklar aşağıda belirtilmiş olan parçacıklardan birisi veya bir kaç tanesi birden olabilir. Bu uyaran parçacıklar proton, nötron, α , γ , döteron olabileceği gibi ağır bir iyonunda olma ihtimali mevcuttur.

Nükleer reaksiyon kavramını örnek vererek açıklamak gerekirse; Nükleer reaksiyon (çekirdek tepkimesi) aşağıda örneği verilmiş olan ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ reaksiyonu bu reaksiyona örnek teşkil eder.



Bu nükleer reaksiyonunda anlaşılacağı üzere hedef durumunda bulunan ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ çekirdeğini nötron bombardımanı sonucu ürünler kısmında açığa çıkan ${}^4_2\text{He}$ (α parçası) ve ${}^{37}_{18}\text{Ar}$ çekirdekleri çıkmıştır. Bu nükleer reaksiyonda olduğu gibi nükleer reaksiyonların sonucunda sadece alfa parçasığı çıkacak şeklinde olacak diye bir kural yoktur. Yukarı da belirtilmiş olduğu gibi proton, nötron, gamma vb. olabilir. Gerçekleşmiş olan nükleer reaksiyonları her zaman uzun uzun yukarıdaki ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ reaksiyonunda olduğu gibi yazmanın zor olmasından dolayı, nükleer

reaksiyonların kısa Şekilde gösterimi de mevcuttur. Bu gösterim şekli ise aşağıda belirtilmiş olan Denklem 3.2'deki gibi olup gösterilen gösterim şekli geneldir. Bu genel gösterimin yanı sıra yukarıda örneği verilen ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ örneği içinde aşağıda gösterilmiştir. Yukarıda bahsi geçmiş olan genel gösterimi ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ çekirdeği üzerinden gösterecek olursak bu durumda genel gösterim ve ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ gösterimi aşağıda belirtildiği gibi olacaktır.



Yukarıda belirtilen Denklem 2.1 deki nükleer reaksiyonun genel gösterimi.



Denklem 3.2'de belirtilen genel gösterim, Denklem 3.1'de belirtilmiş olan nükleer tepkimenin genel gösterim şeklidir. Yukarıda bahsi geçen genel gösterim (Nükleer reaksiyonlar için) Denklem 3.3'de belirtilmiş Şekilde olur. Bu Denklem gösterimi genel olup bu gösterim üzerinden diğer nükleer reaksiyonların gösterimi yapılabilir. Bu gösterim için örnek olarak verilen Denklem 3.1'deki Denklem buna örnek olarak verilebilir.

Denklemlerin (Nükleer reaksiyon Denklemleri) genel gösterimi Denklem 3.3'de belirtildiği gibi olduğu yukarıda belirtilmiştir. Bu gösterim şekli aşağıda Denklem 3.3'de belirtildiği gibidir.



Burada Denklem 3.3'deki belirtilen ifade herhangi bir nükleer reaksiyonun kısa Şekilde gösterimi ifadesi olup en genel halidir. Yukarıda açıklaması yapılan ve Denklem 3.3'de belirtilen ifade nükleer reaksiyonların en genel gösterim hali olup nükleer reaksiyonlar bu gösterim üzerinden yürümektedir. Buna ek olarak bu genel gösterimde ürünler tarafında Q ifadesi de bulunmaktadır. Bu ifadenin açıklaması ile ilgili olarak ise reaksiyonun endotermik yada ekzotermik olduğu ile ilgilidir. Bu durumu ifade etmek için öncelikle bize reaksiyonun ilk ve son enerjileri gerekir. Bu durumda reaksiyonun gerçekleşmesi sırasında reaksiyonun endotermik mi yoksa ekzotermik mi olduğu belirlenir. Öncelikli olarak reaksiyonun yorumlamasının

yapılması için gerekli olan enerji değerleri ifadelerini açıklarsak ve bir Çizelge ile gösterirsek, bu ifadeler aşağıda Denklem 3.4'de belirtildiği gibi olacaktır.

$$Q = E_b - E_s \quad (3.4)$$

Nükleer reaksiyonlar Denklem 3.4'deki belirtilen ifadelere göre endotermik yada ekzotermik olduğuna karar verilir. Bu karar işlemi sırasında reaksiyon oluşumu esnasındaki enerji değerleri, reaksiyonun endotermik yada ekzotermik olduğunun belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Bu durum ile ilgili olarak ise reaksiyonun sahip olduğu enerji başlangıç durumundakine göre yüksek ise yani $E_b > E_s$ ise reaksiyon ısı verecektir. Bu durum için reaksiyon ekzotermik olacaktır. Bu durumun yanı sıra, mevcut olan durumun tersinin olma ihtimalide vardır. Yani $E_b < E_s$ reaksiyonun son enerji değeri, başlangıçta sahip olduğu enerji değerinden düşük ise bu durumda da reaksiyon endotermik bir reaksiyon olacaktır [27]. Bu durumları bir Çizelge halinde gösterirsek Çizelge 3.1'de bu durumu anlatmaktadır.

Çizelge 3.1 Nükleer Reaksiyonun sahip olmuş olduğu enerjilerine göre durumları

(Q = E _b - E _s) yandaki Denkleme göre reaksiyonun sahip olduğu enerji durumu hesaplanır. Gerçekleşen reaksiyonun Endotermik yada ekzotermik olduğu durum aşağıda belirtilmiştir.	
Reaksiyon sonucunda sahip olunan enerji değeri, $E_b < E_s$	Ekzotermik reaksiyon
Reaksiyon sonucunda sahip olunan enerji değeri, $E_b > E_s$	Endotermik reaksiyon

Yukarıdaki Çizelge 3.1'deki belirtildiği gibi nükleer reaksiyonun sahip olmuş olduğu enerji değerlerine göre endotermik yada ekzotermik olduğuna karar verilmektedir.

3.2 Nükleer Reaksiyonların Sahip Olduğu Enerji Değerlerinin Literatürdeki Enerji Aralıkları.

Her nükleer reaksiyon ya da çekirdek tepkimeleri belli bir enerji aralığında gerçekleşmekte olup bu enerji aralıklarına yapılan analiz ve çalışmalarda karışıklık olmasının önüne geçilmesi adına belirli isimler ile belirli aralıklar adlandırılmıştır.

Bu adlandırılmaların hangi değer aralığında olduğu ve hangi enerji aralıklarına karşılık geldikleri Çizelge 3.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2 Nükleer reaksiyonların sahip olmuş olduğu enerji seviyelerine göre adlandırılması

1-10 MeV aralığında	Düşük enerji seviyeli
10-100 MeV aralığında	Orta enerji seviyesi
100- ∞ MeV aralığında	Yüksek enerji seviyesi
Yukarıda belirtilmiş olan ifadeler Reaksiyonların sahip olmuş olduğu enerji seviyelerinin sonucunda reaksiyonun hangi enerji aralığında gerçekleşecek olduğunun ifadesidir.	

Çizelge 3.2'de belirtildiği gibi nükleer reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli olan enerji, seviye aralığı örneğin 1-10 MeV aralığında ise düşük enerji seviyesinde, 10-100 MeV aralığında ise orta enerji seviyesinde, 100 MeV den yukarıda ise yüksek enerji seviyesinde gerçekleşmiştir şeklinde isimlendirilir. Bu ifadelerin literatürdeki genel isimleri ve enerji mertebeleri de Çizelge 3.2'deki belirtilmiş olduğu şekildedir. Çizelge 3.2'deki belirtilen enerji aralıklarına örnek olarak 2010 yılında Sayın Prof. Dr. Eyyup TEL tarafından yapılan çalışma ve bu çalışmanın orta enerji seviyesinde gerçekleşen bir reaksiyon olması örnek olarak verilebilir [28]. Bu çalışmanın Çizelge 3.2'deki ifadelere örnek olarak verilmesi, çalışmanın 30 MeV civarında gerçekleşmiş olmasından kaynaklanmakta olup literatürde bu enerji aralığına verilen genel isimin orta enerji seviyesi olmasından kaynaklanmaktadır.

3.3 Nükleer Reaksiyonların Gerçekleşmesi İçin Gerekli Olan Korunum Kanunları Ve Bu Kanunların Açıklamaları

Çizelge 3.2'deki belirtilen herhangi bir enerji seviyesinde gerçekleşen ve gerçekleşmesi muhtemel olan nükleer reaksiyonların, oluşumlarının teorik anlamda anlaşılması ve daha sonra deneysel anlamda desteklenmesi adına ve teorik aşamada çalışılacak olan reaksiyonun analiz edilmesinde belirli bir takım ifadelerin korunması gerekmektedir. (Deneysel olarak gerçekleşenlerde de korunmaktadır) Nükleer reaksiyonlar boyunca korunacak olan bu ifadeler üzerinden reaksiyonların türleri ve ne şekilde oluştuıkları ile ilgili analizleri, açıklamaları ve yorumlana bilmeleri yapılabilmektedir. Bu durumda nükleer reaksiyonların oluşumları boyunca belirli

korunum kanunları ile oluştuğunun bilinmesi reaksiyonun analizi aşamasında kolaylık sağlamaktadır.

Nükleer reaksiyon kanunları sırasıyla, Reaksiyon boyunca sahip olunan enerjinin korunumu ve reaksiyonun sahip olduğu momentum değerinin korunması, Nükleer reaksiyonun gerçekleşmesi esnasında sahip olunan nükleonların (proton ve nötronların) korunması, nükleer reaksiyonun sahibi olduğu açıl momentum ifadesinin korunmasıdır. Reaksiyonun sahip olduğu parite değerinin değişmemesi (korunması), reaksiyonun sahibi olduğu yüklerin korunumu, İstatistiksel korunum ve reaksiyonun sahip olmuş olduğu İzospin değerlerinin korunumu şeklinde olmakta olup bu korunum kanunlarının açıklamaları sırası ile bu tez kapsamında açıklanmıştır [29].

3.3.1 Nükleer Reaksiyon Boyunca Sahip Olunan Enerjinin Korunumu ve Reaksiyonun Sahip Olduğu Momentum Değerinin Korunması.

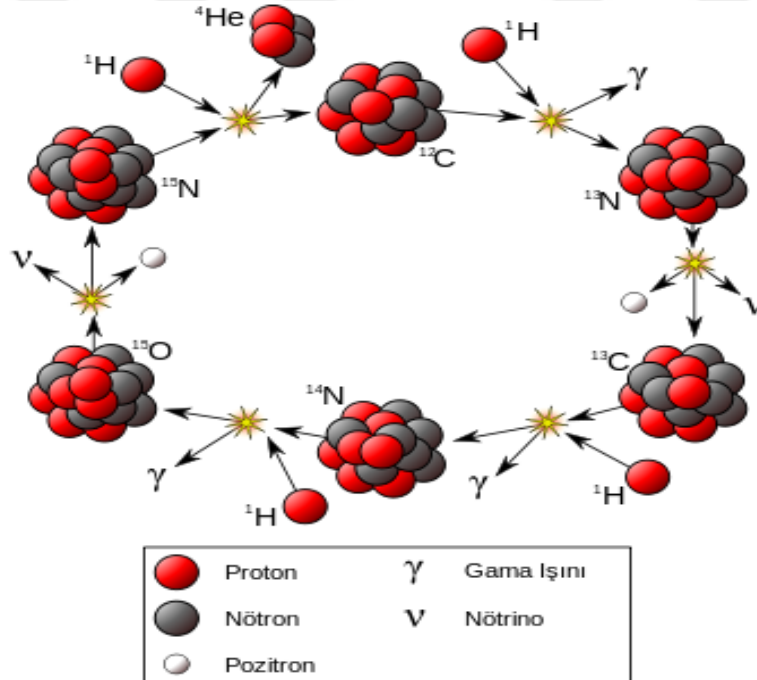
Gerçekleşen nükleer reaksiyonda enerjinin korunması anlamına gelmektedir. Bu durumu örnek üzerinden açıklayarak ifade edecek olursak, gerçekleşen reaksiyonu kapalı bir sistem olarak düşünülür. Kapalı bir sistem olarak kast ettiğimiz durum dışarı ile hiçbir surette enerji transferinin gerçekleşmediği durumlardır. Yalıtılmış bir sistemdeki enerjinin toplam miktarının sabit kalmasıdır. Buna göre enerji kaybolamaz ancak şeklini değiştirebilir [30]. Bu ifadeden de anlaşılacağı üzere gerçekleşen nükleer reaksiyonumuzda başlangıçtaki enerji değeri miktarının nükleer reaksiyon sonundaki enerji değeri miktarı ile aynı olması (eşit değerinde olması) gerekmektedir. Bu açıklaması yapılan durum momentum içinde geçerli olmakla beraber tepkime boyunca korunur. Bu duruma örnek olarak başlangıçta enerji değeri bilinen bir reaksiyon sonucunda oluşan parçacıklarının enerjilerinin hesaplanabilir olması bu duruma örnektir. Buna ek olarak, Çizelge 3.2'de nükleer reaksiyonun sahip olmuş olduğu enerjilerine göre durumlarının hesaplanması ve yapılan hesaplamaların sonucunda oluşan nükleer reaksiyonun endotermik yada ekzotermik olduğuna karar verilir.

$$E_{\text{başlangıç durumu}} = E_{\text{son durum}} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'de belirtilen ifade de, bir reaksiyonu oluşturan parçacıkların toplam enerjisinin reaksiyon sonunda çıkan parçacıkların toplam enerjilerine eşit olması gerektiği ilkesini belirtmekte olup bu ilke üzerinden gerçekleşen nükleer reaksiyon sonucunda son durumda veya başlangıç durumundaki enerji değeri hesaplanır.

3.3.2 Nükleer Reaksiyonda Nükleonların Korunumu.

Nükleer reaksiyonlarda önemli korunum kanunlarından olan, diğer bir korunum kanunu ise nükleonların korunumudur. Nükleonların korunumu olarak bahsetmekte olduğumuz korunum, gerçekleşen nükleer tepkimelerin girenler kısmında bulunan ve çıkanlar kısmında bulunanların sahip olmuş olduğu nötron ve proton sayılarının reaksiyon başlangıcında ve reaksiyon sonucundaki toplam sayısının eşit olmasıdır. Nükleer reaksiyonlarda hedef çekirdek durumunda bulunan çekirdek ile bu çekirdeği uyaran parçacıkların nükleonlarının toplamının reaksiyonun gerçekleşmesi sonrasında ürünler bölümünde ortaya çıkan çekirdeğin ve çıkan parçacıklarının sahibi olduğu nükleonlarının toplamı şeklinde ifade edilebilir. Bu durum şekil olarak, aşağıdaki Şekil 3.1 bu duruma örnek teşkil etmektedir.



Şekil 3.1 Bir nükleer reaksiyonda nükleonların korunumu[30-31].

Şekil 3.1'den de anlaşılacağı üzere herhangi bir hedef durumundaki çekirdeğin yapmış olduğu reaksiyon sonucu nükleonların korunduğu görünmektedir. Sonuç olarak bu korunum kanunu nükleer reaksiyonlarda, reaksiyonların gerçekleşmesi sırasında ve sonrasında açığa çıkan veya çıkması muhtemel olan çekirdek ve parçacık hakkında yapılacak olan analizlerde bizlere yardımcı olmaktadır.

3.3.3 Nükleer Reaksiyonlarda, Reaksiyon Boyunca Açısal Momentumun Korunması

Nükleer reaksiyonların analiz işlemleri sırasında önemli olan bir diğer korunum kanunlarından olan açısal momentumun korunması olmakta olup bu korunum kanunu sayesinde nükleer reaksiyon sonucunda oluşan veya oluşması muhtemel olan parçacıkların açısal momentumu hesaplanır. Bu korunum kanunu hedef durumunda bulunan parçacık ve reaksiyon sonrasında çıkan parçacığın durumu ile ilgilidir. Bu durum nükleer reaksiyon öncesi ve reaksiyon sonrasında hem reaksiyona giren hem de reaksiyondan çıkan parçacıkların açısal momentumlarının birbiri ile bağlantı kurmada önemlidir. Bu korunum kanunu yardımıyla reaksiyon sonrasında yeni ortaya çıkan parçacıklar hakkında analiz yapılmasına olanak sağlar.

3.3.4 Nükleer Reaksiyon Sırasında Parçacıkların Sahip Olduğu Parite İfadelerinin Korunumu

Nükleer reaksiyon boyunca, parite değerlerinin bilinmesi için öncelikle gelen parçacığın ve hedef parçacığın sahip olmuş olduğu parite değeri ifadelerinin bilinmesi gerekir ki bu ifadelerin bilinmesi nükleer reaksiyonun gerçekleşmesinden sonra ortaya çıkan yeni ürün çekirdeğin paritesinin hesaplanmasında kullanılır. Bu durum paritenin korunumu ile açıklanmakta olup başlangıçta hedef durumda bulunan çekirdeğin uyarılması için gönderilen parçacığın parite değeri ile reaksiyon sonucu oluşan parçacıkların değerinin aynı olması gerekliliği ilkesidir.

3.3.5 Nükleer Reaksiyonlarda Reaksiyonların Sahip Olduğu Yük Değerlerinin Korunması

Bir nükleer reaksiyonda ürünler kısmında bulunan ve reaksiyona girenler kısmında yer alan parçacıkların sahibi olduğu yük değerlerinin korunması ile ilgilidir. Nükleer reaksiyonun öncesinde hedef durumda bulunan parçacık ile hedef durumda bulunan parçacığı uyaran parçacıkların yükleri ile reaksiyon sonrasında ortaya çıkacak olan ürünler durumundaki parçacıklarının yük ifadelerinin eşit olması gerektiğini anlatmaktadır. Bu korunum kanunu reaksiyon sonrasında oluşan yeni parçacığın yükünün belirlenmesinde kullanılır. Nükleer reaksiyonlarda yük değerlerinin korunuyor olması reaksiyon sonucunda oluşan yeni çekirdeklerin yük değerlerinin bulunması kolaylaştırmakta olup gerçekleşen nükleer reaksiyonun öncesinde ve sonrasında ki yük değerlerinin eşit olması ilkesine dayanır.

3.3.6 Nükleer Reaksiyonlarda İstatistik Korunumlar.

Bu korunum kanunu nükleer reaksiyonları oluşturan hedef durumda bulunan çekirdek ile bu çekirdeği uyaran durumundaki parçacıklar ve reaksiyonun sonucunda ortaya çıkan yeni parçacıkların sahibi olmuş olduğu bir takım ifadeler içermektedir. Bu ifadeler ise sırasıyla; Hadron sayıları, spin değerleri, açısal momentum ifadeleri, lepton sayıları ile ilgilidir [30]. Bu değerlerin korunması gerçekleşen reaksiyonun sonucunda ortaya çıkan yeni parçacıkların oluşumunda başlangıçtaki (yani reaksiyonun girenler kısmındaki) ifadelerden reaksiyon sonrası oluşan yeni çekirdeklerin değerleri anlaşılması ilkesidir.

3.3.7 Nükleer Reaksiyonlarda İzospin İfadelerinin Korunumu

Bu korunum kanunu ifadesi nükleer reaksiyon korunumları ile ilgili diğer korunum ifadelerinden birisidir. Bu korunum ifadesi reaksiyon sonrasında oluşan yeni parçacıkların izospin değerlerinin bilinmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu durumu, nükleer kuvvetin yükten bağımsız ve yük simetrisine bağlı olmasından dolayı izospin tüm nükleer reaksiyonlarda korunmalıdır (Krane, 2001; Bozdemir, 2006; Bostan, 1993).

Nükleer reaksiyonların korunum yasalarını Çizelge şeklinde ifadesi Çizelge 3.3 bu durumu ifade eder. Aşağıda belirtilmiş olan Çizelge 3.3 yukarıda açıklaması yapılmış olan korunum yasalarının özeti şeklinde olup Çizelge 3.3' teki şekilde ifade edilen nükleer reaksiyonlarda korunum yasaları ve bu yasalarının formül şeklinde gösterimidir.



Çizelge 3.3 Nükleer reaksiyon korunum ifadelerinin tablo şeklinde gösterimi.

<p>Aşağıdaki ifadeler bir nükleer reaksiyonun gerçekleşmesi sırasında nükleer reaksiyonu oluşturan parçacıkların ve reaksiyon sonucunda çıkan parçacıkların ilk ve son durumları hakkında bilgi vermektedir. Bu aynı zamanda nükleer reaksiyonların korunum yasaları olarak ta geçmektedir. Buna ek olarak alt indis değeri 1a olarak gösterilen ifadelerde reaksiyonda hedef çekirdek olarak belirtilmiş olan çekirdeği, alt indis değeri 2a olarak gösterilen ise hedef durumunda bulunan çekirdeği uyarması için seçilmiş olan parçacığı temsil etmektedir. Bu durum diğer temsili ifadelerde ise reaksiyon sonrasında çıkan parçacıkları temsil etmektedir.</p>		
Toplam sahip olunan enerjinin korunumu	Nükleer reaksiyonun oluşumu sırasında reaksiyonu oluşturan parçacıkların sahip olmuş olduğu toplam enerji ile ilgili olup başlangıç enerjisi son enerjisine eşit olmalıdır.	$E_s = E_f$
Toplam momentumlarının korunumu	Reaksiyonu oluşturan parçacıkların sahip olmuş olduğu momentum değerlerini ifade etmektedir.	$P_{1a} + P_{2a} = P_{3b} + P_{4b}$
Proton sayılarının korunumu	Nükleer reaksiyonun oluşmasından önceki ve sonra ki durumunda bulunan parçacıkların sahip olmuş olduğu proton sayıları göstermektedir.	$Z_{1a} + Z_{2a} = Z_{3b} + Z_{4b}$
Nötron sayılarının korunumu	Reaksiyonu oluşturan parçacıkların reaksiyon öncesinde ve sonrasında sahip olmuş oldukları nötron sayılarının korunumu ile ilgili olup formül olarak gösterimi yandaki gibidir.	$N_{1a} + N_{2a} = N_{3b} + N_{4b}$
Toplam açısal momentumun korunumu	Reaksiyonu oluşturmuş olan parçacıkların başlangıçtaki açısal momentum değerlerinin ve reaksiyon sonucundaki oluşan açısal momentum değerlerinin eşit olmasıdır.	$L_{1a} + L_{2a} = L_{3b} + L_{4b}$
Reaksiyonda Paritenin korunumu	Nükleer reaksiyonun gerçekleşmesi sırasında reaksiyonu oluşturan parçacıkların paritesinin korunumu ile ilgili olup bu uyum yanda belirtilmiş olan $(-1)^{H_s} = (-1)^{H_f}$ gibi olmaktadır.	$(-1)^{H_s} = (-1)^{H_f}$
Kütle Korunumu	Reaksiyonu oluşturan parçacıkların kütleleri ile ilgili olup reaksiyon öncesi ve sonrası durumda eşit olmalıdır. Bu eşitlik için gerekli olan formüsel ifade yandaki formül ile gösterimi yapılmıştır.	$A_{1a} + A_{2a} = A_{3b} + A_{4b}$

Yukarıda verilmiş olan Çizelge 3.3'de nükleer reaksiyonlarda, nükleer reaksiyonların gerçekleşmesi esnasında korunan korunum ifadeleri açıklanmıştır.

3.4. Nükleer Reaksiyonlarda Enerji Değerlerinin Hesaplanması:

Nükleer reaksiyonlarda enerji değerlerinin hesaplanması reaksiyonun kendisi ve sonrası hakkında analiz yapılmasında, reaksiyonun yorumlanmasında ve anlaşılmasında önemlidir. Nükleer reaksiyonun hangi enerji aralığında gerçekleşmiş olduğuna (yani düşük enerjili, orta enerjili yada yüksek enerji) karar verilir. Nükleer reaksiyonun hangi enerji aralığında gerçekleşiyorsa ve buna karşılık gelen literatürde enerji aralığı değerleri Çizelge 3.2'de belirtilmiştir. Nükleer reaksiyonun ısı veren ekzotermik bir reaksiyon yada reaksiyonun gerçekleşmesi sırasında dışarıdan ısı alan endotermik bir reaksiyon olduğunun belirlenmesinde belirli formüller kullanılır. Bir nükleer reaksiyonda enerjinin korunumu önemli bir kavram olup bu reaksiyonda enerji korunumu için ünlü bilim insanı A. Einstein'ın formülünden yararlanılır (Denklem 3.6). Belirtilmiş olan Denklem 3.6'dan bir nükleer reaksiyonun gerçekleşmesi esnasında gereken enerji değeri hesaplanır.

$$\varepsilon = mc^2 \quad (3.6)$$

Burada Denklem 3.6 ifade edilen formülden de yararlanarak, nükleer reaksiyonda Denklem 3.7'de belirtilmiş olan ifade elde edilir. Bu elde edilen ifade 3.7'den hesaplamalar yapılır.

$$m_{A'}c^2 + T_{A'} + m_c c^2 + T_c = m_{B'} + T_{B'} + m_b c^2 + T_b \quad (3.7)$$

3.5 Nükleer Reaksiyon Türleri

Nükleer reaksiyon türleri günümüze kadar yapılmış olan araştırma ve analizler sonucunda üçe ayrılmış olup bu nükleer reaksiyon türleri sırası ile Direk Reaksiyonlar, Denge reaksiyonları (ya da diğer adıyla Bileşik Çekirdek Reaksiyonları) ve Denge Öncesi reaksiyonlardır. Belirtilen nükleer reaksiyon türleri sırası ile 3.5.1 Direk Reaksiyonlar, 3.5.2 Denge Reaksiyonları (Bileşik Çekirdek Reaksiyonları), 3.5.3 Denge Öncesi Reaksiyonlar bölümlerinde açıklanmıştır.

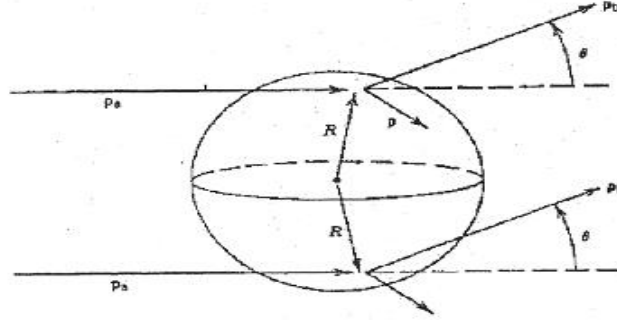
3.5.1 Direk Reaksiyonlar:

Direk Reaksiyonların literatürde geçmekte olan diğer adı peripheral reaksiyonlar olup bu reaksiyon türünde, reaksiyonun gerçekleşmesi esnasında, hedef durumunda bulunan parçacık ile gelen parçacık arasında bir reaksiyon (etkileşim olmakta) gerçekleşmektedir. Gelen parçacık ile hedef durumunda bulunan parçacık arasındaki gerçekleşen bu reaksiyon hedef durumunda bulunan çekirdeğin yüzey kısmında gerçekleşir. Hedef durumundaki çekirdek ile etkileşme yapabilmesi için gelen çekirdeğin sahibi olduğu enerji değeri önemlidir. Çünkü gelen durumundaki çekirdeğin sahibi olmuş olduğu enerjinin artması ya da azalması gelen parçacığın sahibi olmuş olduğu dalga boyunu etkilemektedir. Bu etkileme durumu reaksiyonun oluşum ihtimalini etkilemektedir.

Nükleer reaksiyon türlerinden birisi olan direk reaksiyonlarda reaksiyonun gerçekleşmesi için, bu gerçekleşen nükleer reaksiyona birkaç nükleon (proton ya da nötron) katılmakta olup hedef durumunda bulunan parçacığın sahip olmuş olduğu nötron ya da protonların (nükleonların) reaksiyona girmeden etki etmeyen durumda (pasif durumda) bulunmakta olduğu durumdur. Nükleer reaksiyonların, Direk Reaksiyon türünde gelen parçacık, hedef durumda bulunan çekirdek ile etkileşmekte olup bu etkileşim, hedef durumda bulunan çekirdeğin sahip olmuş olduğu nükleonlar ile gerçekleşmektedir. Nükleer reaksiyonların bu türünde, Direk reaksiyonlarda, önemli olan bir başka durum, hedef durumda bulunan çekirdek ile etkileşime girecek olan çekirdeğin sahip olduğu enerji ile ilgili olup bu etkileşime girecek olan parçacığın enerjisinin fazla olması durumunda, ya da enerji değerinin düşük olması, hedef durumunda bulunan çekirdeği uyarmak için gelen parçacığın dalga boyunu etkilemektedir.

Nükleer Reaksiyon türlerinden birisi olan direk reaksiyonların diğer nükleer reaksiyon türleri olan Bileşik Çekirdek Reaksiyonları ve Denge Öncesi Reaksiyon türlerinden ayırmakta olan bilinen (yapılan araştırma sonuçlarına göre) bir takım nükleer reaksiyon özellikleri var ve bu özelliklerden bazıları ise direk reaksiyonların 10^{-22} saniye gibi bir süre zarfında oluşması ve bileşik çekirdek reaksiyonlarının oluşumu için gerekli olan sürenin 10^{-16} saniye ile 10^{-18} saniye arasında olmasıdır. Direk Reaksiyonların oluşumu esnasında parçacıkların oluşturmuş olduğu açısız

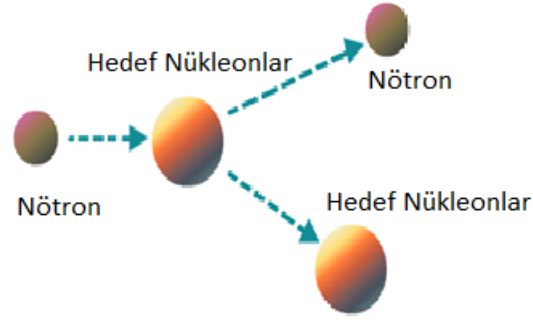
dağılım ifadeleri, diğer nükleer reaksiyon türlerinden birisi olan bileşik çekirdek reaksiyonlarına göre daha belirgin pik noktaları oluşturmaktadır. Burada anlatılmış olan direk reaksiyonların Şekil olarak anlatımı Şekil 3.2 deki belirtilmiş olduğu gibidir



Şekil 3.2 Çekirdeğin yüzey kısmında meydana gelen direk reaksiyonların oluşum şekli [29].

3.5.1.1 Elastik Reaksiyonlar

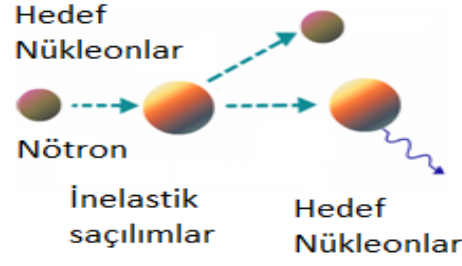
Direk reaksiyonlarda ya da bileşik çekirdek reaksiyonlarında meydana gelen ve bu tip reaksiyonun başlaması için gelmekte olan parçacığın, gelen parçacığın enerjisine bağlı olarak, sahip olmuş olduğu enerjisini azaltma ya da kaybetme reaksiyonları olup bu reaksiyonlar MeV mertebesinde gerçekleşmektedir. Elastik saçılma reaksiyonlarında, reaksiyon süresince etkileşime giren parçacıkların kinetik enerjileri (E_K) korunmakta olup bu elastik saçılma reaksiyonları genel olarak $B(n,n)$ B şeklinde gerçekleşen reaksiyon türleridir. Bu tür reaksiyonların (elastik saçılma reaksiyonlarının) gerçekleşmesi sırasında oluşan, reaksiyonun oluşumu, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi olup reaksiyonun başlangıcındaki kinetik enerji ile son durumdaki kinetik enerji korunur. Buna ek olarak gelen nötronun hedef durumundaki çekirdek ile çarpıştıktan sonra kendi geliş ekseninden farklı bir yönde sapmaya uğrayarak gider. Hedef durumunda bulunan çekirdek çarpmış olduğu çekirdekten uzaklaşır. Bu durumda, hedef durumunda bulunan, çekirdek yapısında bir değişiklik meydana gelmeyecektir.



Şekil 3.3 Elastik saçılma reaksiyonunun gösterimi [32].

3.5.1.2. İnelastik Reaksiyonlar

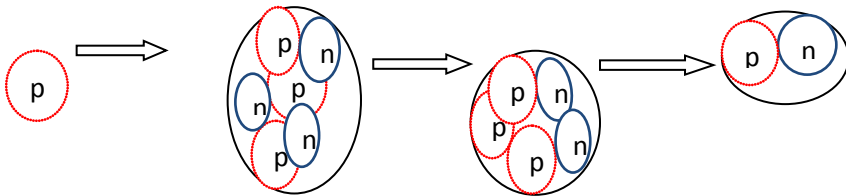
İnelastik reaksiyonlar, elastik reaksiyonlardan farklı olarak bu tip reaksiyonlarda kinetik enerji (E_k) korunmamaktadır. Bu tip reaksiyonlar $B(n,n')B^*$, $C(n,2n')D^*$ tipinde reaksiyonlardır. Bu tip reaksiyonlarda elastik reaksiyonlardan farklı olarak çekirdek uyarılmış halde bırakılır. Bu tip reaksiyonlarda uyarılmış halde bırakılan çekirdek nükleer reaksiyon sürecinde "*" şeklinde gösterilen çekirdektir. Uyarılmış halde bırakılan çekirdek radyasyon yaparak, α, β, γ gibi, bozunma gerçekleştirir. Gelen nötron hedef durumda bulunan çekirdeği uyarması için belirli bir seviyede enerji değerine sahip olması gerekir. Bu sahip olmuş olduğu enerji değeri 1 MeV ve üzerinde bir değer olmalıdır. Bu sahip olmuş olduğu enerji değerine eşik enerjisi değeri ismi verilip bu eşik enerjisi değeri altında bir reaksiyon gerçekleşirse bu durumda inelastik saçılma olmayıp bunun yerine elastik saçılma meydana gelmiş olur. İnelastik reaksiyonlarla, elastik reaksiyonlar arasında bir takım farklar bulunmaktadır. İnelastik reaksiyonlar ile elastik reaksiyonların arasındaki farklardan olan ve eşik enerjisi olarak adlandırılan fark nükleer reaksiyon sürecinde belirli bir enerji değerinin (Nötronun sahip olmuş olduğu MeV değeri) 1 MeV ve üzerinde olmalıdır. Bu durum eşik enerjisi olarak adlandırılmakta olup belirtildiği gibi eşik enerji değerinin altında bulunması durumunda elastik reaksiyon gerçekleşecek ve kinetik enerjinin korunumu gibi belirli bazı bir takım özellikler belirir. Belirmekte olan bu özellikler 3.5.1.1 Elastik Reaksiyonlarda belirtilmiş olan elastik reaksiyonların özellikleri ile uyum gösterir. Hedef çekirdeği uyararak amaçlı gelen nötronun sahip olmuş olduğu eşik enerji değeri bu tip reaksiyonlarda önemlidir.



Şekil 3.4 İnelastik saçılma reaksiyonunun temsili gösterimi [33].

Şekil 3.4'da gösterilmiş olduğu gibi inelastik saçılma reaksiyonlarında hedef durumundaki çekirdek ile bir nötron çarpışması sonucu, çarpışma sonrasında hedef çekirdeğin uyarılmış halde kalması sonrasında radyasyona uğrayarak üzerindeki uyarılmışlık durumunu, başlangıçtaki haline dönebilmek için, uyarılmamış eski haline dönmeye çalışacaktır. Bu süreç içerisinde çeşitli radyasyonlar yapabileme ihtimali mevcuttur. Bu çeşitli radyasyonlara örnek olarak α, β, γ radyasyonları örnek olarak bu Şekil 3.4'de gösterildiği gibi olur.

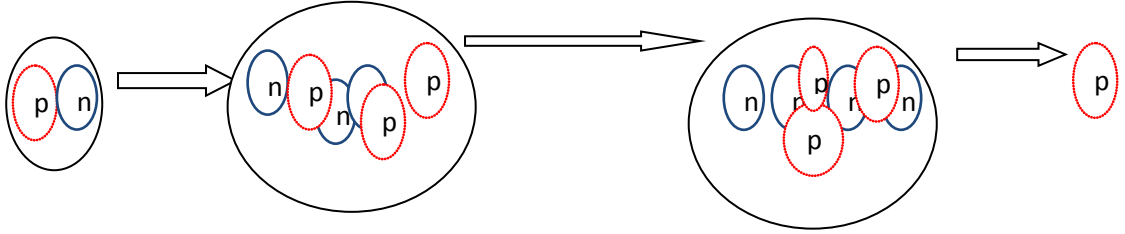
Reaksiyonun gerçekleşmesi sırasında hedef durumunda bulunan çekirdeğin gelen dalgalar ve giden dalgalar vasıtasıyla değişikliğe uğramasını, analiz ve hesaplamalarına ekleyen Bozulmuş Dalga Born Yaklaşımı ya da İngilizce adı olan “Distored wave Born approximation” kelimelerinin baş harflerinden kısaltılarak oluşturulan DWBA optik model kullanılmaktadır. Oluşmuş olan son durumda, kabuk modeli dalga fonksiyon ifadeleri kullanılır ve son işlem olarak da tesir kesit değerleri elde edilir. Direk reaksiyonlarda, belirtilmiş olan türlerin yanı sıra, toplama reaksiyonları stripping (soyma) reaksiyonları ve knock out reaksiyonları mevcut olup bu reaksiyon türleri aşağıdaki Şekil 3.5- Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'deki belirtilmiş olduğu şeklindedir.



Şekil 3.5 Toplama (pick up) reaksiyonları

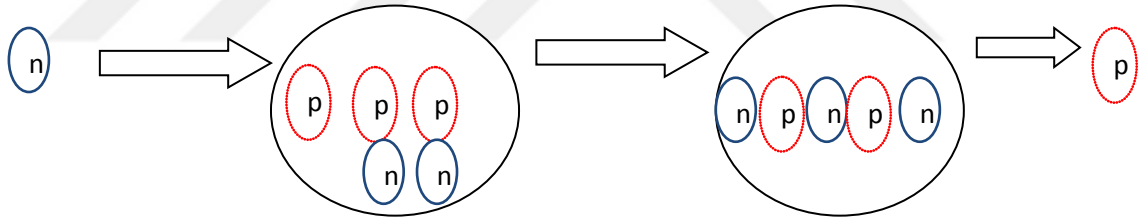
Şekil 3.5'de görüldüğü gibi bir proton (p) parçacığı hedef durumundaki çekirdek ile etkileşime girmekte olup etkileşim reaksiyonu sonucunda çekirdek içerisindeki

nükleonlar ile etkileşime girerek en son durumdaki hale gelmektedir. Başlangıçta proton parçacığı ile başlayan etkileşim son olarak d (döteron) parçacığının oluşturulması sonrası sonlanır. Bu reaksiyon türü ise toplama yada diğer adı ile pick up reaksiyonlarıdır.



Şekil 3.6 strpping (soyma) reaksiyonları

Şekil 3.6 'da görülen ve başlangıçta bulunan d parçacığının hedef durumda bulunan çekirdek ile etkileşime girmesi sonucu başlangıç durumunda ki d parçacığının sahip olmuş olduğu parçacıklardan bazıları kopartılarak etkileşime girmiş olduğu çekirdeğe aktarması bu tip reaksiyonlardır. Reaksiyonun gerçekleşmesi sırasında etkileşime girmesinden dolayı d parçacığının etkileşim sonucunda p parçacığına dönüşmesi soyma reaksiyonlarına örnektir.



Şekil 3.7 Knock out reaksiyonları

Şekil 3.7'de görülmekte olan reaksiyon tipi knock out reaksiyon tipi olup başlangıçtaki parçacık hedef durumunda bulunan çekirdek ile etkileşime girerek son durumda p parçacığına dönüşmektedir.

3.5.2 Denge Reaksiyonları (Bileşik Çekirdek Reaksiyonları)

Bileşik çekirdek reaksiyonları ya da literatürdeki diğer adı ile denge reaksiyonlarında hedef durumundaki çekirdeğin içerisine gelen parçacığın girmesi ve etkileşim sonucunda uyarılmış halde olan çekirdeğin radyasyon yada parçacık yayınlaması sonrasında sonlanan reaksiyon türüdür.

Bileşik çekirdek reaksiyonlarında basit saçılmalar gerçekleştirme ihtimali yüksek olup bu saçılmaların herhangi birisinin hedef durumunda bulunan çekirdeğin nükleonları ile etkileşimi yüksek ihtimallidir. Bileşik çekirdek reaksiyonlarında çekirdeği uyararak için gelen parçacık çekirdek içerisine girmekte olup içeri giren parçacık, buradaki bulunan nükleonlar ile pek çok etkileşim içerisine girerek başlangıç durumundaki enerji değerine göre, enerjisinde azalan bir değişim gösterir. Bu durum uyarıcı durumda bulunan parçacığın kendi enerjisini kaybetmesine diğer tarafta hedef durumunda bulunan çekirdeğin ise uyarılmasına sebep olur. Uyarılmış durumda bulunan çekirdek taban durumuna tekrar ulaşabilmek için parçacıklar ve radyasyonlar yayınlar. Yayınlanan radyasyon veya parçacıklar sonucunda, nükleer reaksiyonun başlangıçtaki hedef durumunda olan çekirdek taban durumuna döner. Bu durum bileşik çekirdek reaksiyonlarında, reaksiyonun son aşamasıdır. Bileşik çekirdek reaksiyonlarında, hedef durumunda bulunan çekirdek ile, bu çekirdeği uyarıcı durumda bulunan parçacık arasında ki etkileşim sırasında bir ara durum oluşumu beklenen ve tahmin edilen bir durumdur. Bu ara durum belirli bir sürede gerçekleşmektedir. Ara durum için gereken süre 10^{-6} saniyelik bir süre olup, bu süre reaksiyonun oluşumu (yada diğer bir değişim ile hedef durumundaki çekirdek ile bu çekirdeği uyarıcı durumda bulunan parçacığın etkileşimi) süresine dahildir.

Bileşik Çekirdek modellerinde, bu modeller için bir temel varsayım literatür de mevcut olup bu varsayım bileşik çekirdeklerin bilinen ürünler kümesine bozunma olayının gerçekleşirken bu oluşum sırasında süreçten bağımsız (ya da sürece bağlı olmadan) olduğu ve yalnızca sisteme verilmiş olan toplam enerji ile ilgili olduğu şeklinde ifade edilir. Bu durum Bileşik Çekirdek Reaksiyonlarında yada diğer adı ile denge reaksiyonlarında, gelen parçacık hedef durumunda bulunan çekirdek ile, hedef durumunda bulunan çekirdeğin yarıçap değerine göre düşük değerde bir çarpma parametresi ile çekirdeğe girmiş olduğundan, hedef durumunda bulunan çekirdeğin sahip olmuş olduğu nükleonları (proton ve nötronları) ile ardışık ve sırası ile etkileşim içerisinde bulunabilir. Bu etkileşimlerden sonra parçacığın sahip olduğu enerji değeri nükleer reaksiyonun oluşumu sırasında oluşan, bileşik çekirdek sisteminde bulunan nükleonlar arasında paylaşılırlar. Bu paylaşım durumundan sonra sistemde bulunan nükleonlardan herhangi birinin veya birden fazla nükleonların çekirdekten ayrılması için gereken enerji değerine (eşik enerji değerine)

ulaşma ihtimali bulunmaktadır. Bu değere ulaşan nükleonların çekirdekdeki mevcut buldukları yerlerini terk etme durumu mevcuttur.

Denge reaksiyonlarında uyarıcı durumda bulunan parçacık ve hedef durumda bulunan çekirdek arasında bileşik çekirdek oluşma ihtimali bulunmakta olup bu durum için parçacık, çekirdek tarafından soğurulması sonrasında veya çekirdek tarafından yayınlanacak olan parçacıklardan önce oluşur.

3.5.3 Denge ncesi Reaksiyonlar

Denge ncesi reaksiyonlar, Denge reaksiyonları(Bileşik ekirdek reaksiyonları) ve Direk reaksiyonlar gibi bir nükleer reaksiyon türü olup direk reaksiyonlar ile çekirdek reaksiyonları arasında yer alır. Denge ncesi reaksiyonlar 1960'lı yıllarda 10^{-18} saniye ile 10^{-20} saniye arasındaki aralıklarda gerçekleştirilen reaksiyon türüdür.

Denge ncesi reaksiyonlar belirli bir enerji değerin de hafif parçacıklar ile oluşturulur. Bu sahip olunan enerji değeri 10 MeV zerindedir. Denge ncesi reaksiyonlarda belirli bazı modeller mevcut olup bu modeller sırasıyla ifade edilecek olursa; Hibrid Model, Full Exciton Model, Geometrik bağımlı Hibrit Model (GBHM) ve Cascade Exciton Modeldir.

Denge ncesi nükleer reaksiyon türü modellerinden olan exciton modelinde, gelen parçacık ile hedef durumdaki çekirdek arasında gerçekleşen etkileşimler sonucunda dengeye ulaştığı, bu dengeye ulaşma aşamasında ilk başlangıç noktasını etkileşimin başladığı andan başlayarak reaksiyonun dengeye ulaşıncaya kadar, bazı bir takım zor ve karışık seviyeler geçirerek dengeye ulaştığı kabul edilir. Bu modelde dengeye ulaşıncaya kadar gerçekleşen reaksiyonun her seviyesinde parçacık yada radyasyon yayınlaması ihtimali mevcut olup parçacık yada radyasyon yayınlanır. Nükleer reaksiyon trlerinden olan bu reaksiyon türü direk reaksiyonlar ile bileşik çekirdek reaksiyonları arasında yer alır. Denge ncesi reaksiyonlarda bileşik çekirdek oluşturulmadan önce sahip olunan enerji değerleri ile eşit hale gelip, sahip olunan enerji değerleri aynı enerji değerinde olur. Parçacık ya da radyasyon yayınlanmasının oluşması için enerji değerlerinin sahip olmuş olduğu değerden ya daha yüksek bir değere ya da daha düşük bir değere indirgenmesi yada yükseltgenmesi gerekir ki bu durumda yayınlamalar gerçekleşir. Bu indirgenmeler yada ykseltgenmelerin

olmaması durumunda yayınlamaların olma ihtimali, belirtilen nükleer reaksiyonlar için mevcut değildir.

Nükleer reaksiyon türü olarak Denge öncesi reaksiyonlar orta enerji seviyesinde bir değere sahip reaksiyonda, denge öncesi parçacıkların yayınlamasında geçerliliğini korumakta olup bu tip özellikteki reaksiyonların analizinin yapılması ve araştırılması, diğer türlere göre daha verimli ve kolay olması denge öncesi reaksiyonların günümüzde araştırma konularında yer almalarını sağlamaktadır. Bu tip reaksiyonların günümüzde araştırma alanının mevcut olması ileriki dönemlerde yapılacak olan araştırmalarda, denge öncesi nükleer reaksiyonların yapılmayacağı anlamına gelmemelidir.

Nükleer reaksiyonlarda ve özellikle denge öncesi reaksiyonların daha çok araştırılarak öğrenilmesi ve geliştirilmeye başlanması, nükleer sistemlerin daha çok araştırılmasına olanak sağlaması ve bu sistemlerin yayınlamış oldukları radyasyonların öğrenilmesine kolaylık sağlar. Bu tip reaksiyonların araştırılması ve literatürde belirli bir bilgi birikiminin oluşturulması önemli görülmele birlikte yapılacak olan yeni araştırmalara da alt yapı oluşturması adına önemlidir.

Nükleer reaksiyonlar gerçekleşirken sahip olmuş oldukları enerjilere göre, yüksek enerji değerlerinde nükleer reaksiyonların sahip olmuş olduğu özelliklerin açıklanmasını, anlaşılmasını, analiz edilmesini ve öğrenilmesini kolaylaştırmakta olup bu özellikler sayesinde yapılan araştırma sonuçlarının yorumlanabilmesini ve açıklanabilmesini kolaylaştırır.

Denge öncesi nükleer reaksiyon modellerinden birisi olan Cascade Exciton Modelinde (CEM) reaksiyonların belirli aşamalarda meydana geldiğini kabul etmekle birlikte belirli aşamalarda meydana gelen reaksiyonların açıklanmasında kolaylık sağlar. Cascade Exciton modeli, nükleer reaksiyonların üç aşamadan meydana geldiğini kabul etmekte olup bu aşamaların her birinde nükleer reaksiyon farklı bir aşamasını anlatır. Cascade Exciton Modeline göre nükleer reaksiyonun meydana gelmesi için gereken ilk aşamada nükleer seviyeler arasında bir geçişe karşılık gelir. Cascade Extion modeline göre ikinci aşama denge öncesine, üçüncü ve son aşaması ise bileşik çekirdek durumuna karşılık gelmektedir. Cascade Exciton

modelinde belirtilen bu aşamalarda bulunan değerler, nükleer reaksiyonun deneysel olarak gerçekleştirilmesinde elde edilen yada ölçülen değerlere yardımcı olmakta olup Cascade Excitation modeli reaksiyonun anlaşılmasını ve analiz edilmesini kolay hale getirir.

Denge öncesi nükleer reaksiyonlarda, denge öncesi modelin sahip olmuş olduğu temel bir varsayım, mevcut olup bu temel varsayım hedef durumda bulunan çekirdek ile etkileşime girecek olan parçacığın çarpması ve bu çarpan parçacığın, çarpışma sonucunda hedef çekirdeğinde uyarılmalar yapması esasına dayanır. Bu denge öncesi modelde sistem dengeye ulaşmaya başlayınca kadar, uyarıma başlama anından itibaren her kademede yayınlamaların olacağı esasına dayanır.

3.6. Tesir Kesitleri

3.6.1 Tesir Kesit Türleri

Nükleer reaksiyonlarda, Tesir kesiti ifadeleri tesir kesiti, diferansiyel tesir kesiti, açığa bağlı tesir kesiti, çift diferansiyel Tesir Kesiti, enerjiye bağlı tesir kesiti olmak üzere tesir kesit türleri literatürde mevcuttur.

Nükleer reaksiyonlarda, reaksiyonun gerçekleşme ölçüsünün değeri olan tesir kesiti ifadesi için literatürde bir formül mevcut olup bu formül aşağıda Denklem 3.8'de ifade edilmiş olduğu Şekildedir.

$$\sigma = \frac{R_b}{I_a M} \quad (3.8)$$

Denklem 3.8'de belirtilmiş olan ifade bir nükleer reaksiyonun gerçekleşmesi ihtimalinin bir ölçüsüdür.

3.6.2 Tesir Kesiti

Tesir kesiti herhangi bir nükleer reaksiyonun gerçekleşmesinin ölçüsel olarak değerinin karşılığına verilen isimdir. Bu terimin literatürdeki diğer adı uyarılma fonksiyonudur. Tesir kesit değer ifadelerinin biliniyor olması birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Çünkü gerçekleşmiş veya gerçekleşecek olan reaksiyonun sonucunda, Nükleer reaksiyonun gerçekleşmeden önce yapılacak olan teorik

hesaplama ile reaksiyonun oluşup oluşmayacağı, eğer oluşacaksa hangi enerji seviyesinde gerçekleşecek olduğu konusunda biz araştırmacılara yardımcı olur. Doğal ortamda gerçekleşmesi muhtemel reaksiyonların oluşum evrelerinin araştırılması ve oluşan bu reaksiyonun sonuçlarının önceden değerlendirilmesi için önemlidir. Ancak nükleer reaksiyonun ister doğal ortamda olsun isterse laboratuvar ortamında yapay olarak oluşturulmuş olsun, reaksiyonların gerçekleşmeden önce yapılan hesaplamaların da teorik olduğu unutulmamalıdır.

Nükleer Reaksiyonlar öncesi yapılan hesaplamalar ile reaksiyonlar sonucu çıkan tesir kesit değerlerinin karşılaştırması, teorik hesaplamaların deneysel değerler ile desteklenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda hesaplamaların geçerliliğinin kontrolü sağlanmış olur. Bu durum yapılmış olan teorik hesapların doğruluğunun, hata paylarının en aza indirilmesini sağlar. Ek olarak yapılan teorik hesabın doğruluğunun geçerliliğini artırır. Tesir kesiti ya da literatürdeki diğer adı ile Uyarılma Fonksiyonu'nu ifade edilirken kullanılan bir birimi mevcut olup bu birimin ismi "Barn"dır. Bu ifadenin kısa gösterimi de literatürde mevcut olup bu ifade için kısa gösterim şekli "b" şeklindedir. Bu tesir kesit ifadesinin ya da literatürdeki diğer adı ile Uyarılma fonksiyon ifadesinin bir değer karşılığı da mevcuttur. Bu değer karşılığı ise aşağıda verilmiş olan Denklemlerden, Denklem 3.9 Denklem 3.10 Denklem 3.11'de değerleri verilmiştir.

$$1 \text{ Barn} = 10^{-2} \text{ cm} \times 10^{-22} \text{ cm} \quad (3.9)$$

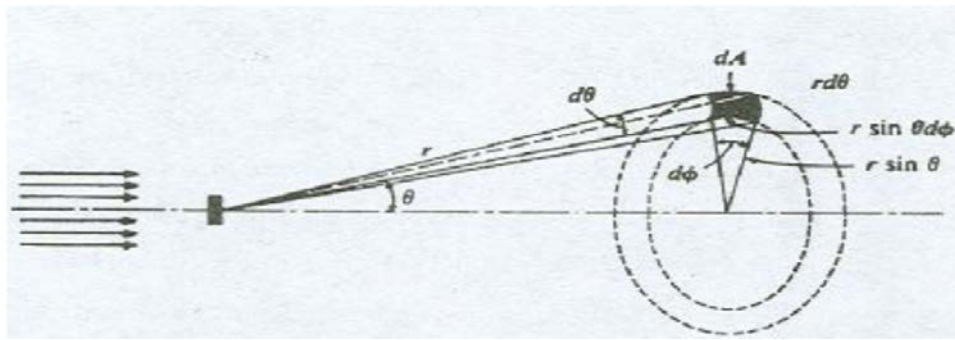
$$1 \text{ mb} = 10^{-3} \text{ b} = 1 \times 10^{-24} \text{ cm} \quad (3.10)$$

$$1 \text{ mb} = 1 \times 10^{-27} \text{ cm}^2 \quad (3.11)$$

Denklem 3.9'deki verilen ifade 1 Barn ifadesinin karşılığıdır. Nükleer Reaksiyonlardaki modele göre birbirine doğru gelen iki hedef çekirdek etkileşime girmesi sonucunda nükleer reaksiyon gerçekleşir. Reaksiyon sonucunda tesir kesitinin (yada literatürdeki diğer ismiyle uyarılma fonksiyon) değerinin yüksek olması bu reaksiyonun gerçekleşme ihtimali arttırmaktadır. Bu ihtimalin yüksek veya düşük olması, yapılan teorik hesaplamalarda kullanılır. Kullanılan bu değerlerin deneysel olarak gerçekleşen nükleer reaksiyonun sonucu ile karşılaştırılması yapılır. Yapılan bu karşılaştırmalar sonrasında deneysel değerler ile teorik değerlerin birbiri ile ne oranda uyumlu olduğu ortaya çıkarılır.

3.6.3. Diferansiyel Tesir Kesiti

Diferansiyel tesir kesitleri ya da literatürdeki diğer adıyla kısmi tesir kesitleri sadece belirli bir açıda belirlenen hedeften saçılmayı temsil etmeyip, belirlenen hedeften farklı açılarda saçılmayı da ifade etmektedir. Diferansiyel tesir kesitlerinde (kısmi tesir kesitlerinde) belirli bir tür nükleer reaksiyonun gerçekleşmesi beklenmemekle birlikte birden çok tipte reaksiyon gerçekleşme ihtimali vardır. Gerçekleşen bu reaksiyonlarda belirtilen tesir kesit değerleri, aynı değerde olabileceği gibi genellikle farklı değerlere sahip de olabilmektedir. Birden fazla gerçekleşen reaksiyonlardaki tesir kesitlerinin toplamı, bu reaksiyonların her biri için kısmi tesir kesiti ifadesidir. Bu kısmi tesir kesit değerlerinin toplamı başlangıçtaki kısmi tesir kesit değerine eşittir. Reaksiyon sonucu gönderilen (dışarı atılan) parçacık farklı enerji seviyelerine sahip olabileceği gibi aynı enerji değerine de sahip olabilir. Dışarı atılan parçacığın hareket etmekte olduğu doğrultuyla, belirli bir açı yapacak şekilde (Θ) birim saniyedeki $d\Omega$ katı açısı içine gelen parçacıkların toplam sayısının bilinmesi hesaplamalarda kolaylık sağlar. Ayrıca $d\Omega$ katı açısı içinden çıkan parçacıkların sayısının tamamının algılanması zordur. Bu durumunun analizi için bulunduğu durumdaki açıya bağlı yeni bir tesir kesit ifadesi yazılır. Yazılan yeni tesir kesit ifadesi belirtildikten sonra katı açı başına düşen tesir kesit ifade edilir. Bu durumu (Θ, ϕ) şeklinde tanımlanmakta olup aşağıda belirtilmiş olan Denklemlerde gösterildiği gibi kullanılır.



Şekil 3.8 Diferansiyel tesir kesit ifadesinin hesaplanması için kullanılan formül ifadesinin Şekilsel gösterimi [29].

$$\sigma(\Theta, \phi) = \frac{d\sigma}{d\Omega} \quad (3.12)$$

Denklem 3.8'deki ifade toplam tesir kesit ifadesi olup bu ifadenin $d\Omega$ göre integrali alınır. Alınan integral sonrası Denklem 3.12'deki halini alır.

$$\sigma = \int (d\sigma/d\Omega) \cdot d\Omega \quad (3.13)$$

$$d\Omega = \text{alan(mesafe)}^2 \quad (3.14)$$

$$dA/r^2 = \frac{(rd\theta)(r\sin\theta d\phi)}{r^2} = \sin\theta d\theta d\phi \quad (3.15)$$

Katı açı değeri ise Denklem 3.15'de verilmiştir.

$$\Omega = \int_{\Omega} d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \sin\theta d\theta d\phi = 4\pi \quad (3.16)$$

Katı açı kesir ifadesi gösterimi ise Denklem 3.16'deki gibidir.

$$\frac{d\Omega}{\Omega} = \left(\frac{A}{r^2}\right) \times \frac{1}{4\pi} = \frac{A}{4\pi r^2} \quad (3.17)$$

$$\sigma_T = 2\pi \int \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin\theta d\theta \quad (3.18)$$

Yapılan düzenleme ve matematiksel işlemlerin sonucunda diferansiyel tesir kesiti Denklem 3.17'deki halini alır.

Nükleer reaksiyonların gerçekleşme ihtimalini ifade eden tesir kesit ifadeleri diferansiyel tesir kesiti için (Açıya bağlı olarak) $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ Enerji değerine bağlı olarak $\frac{d\sigma}{dE}$ çift diferansiyel tesir kesit ifadesi ise $\frac{d^2\sigma}{dE_b d\Omega}$ şeklinde ifade edilir. tesir kesit ifadeleri, nükleer reaksiyonların hesaplanmasında, analiz edilmesinde anlaşılmasında önemlidir.

3.7. Skyrme Türleri, Skyrme Etkileşimi

Nükleer Fizik içerisinde uygulama alanları bulmuş olan Skyrme tipi etkileşimler, bir çok bilim insanları tarafından çalışılmış ve çalışmalar sonucunda oluşturmuş olan skyrme etkileşim türleri mevcut olup literatür taraması yapılması sonrasında Skyrme Etkileşim Türleri bulunabilir. Oluşturulmuş olan bu tip etkileşimlerde fenomenolojik kuvvet sayıları fazladır. Buna ek olarak oluşturulan bu etkileşimlerde, oluşturulan bu parametreler önemli ölçülerde bilimsel literatürlerde yer almışlardır. Oluşturulan bu

parametrelerin çoğu özel bir durumu açıklamak üzere oluşturulmuştur. Çekirdeklerin taban durumu hâlindeki durumunu açıklamakta kullanılacak en iyi fenomenolojik kuvvet durumu ise Skyrme Kuvveti olup bu durum literatürde Skyrme Parametresi olarak isimlendirilir. Bu durum göz önünde bulundurularak 1956 yılında yeni bir etkileşim türü tanımlaması yapılmış olup bu yeni etkileşim türünde 2 cismin etkileşiminin yanı sıra bunlara ek olarak 3. cisim ile de etkileşimi içerisinde barındırmakta olan Skyrme Etkileşmesi tanımlanmıştır [34]. Tanımlanmış olan bu yeni etkileşim türünün matematiksel (Formüsel) olarak ifadesi de literatürde tanımlanmıştır. Tanımlanan bu yeni etkileşim türünün formül olarak gösterimi aşağıda verilen Denklem 3.19'da olduğu gibidir.

$$\overrightarrow{V}_{Skyrme} = \sum_{i<j} \overrightarrow{V}_{ij} + \sum_{i<j<k} \overrightarrow{V}_{ijk} \quad (3.19)$$

İfade edilen Denklem olan Denklem 3.19'de ki formülde terimlerin tanımı mevcut olup bu formüldeki ifadelerde ilk terim, iki cismin birbiri ile olan etkileşimlerini Denklemdeki ikinci terim ise, üçüncü cisim ile etkileşimlerini göstermektedir. Bu formüldeki iki cismin kısa mesafedeki birbiri ile olan durumdaki etkileşimlerini ifade eden denklem literatürde bulunmakta, bu iki cismin birbiri ile olan etkileşimini veren ifade ise Denklem 3.20 [35]'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \vec{V}_{ij} = & t_0(1 + x_0 P_\sigma) \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) + \frac{1}{2} t_1(1 + x_1 P_\sigma) \left\{ \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) k^2 + k^2 \delta(\vec{r}_i - \right. \\ & \left. \vec{r}_j) \right\} + t_2(1 + x_2 P_\sigma) k \cdot \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) k + it_4(\sigma_i + \sigma_j) \cdot k \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) k + \\ & \frac{1}{6} t_3(1 + x_3 P_\sigma) \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) \rho^\alpha \left(\frac{\vec{r}_i + \vec{r}_j}{2} \right) \end{aligned} \quad (3.20)$$

Denklem 3.20 [35]'de ifade edilen formül olarak gösterimde, $\delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j)$ ifadesi ile verilmekte olan fonksiyon ifadesi Dirac Delta Fonksiyon ifadesidir. Denklem 3.20'de verilmiş olan ifade de $\vec{k} = \frac{(\vec{v}_i - \vec{v}_j)}{2i}$ ifadesi ile verilir [35]. Bu verilen ifadede birbirine göre görelî duruma sahip olan sağ ve sol yönde etki etmekte olan momentum ifadelerine göre $\vec{k}' = -\frac{(\vec{v}_i - \vec{v}_j)}{2i}$ [35] burada belirtilmiş olan değerlerdeki ifadeleri almaktadır. Denklem 3.20'de ifade edilen formülde P_σ ifadesi

ise sistemde sahip olunan spinlerin değiş tokuş operatörleri olup bu operatörlerin σ_i ve σ_j Pauli spin matris değerlerini vermektedir. Sistemdeki iki cismin etkileşmesi yedi parametre ile ifade edilmekte olup bu yedi parametre ise sırasıyla; t_0 , t_1 , t_2 , x_0 , x_1 , x_2 ve t_4 parametrelerdir. Bu parametreler içerisinde bulunan, t_0 , t_1 parametreleri sistemin sahip olmuş olduğu s ve ya d durumuna göre (bağıl çift durumu hâli) diğer parametre olan t_2 parametresinde ise p durumlarına karşılık gelen etkileşimleri ifade etmektedir. Diğer parametrelerden birisi olan, t_4 ise etkileşim içerisinde olan cisim için spin yörünge kuvveti belirlenmesini ifade eder. Sistemdeki iki cismin etkileşiminin anlaşılması ve analiz edilmesi için kullanılmakta olan diğer parametrelerden birisi de x_0 parametresidir. Bu parametrede ise analizi ve anlaşılması hedeflenmiş olan çekirdeğin sahip olmuş olduğu nükleonların (yada diğer ifadesi ile proton ve nötronlarının) sahip olmuş oldukları asimetrik özellikler ile ilgili olup bu özellikler ile ilgili işlemler yapmakta kolaylıklar sağlamakta ve analizi yapılan hedef çekirdeğin anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Yapılan açıklamalara ek olarak Skyrme Kuvvetin üç cisimli etkileşimlerde sıfır menzilli kuvvet sayıldığı kabul edilir. Kabul edilmekte olan bu durumun ifade edilmesi için literatürde formülde bulunmaktadır. Bu formül ifadesi Denklem 3.21'de verilmiştir.

$$V_{ijk} = t_3 \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_k) \quad (3.21)$$

Hedef çekirdek durumunda analiz çalışmaları gerçekleştirilen, hedef çekirdeklere iki cismin ifadeleri hariç diğer ifadeler işlemler sırasında etkisi olmayan cisim olarak görülür. Bu durumdan dolayı analiz çalışmaları yapılan hedef çekirdeklere, çekirdeğin taban durum özellikleri hesaplanırken, orijinal Skyrme Kuvvetindeki sıfır menzilli üç cisim kuvveti, yoğunluğa bağlı iki cisim etkileşimine eşdeğer olduğu kabul görmektedir [36-37].

$$V_{ijk} \cong \overline{V}_{ij} = \frac{1}{6} t_3 (1 + x_3 P_\sigma) \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) p^\alpha (\vec{r}_i + \vec{r}_j) / 2 \quad (3.22)$$

Yukarıdaki verilen Denklem 3.22'de, verilmiş olan ifade skyrme etkileşimlerinde, içerisinde fazla sayıda parçacık bulunduran, temel seviyede bir formülüze edilmiş olup bu formülüze edilmiş ifade içerisinde fenomolojik kuvvetlerin gösterimini de ifade etmektedir. Buna ek olarak Denklem 3.22'de verilen ifade hedef durumunun da

bulunan ve analizi yapılacak olan çekirdeğin sahibi olmuş olduğu nükleonların (proton, nötronlar) vasıtasıyla etkileşime girmiş olan nükleonları ifade etmektedir.

Skyrme etkileşimlerinin yoğunluğa ve momentuma bağlı olarak yazılması Dirac Delta Fonksiyonları ile ilgili olarak yazılabilmektedir. Dirac Delta Fonksiyonlarına bağlı olarak yazılmasının bir çok nedenleri bulunmakla beraber bunlardan bir tanesi sıfır menzile sahip bir ifade olması yada sıfır menzilli bir ifade içermesinden kaynaklanmaktadır. Buna duruma ilave olarak Hartree-Fock Enerji değerlerinin yazılabilir olması Denklem 3.22'nin kolaylıkla çözümlenmesi yapılacak olan matematiksel ifadeleri içeriyor olması ile ilgili olup bu ifadelerin, yoğunluk ve momentuma bağlı etkileşim ifadeleri aşağıda Denklem 3.22'de belirtilmiş olduğu gibidir.

$$\begin{aligned} \vec{V}_{skyrme} = \sum_{i<j} \vec{V}_{ij} = & t_0(1 + x_0 P_\sigma) \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) + \frac{1}{2} t_1(1 + x_1 P_\sigma) \left\{ \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) \vec{k}^2 + \right. \\ & \left. \vec{k}(\vec{r}_i - \vec{r}_j) \right\} + t_2(1 + x_2 P_\sigma) \vec{k} \cdot \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) \vec{k} + it_4(\vec{\sigma}_i + \vec{\sigma}_j) \cdot \vec{k} \times \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) \vec{k} + \\ & \frac{1}{6} t_3(1 + x_3 P_\sigma) \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j) p^\alpha (\vec{r}_i + \vec{r}_j) / 2 \end{aligned} \quad (3.22)$$

Yukarı kısımlarda yer yer sırası ile belirtilmiş olan parametrelerin (Skyrme Kuvvet Parametreleri) yapılan gözlemler, analizler ve yorumların sonuçların da, yapılmış olan teorik ve deneysel sonuçların birbirine göre karşılaştırmaları yapılmakta olup bu yapılan analizlerin, hesaplamaların ve karşılaştırmaların sonucunda yeni olarak ortaya çıkan veri değerlerine göre teorik olarak yaklaşımlar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yaklaşımların sonuçlarına göre (yaklaşımlar doğrultusunda) teorik olarak ayarlamalar yapılır. Yapılan teorik ayarlamalar Skyrme Kuvvet değerleri için önemli olmakta olup bu ayarlamalar doğrultusunda teorik olarak sonuçlar veri olarak ortaya çıkarılır. Çıkarılan verisel değerlerin Skyrme kuvvet parametrelerindeki sonuçların doğru yorumlanması, doğru analizlerinin yapılması ve hedef durumunda bulunan çekirdeklerin değerlerinin açıklanması için önemlidir. Skyrme Kuvvet Parametreleri, Literatürde belirli aşamalardan geçerek bugünkü mevcut durumda bulunan Denklemlerine ulaşmış olup bu aşamada bir çok çalışma deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar doğrultusunda elde edilen bu Denklemler

ile ilgili olarak yukarıda belirtilmiş olduğu gibi bir çok çalışma mevcut olup bu çalışmalardan bazıları belirtilmiştir. Burada belirtilmiş olan çalışmalar Skyrme parametrelerinin oluşumunda etkili olmuştur. Ek olarak literatürde bulunan diğer parametrelerden bazıları Çizelge 3.4'de belirtilmiştir. Çizelge 3.4'de belirtilen bu Skyrme kuvvet parametreleri için bir çok farklı bilim insanının farklı tarihlerde yapmış olduğu çalışmaları sonucu oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar ile ilgili olarak tarihsel bir sıralama ile belirtmek gerekirse; İlk olarak Vauthering ve Brink isimli bilim insanlarının çalışması mevcuttur. Bu çalışmada, hedef durumunda bulunan yada analizi yapılmakta olan çekirdeğin sahip olmuş olduğu deneysel bağlanma enerjilerinin, hedef durumunda bulunan çekirdeğin sahip olmuş olduğu nükleonların yoğunluk değerlerinin, hedef durumunda bulunan çekirdeğin yarıçap değerinin kare ortalama değerinin, karekök ifadelerine fit edilmesi ile SI ve SIII sıradan Skyrme Kuvvet Parametresi şeklinde literatürde yer almakta olan parametre değerleri ifade edilmiştir [38]. İfade edilen bu değerler Çizelge 3.4'de ifade edilmiştir. Literatürde Düzeltilmiş Skyrme kuvveti olarak geçen ve ilk kez Kohler tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada hedef durumunda bulunan çekirdekler ^{40}Ca , ^{48}Ca ve ^{208}Pb üzerinde yapılmış olup bu yapılan çalışma sonucunda hedef durumunda bulunan çekirdeklerinin spektrumdan yoğunluk parametre değerleri (yapılan analiz çalışmalarına göre) ifade edilmiş olup ifadesi yapılmış olan bu değere t_3 ayarlayarak literatürde ifade edilen ve bu çalışma kapsamında Çizelge 3.4'de ifadesi yapılmış olan SKa ve SKb türlerinde Skyrme kuvveti parametrik değerlerini elde etmiştir [38].

Literatüre Krewald ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma ile kazandırılmış bir başka çalışmada ise "m*" nükleer etkin kütle değerleri ve K sıkıştırılmazlık katsayısının sahip olmuş olduğu değerler uyarlanmış olarak Literatüre genelleştirilmiş Skyrme Kuvveti ifadesi ile geçmiş olan, literatürde bu isimle bilinen ve bu tez kapsamında da Çizelge 3.4'da GS1-GS6 ile belirtilmekte olan altı grup Skyrme Kuvvet parametresinin hesaplamaları Krewald ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonrasında bulunan değerler hem literatürlerde mevcut olup hem de bu tez kapsamında Çizelge 3.4'de belirtilmiştir.

Krivine ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma sonucunda literatüre kazandırılan çalışma ile Skyrme Kuvvetlerinde SKM parametre setlerinin

belirlenmesi yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda, literatürde İzovektör dipol rezonansı olarak bilinmekte olan ve çok büyük kütle merkezli değerlere sahip olan hedef çekirdeklerde çalışmalar yapılmıştır [39]. Yapılan bu çalışmalar sonucunda Literatüre SKM parametre değerleri kazandırılmıştır.

Literatürde Krivine ve arkadaşları tarafından geliştirilen SKM çalışması sonrasında, Brack ve arkadaşları tarafından SKM* çalışması gerçekleştirilmiştir. Brack ve arkadaşları SKM* çalışmalarında SKM türünde kullanılan kuvvet temel alınmış olarak, Brack ve arkadaşları çalışmalarında ağır deforme çekirdeklerde fisyon engellerine uydurulmuş olarak SKM parametre setinin yeni bir şekli olan SKM* parametre setini önermişlerdir [37,40]. Önerilen bu yeni parametre seti sonucunda Literatüre SKM* tipinde yeni bir parametre tanımlanmıştır. Tanımlanan bu parametreler Literatüre yapılan çalışmalar sonrasında girmiş olup bu çalışmalar sonucunda literatürde tanımlanmış olduğu gibi hazırlanmış olan bu çalışma da Çizelge 3.4'da ifade edilmiştir. literatürde yapılan diğer çalışmalara örnek olarak, Gia ve Sagawa tarafından Landau-Migdal parametre sınır değerleri referans alınarak hazırlanmış olan SKa ve SKM Skyrme kuvvetlerini esas alan düzeltilmiş SG1 ve SG2 Skyrme kuvvet parametre değerleri, Gia ve Sagawa tarafından önerilmesi yapılmıştır[59]. Bu çalışma sonucunda literatüre kazandırılmış olan çalışma ve parametreler literatürde var olmuş olup Çizelge 3.4'de belirtilmiştir. Bu Skyrme Kuvveti çalışmalarına ek olarak diğer bilim insanlarından Chabanat ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada SLY kuvvet parametre seti değerleri tanımlanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda tanımlanmış olan kuvvet parametre seti ifadeleri ise SLy4, SLy5, SLy6 ve SLy7 dir. Bu çalışma sonucunda asimterik nükleer madde özelliği veya özellikleri tanımlanmıştır. Tanımlanması yapılan bu özelliklerin yanı sıra nötron yıldızları için düzenlemiş parametre seti değerleri kullanılmıştır [37]. Bahsi geçmekte olan bu çalışmaların her birinde literatüre yeni bir hem parametre değerleri hem de parametre setleri tanımlanmıştır. Tanımlanan bu setlerde ve parametrelerde de kullanılan değerler aşağıda verilmiş olan Çizelge 3.4'da ayrı ayrı ifade edilmiştir. İfade edilen bu Çizelge 3.4'nın içerisinde bu tez kapsamında Toryum Hedef çekirdeği için hesaplama ve analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda bulunmuş olan teorik değerler ile ilgili olarak sonuç ve öneriler yapılmıştır. Çizelge 3.4'da ifade edilen Skyrme Kuvvet Parametre

setleri ve bu parametre setleri ile hesaplamalar yapılırken kullanılacak olan fonksiyon ifadesi de literatürde mevcut olup bu tez kapsamında Denklem 3.22'de belirtilmiştir. Belirtilen Denklem 3.22'deki ifade üzerinden hesaplamalar yapılır. Literatürde mevcut olan bir çok parametre setleri bulunmaktadır. Literatürde bulunan bu parametre seti değerlerinden bazıları Çizelge 3.4'de belirtilmiştir. Belirtilenlerin bu parametrelerin dışında literatürde mevcut Skyrme kuvvet parametre eşitlikleri de mevcuttur. Literatürde mevcut olan ve Çizelge 3.4'de belirtilmiş olan SKa Skyrme kuvvet parametresi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.



Çizelge 3.4 literatürde bulunan Skyrme kuvvet parametre eşitlikleri ve değerleri [37].

	$t_0(\text{MeV} \cdot \text{fm}^3)$	$t_1(\text{MeV} \cdot \text{fm}^5)$	$t_2(\text{MeV} \cdot \text{fm}^5)$	$t_3(\text{MeV} \cdot \text{fm}^{3\alpha})$	$t_4(\text{MeV} \cdot \text{fm}^5)$	x_0	x_1	x_2	x_3	α
SI	-1057.3	235.9	-100.0	14463.5	120	0.56	0	0	1	1
SII	-1169.9	585.6	-27.1	9331.1	105	0.34	0	0	0	1
SIII	-1128.75	395.0	-95.0	14000	120	0.45	0	0	1	1
SKa	-1602.78	570.88	-67.70	8000	125	-0.02	0	0	-0.286	1/3
SKb	-1602.78	570.88	-67.70	8000	125	-0.165	0	0	-0.286	1/3
GS1	-1268	887	-77.3	14485	105	0.15	0	0	1	1
GS2	-1177	670	-49.7	11054	105	0.124	0	0	1	1
GS3	-1037	336	-76.3	5774	105	0.074	0	0	1	1
GS4	-1242	760	-146.2	19362	105	0.026	0	0	1	1
GS5	-1152	543	-118.6	15989	105	0.182	0	0	1	1
GS6	-1012	209	-76.3	10619	105	0.139	0	0	1	1
SKM	-2645	385	-120.0	15595.0	130	0.09	0	0	0	1/6
SKM*	-2645	410	-135.0	15595.0	130	0.09	0	0	0	1/6
SGI	-1603	515.9	-84.5	8000	115	-0.02	-0.5	-1.731	0.1381	1/3
SGII	-2645	340	-41.9	15595	105	0.09	-0.0588	1.423	0.06044	1/6
SLy4	-2488.91	486.82	-546.39	13777	123	0.834	-0.344	-1	1.354	1/6
SLy5	-2484.88	483.13	-549.40	13763	126	0.778	-0.328	-1	1.267	1/6
SLy6	-2479.50	462.18	-448.61	13673	122	0.825	-0.465	-1	1.355	1/6
SLy7	2482.41	457.97	-419.85	13677	126	0.846	-0.511	-1	1.391	1/6

3.8. HartreeFock

3.8.1 HartreeFock Yaklaşımı

1926 yılında Schödinger Denkleminin yazılmasından itibaren bu Denklem yardımıyla tüm kuantum mekaniksel uygulamalar yapılmaya çalışıldı ancak schödinger Denklemi birden fazla parçacık içeren atom, molekül, v.b. yapılar için çözülememekteydi [41]. 1928 yılında D. Hartree tarafından yazılan Hartree Denklemleri, atom ve molekül yapılarının incelenmesinde kullanılmaktaydı. (Hartree,1928, Adamson 1998) Ancak bu yöntem elektronların birer fermiyon olarak anti simetrik kuantum durumları ile temsil edilmesi gerektiğini hesaba katmamaktaydı. Bu metoda anti simetrizasyonun eklenmesi V. Fock'un çalışmaları ile gerçekleşti (Fock1930,Adamson1998) [41].

Yukarıdaki tanımlanmış olan teori günümüzde "Hartree Fock Teorisi" olarak bilinip bu teorinin oluşmaya başlaması 1926 yılına kadar gitmektedir. 1926 Schrödinger'in kendi ismi ile anılan Denklemini yayınlaması ile birçok farklı alanda uygulama şansı bulmuş olan bu Denklem kullanımı sağlanarak birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak yapılan bu çalışmalar Schrödinger Denklemlerinde bir parçacık (tek parçacık için) için gerçekleştirilmiştir. Bu Denklemlerin bir parçacık için geçerli olması bazı kuantum mekaniksel uygulamalarında geçerli olmamakta, yapılan analizler ve çalışmalarda istenilen sonuçlardan farklı sonuçlar çıkarmıştır. Bu durum 1928 yılında D. Hartree tarafından fark edilmiş olup kendi ismi ile literatüre kazandırılmış olan Hartree Denklemlerinde ve V. Fock tarafından Hartree Denklemlerine eksikliği olan anti simetrizasyonun eklenmesi ile giderilmeye çalışılmış olup bu yöneme de "Hartree Fock teorisi" adı verilmiştir. Bu yöntemin oluşturulması 1926 yılında Schrödinger tarafından kendi ismi ile anılmakta olan Denklemlerin kuantum mekaniksel uygulamalarda tek başına yeterli gelememesinden kaynaklanmakta olup sonuç olarak yapılan çalışmalar sonucunda, bu yöntem bir çok farklı bilim insanları tarafından istenilen sonuçların uygun şekilde sağlanması için oluşturulmuştur.

Yapılmış olan tanımlamalardan da anlaşılacağı üzere Hartree Fock metodu içerisinde birden fazla ($1 <$ parçacık) parçacık içeren kuantum sistemlerinin taban durumdaki enerji değerlerinin ve yine taban durumda bulunan dalga fonksiyon ifadelerinin

bulunması için oluşturulmuş bir yöntem olup bu doğrultuda literatürde kullanılmaktadır.

Hartree Fock metodu olarak literatürde bilinen bu metodunun diğer adı, literatürde Öz Uyumlu Metot olarak geçmektedir. Bu Hartree Fock ya da literatürdeki diğer adıyla Öz Uyumlu Metot oluşturulmuş olduğu dönemden itibaren temel bilimlerden birisi olan Fiziğin birçok alanında uygulaması yapılmıştır. Yapılan ilk uygulama alanı olarak Fiziğin alt bilim dalarından birisi olan Atom Fiziği alanıdır. Daha sonraları yukarıda tanımlamış olduğumuz ve kendi tanımı itibari ile birden fazla parçacık içermekte olan Çekirdek Fiziği'nde uygulanmıştır.

Hartree Fock yada literatürde ki diğer adıyla öz uyumlu metot yaklaşımı, etkileşme içerisinde bulunan birden fazla parçacık içeren cisim problemlerini, sahip olunan dış potansiyeli altında hareketine devam eden tek bir parçacık problemine düşürmekte olup bu ifade çok parçacık sahibi olan yada içerisinde çok parçacık içeren, çok parçacıklı sistemlerin araştırılması ve analiz edilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Sağlanan bu kolaylık birden fazla parçacıklı sistemlerin, tek parçacıklı sistemler gibi düşünmemize ve tek parçacıklı sistemlerde olduğu gibi işlemler yapmamızı sağlamaktadır. Bu yaklaşımda, sistemin sahibi olmuş olduğu dalga fonksiyonu tek parçacık dalga fonksiyonunun, simetrik olmayan bir fonksiyonel ifade sonucu çıkmaktadır. Bu durum yapılan hesaplamalarda ve hedef durumda bulunan parçacıklarının anlaşılmasında kolaylık sağlamaktadır. Sistemin sahip olmuş olduğu tek parçacıklar için dalga fonksiyonları, sistemde etkileşim içerisinde olan diğer parçacıkların en az seviyede (ya da diğer ifadeyle minimum seviyede) olduğu enerji durumlarında bulunmaktadır. Açıklaması yapılmış olan yaklaşımda (Hartree Fock yaklaşımında) sistemin sahip olmuş olduğu toplam dalga fonksiyon ifadesi ve çekirdeğin sahibi olmuş olduğu dalga fonksiyonu ifadesi Denklem 3.23'de gösterilmiş olan determinant hesabı ile bulunmakta olup Denklem 3.23 belirtilmiş olan Slater determinantı şeklinde belirtilmiştir.

$$\begin{aligned}
& \left(r_1 \dots r_N \right) = 1/\sqrt{N!} \begin{bmatrix} \varphi_1(r_1)\varphi_1(r_2) & \dots & \dots & \dots & \varphi_1(r_N) \\ \varphi_2(r_1)\varphi_2(r_2) & \dots & \dots & \dots & \varphi_2(r_N) \\ \varphi_3(r_1)\varphi_3(r_2) & \dots & \dots & \dots & \varphi_3(r_N) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \varphi_N(r_1)\varphi_N(r_2) & \dots & \dots & \dots & \varphi_N(r_N) \end{bmatrix} \\
& \hspace{20em} (3.23)
\end{aligned}$$

Slater determinantında kullanılan ve determinanttaki ifadelere ek olarak Hartree Fock yaklaşımlarında Slater determinantının bazı özellikleri mevcut olup bu özelliklerinin yanı sıra yukarıda belirtilmiş olan denklemler için bir iterasyon kullanımı yapılarak çözümlenmeler yapılmaktadır. Açıklaması yapılmaya çalışılan Hartree Fock yönteminde; Atomların sahip olmuş oldukları dalga fonksiyonları hesaplaması yapılan sistemdeki atomların sahip olmuş oldukları spin değerlerinin yerleştirilmesi sonucunda, 1 den fazla parçacık içeren atom sistemlerinde uygulanır. Birden fazla atom parçacığı içeren sistemlerde uygulamasının olduğunu gösterir. Ancak 1 den fazla atom içeren sistemlerde uygulaması yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı durumlar mevcut olup bu durumlar en az 3 veya daha fazla elektronu kendi sistemi içerisinde barındırmakta olduğundan farklı ve yeni terimleri oluşturacağı ve hesaplanan Denklemlerde bu terimlerin eklenmesi gerekliliği unutulmamalıdır. 3 veya daha fazla elektronu kendi atom sisteminde barındıran, atom sistemlerinde uygulanması ve yapılan analizlerde analizlerin kolaylaşması adına kapalı-tabaka sistemlerde uygulamaları mevcut olduğu gibi yapılan araştırmalarda açık tabaka sistemlerde kullanımları da mevcuttur. Açık tabakalı sistemlerde analizlerin ve araştırmaların yapılması sırasında Slater determinant sistemlerin sahip olmuş olduğu dalga fonksiyonları sonsuz sayıda ikili elektronlardan oluşturulmuş uzay yörüngelerinden oluşturulur.

Hartree Fock yönteminde analiz ve araştırmaların yapılması sırasında uygulamaları bulunan eşitlikler literatürde mevcuttur. Hartree Fock yönteminin uygulanması, Hartree Fock durumuna bağlı olup bu durum Denklem 3.24 'de belirtilmiştir. Hartree Fock yönteminde Hamiltonyen eşitliği kullanılır. Bu eşitlik sonsuz sayıda 2li elektronlardan, elektron içeren sistemlerde Denklem 3.24[42]'daki gibidir. Denklem

3.23 deki verilen Slater determinantında ise Hartree Fock yöntemini yardımıyla analizi yapılacak olan atom sistemlerinin dalga fonksiyonu ifade eder.

$$\Psi(r_1, r_2) = \Psi(r_1)\Psi(r_2) \quad (3.24)$$

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla_1^2 - \frac{\hbar^2}{2m}\nabla_2^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_1} - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_2} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} \quad (3.25)$$

Hartree Fock metod uygulamalarında, analizlerin yapılabilmesi için belirtilmiş olan Denklem 3.24 ve Denklem 3.25[42] kullanılır. Bu kullanım sırasında Denklem 3.24 ve Denklem 3.25 [42]'de belirtilmiş olan Denklemler ile birlikte kullanımı ve Denklem 3.25'deki belirtilmiş olduğu şekildedir.

$$H\Psi = E\Psi \quad (3.26)$$

Hedef çekirdeğin hesaplanması sırasında, çekirdeğin içerisinde bulunan elektronların kendi aralarındaki itme terimlerini pertürbasyon şeklinde alınması Denklem 3.25[42]'de belirtilmiş olan Hamiltonyen eşitliğine uygun olur. Denklem 3.25[42]'deki Hamiltonyen eşitliğinin herhangi bir referans durumunda (Başlangıç durumunda), bu referans noktasına uygun dalga fonksiyonu (taban durum) olmakta olup bu taban durum dalga fonksiyon ifadesi ise Denklem 3.27'de verilmiş olan ifade deki gibi olmalıdır.

$$\Psi(r_1, r_2) = \Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1s}(r_2) \quad (3.27)$$

Denklem 3.27'de ifade edilen Denklem ile Denklem 3.24'deki ifade edilmiş olan denklem analizi yapılacak olan parçacığın Hamiltonyen ifadesi ve taban durumundaki dalga fonksiyon ifadesini belirtir. Bu duruma ek olarak Denklem 3.27'deki belirtilmiş olan ifade, Ψ_{1s} 'in karşılığı Denklem 3.28'da belirtildiği gibi olup bu ifade için j değeri $j=1,2,3$ şeklindedir.

$$\Psi_{1s}(r_j) = \left(\frac{Z^3}{\pi a_0^3}\right)^{1/2} e^{-Zr_j/a_0} \quad j=1,2,3 \quad (3.28)$$

Denklem 3.28[42]'da, belirtilmiş olan denklemde Z sayısı proton sayısını belirtmekte olup hesabı yada araştırması yapılan hedef çekirdeğin proton sayısını

belirtir. Araştırması yapılan hedef çekirdeğin hidrojen tipinde bir sistemdeki taban durumundaki enerji değeri hesaplamalarda ayrıca öneme sahip olup taban durumdaki enerji değerinin hesaplanmasında kullanılan denklem, Denklem 3.29'da belirtilmiştir. Denklem 3.29'da belirtilmiş olan taban durum enerji ifadesidir.

$$E = -\frac{mZ^2e^4}{8\epsilon_0^2h^2} \quad (3.30)$$

Burada belirtilmiş olan Denklem 3.30'daki ifade hidrojen tipi sistemlerdeki, taban durum enerjilerinin Denklem ifadesi olup bu Denklemde m elektron kütleini z proton sayılarını e elektron yükünü, belirtir. Taban durumunda yani Denklem 3.30'da belirtilmiş olan ifadeler yerine yazılırsa bu durumda hedef çekirdeğin enerji değeri hesaplanır.

Denklem 3.23'deki ifade edilen Denklem diğer bir ifade formu olarak Denklem 3.31'da ifade edilen şekildeki formunda da mevcuttur. Bu ifade Denklem 3.31'da ifade edilmiştir. Buna ek olarak enerji değeri içinse Denklem 3.32'da ifade edilen ifade de mevcuttur.

$$\Psi(1,2,3 \dots, N) = \frac{1}{\sqrt{N!}} \sum_p \epsilon_p \phi_1(P_1) \phi_2(P_2) \dots \phi_N(P_N) \quad (3.31)$$

Enerji değeri için Denklem 3.32'da verilen ifade mevcut olup bu ifadede dalga fonksiyonları ve Hamiltonyen eşitlikleri kullanılarak hesaplamalar yapılır. Denklem 3.32 'da verilen Denklemde p ifadesi belirtilen permutasyon ifadesidir.

$$E = \int \Psi^*(1,2,3, \dots, 2N) H \Psi(1,2,3, \dots, 2N) d\tau_1 d\sigma_1, \dots, d\tau_{2N} d\sigma_{2N} \quad (3.32)$$

3.9 Skyrme Kuvveti

Nükleer maddelerin sahip olmuş olduğu bir takım özellikler mevcut olup bu özellikler içerisinde bulunan bazı özellikler, hedef durumunda bulunan çekirdeğin analiz edile bilemesinde önemlidir. Sahip olan bu özelliklere örnek olarak statik özellikler, hedef durumunda bulunan çekirdeğin sahip olmuş olduğu bağlanma enerji değerleri, simetri durumundaki tespit edilen ve analiz çalışmalarıyla tespitlerine devam edilen simetri enerjileri örnek olarak verilebilir. Hedef durumunda bulunan ve analiz çalışmalarını yapılan hedef çekirdeklere sıkıştırılmazlık da ayrıca öneme

sahiptir. Gerek literatür taramalarında karşılaşıldığı gibi gerekse bilim insanlarının son dönemlerde yapmış oldukları çalışmalar göstermiştir ki nükleer madde çalışmalarında önceki dönemlere göre olumlu yönde bir artma söz konusudur. Bu artış kendisini özellikle Nükleer Fizik alanında ve Astrofizik alanında göstermiştir. (literatür taramalarına göre)

Nükleer madde çalışmalarında nükleer maddeyi oluşturan nötron ve proton sayıları önemli bir yere sahiptir. Analiz çalışması yapılmakta olan maddenin sahip olduğu proton ve nötron sayılarına göre simetrik veya simetrik olmama durumları mevcut olmasından dolayı, hedef çekirdeğin sahip olduğu proton ve nötron sayıları önemlidir. Nükleer madde çalışmalarında hedef çekirdeğin sahip olduğu proton ve nötron sayılarında bir eşitlik söz konusu ise, ki bu duruma örnek olarak aynı sayıda nötron ve proton içermesi örnek olarak verilir, bu durumunda nükleer madde için simetrik nükleer madde denilir. Bu simetriklik durumu dışında da durumlar mevcut olup bu durumlar ise nötron fazlalığına yada proton fazlalığına göre isimlendirilir. Skyrme kuvvet parametreleri bugüne kadar bir çok bilim insanı tarafından kullanılarak hedef durumunda bulunan çekirdeklerde analiz çalışmaları yapılmış olup bu yapılan çalışmalar literatürlerde yerlerini almışlardır. Yapılan bu çalışmalarda Skyrme kuvvetleri kullanılmış olup kullanılan bu kuvvetlerin yanı sıra Skyrme parametreleri literatürlerde yerini almıştır. Skyrme kuvveti ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda ve çalışmalar sonucunda oluşturulmuş olan parametrelerden bazıları Çizelge 3.4'de belirtilmiştir. Belirtilen bu parametre setleri ile ilgili ve Skyrme kuvvetleri ile bir çok akademik çalışmalar yapılmış olup bu çalışmalar literatürdeki yerlerini almışlardır.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Nükleer madde nötron ve protondan oluşmaktadır. $N \neq Z$ bu sisteme asimetric nükleer madde denir tüm noktaların hacmi Ω , bir dönemsellik kutu içerisinde bulunur. Sistem bir birleşim ile karakterize edilir [47]. Nükleer maddenin sahip olmuş olduğu nötron ve proton sayılarının fazlalığına göre isimlendirilmesi yapılmaktadır. Nükleer maddenin sahip olmuş olduğu proton ve nötron sayılarının eşit olması durumunda ise simetric nükleer madde ismini almış olduğu 3.9 Skyrme Kuvveti Bölümünde anlatılmıştır.

$$A=N+Z \quad (4.1)$$

Nükleer maddelerin nötron ve protondan oluşmuş olduğu Denklem 4.1'deki yazıldığı şekilde tanımlanmıştır. Nükleer maddeleri oluşturan proton ve nötron sayılarını gösteren ifade Denklem 4.1'deki verilmiş olduğu gibidir. Denklem 4.2'de verilmiş olan ifade ise hedef durumunda bulunan yada analizi yapılmakta olan çekirdeğin sahip olmuş olduğu nötron ve proton sayıları ve hedef durumun da bulunan çekirdeğin kütle sayısını ifade eder. Denklem 4.2'de ifade edilmiş olan ifade daha sonra hesaplanacak olan k_p ve k_n ifadelerinde de (Fermi momentumlarında) kullanılır.

$$a_t = \frac{N-Z}{A} \quad (4.2)$$

Hedef durumda bulunan çekirdeğin analiz işlemleri sırasında hedef çekirdeğin sahip olmuş olduğu momentumları hesaplanır. Hedef çekirdeğin sahip olmuş olduğu nükleonlar için momentum değerleri, protonları için k_p ve nötronlar için k_n , olmak üzere 2 tane Fermi momentumu hesaplanır. Hesaplanacak olan bu değerler için kullanılacak Denklem eşitlikleri k_n için Denklem 4.3'deki ifadedir. k_p değeri için kullanılacak eşitlik Denklem 4.4'deki ifadedir.

$$k_n^3 = k_f^3(1 + a_t) \quad (4.3)$$

$$k_p^3 = k_f^3(1 - a_t) \quad (4.4)$$

Nükleer maddede belirtilmiş olan simetriklik durumunda ise kullanılacak olan ifade Denklem 4.5'de ifade edilmiş olan ifadedir. Denklem 4.5'de ifade edilen Denklemde k_f eşitliği ρ yoğunluğu ile ilgili olup Denklem 4.5'de bu eşitlik ifade edilmiştir.

$$k_f^3 = \frac{3}{2}\pi^2\rho = \frac{3}{2}\pi^2\frac{A}{\Omega} \quad (4.5)$$

Nükleer maddenin özelliklerinden birisi olan bağlanma enerji değerleri için literatürde belirtilmiş olan bir ifade de mevcuttur. Literatürde ifade edilmiş olan bu eşitlik Denklem 4.6'da belirtilmiştir.

$$E = \langle T \rangle + \frac{1}{2}\sum_{k_1, k_2} \langle k_1 k_2 | V | k_1 k_2 - k_2 k_1 \rangle \quad (4.6)$$

Literatürde bağlanma enerjilerinin hesaplanmasında kullanılan Denklem 4.6'daki eşitlikte, tek dalgacık dalga fonksiyonu $|k\rangle$ tarafından verilmektedir [47]. Denklem 4.6'da ifade edilen ve tek dalgacıkların hesaplanmasında kullanılan eşitlik Denklem 4.7'deki verilmiş olduğu gibidir.

$$|k\rangle = |K\rangle = \mathcal{E}_\sigma \mathcal{E}_T \quad (4.7)$$

$|k\rangle$ sıradan düzlem dalga \mathcal{E}_σ ve \mathcal{E}_T spin izotopik dönüş dalga fonksiyonları $\langle T \rangle$ kinetik enerji beklenti değeridir. Bizim hesaplamalarımızda Skyrme etkileşimi dikkate alınmaktadır [48].

Hedef durumundaki çekirdeği oluşturan nükleonlar için, nükleon başına bağlanma enerjisi hesaplandığında, basınç, sıkıştırılmazlık tarafından verilen ses hızı hesabı [48], aşağıda verilmiş olan Denklem 4.8, Denklem 4.9, Denklem 4.10 ve Denklem 4.11 ile hesaplanır. Verilen eşitliklerden Denklem 4.8 ile Basıncı, Denklem 4.9 ile ses hızını, Denklem 4.11 ile hedef durumundaki çekirdeğin sıkıştırılmazlık değeri hesaplanır.

$$P = \rho^2 \frac{\partial(E/A)}{\partial\rho} \quad (4.8)$$

$$V = \sqrt{\partial p / \partial e} \quad (4.9)$$

$$e = \rho x \left(m_N C^2 + \frac{E}{A} \right) \quad (4.10)$$

$$K = 9\rho^2 \frac{\partial^2(E/A)}{\partial\rho^2} \quad (4.11)$$

Hedef durumunda bulunan nükleer maddeyi (çekirdeği) oluşturan çekirdeğin her bir nükleonun başına düşen serbest enerji değerinin hesabı yapılarak, nükleon başına düşen serbest enerji $F(\rho,T)$ tespit edilirse nükleer maddenin termal özellikleri tamamen tespit edilir [47,49]. Nükleer maddenin termal özelliklerinin tespiti için kullanılacak olan ifade Denklem 4.12 deki ifadedir.

$$F(\rho,T)=E(\rho,T=0)-TS(\rho,T) \quad (4.12)$$

$E(\rho,t=0)$ sıcaklık $T=0$ olduğu zaman ve S 'nin sistemin entropisi olduğunda nükleon başına enerji, sistemin nükleon başına enerjisi ile verilmektedir [47,50]. Verilen bu ifade için oluşturulan eşitlik Denklem 4.13 [23] 'de belirtilmiştir.

$$S(P,T) = \frac{n^2}{2} \frac{m^*}{\hbar^2 k_f^2} k^2 T \left[(1 + a_t)^{\frac{1}{3}} + (1 - a_t)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (4.13)$$

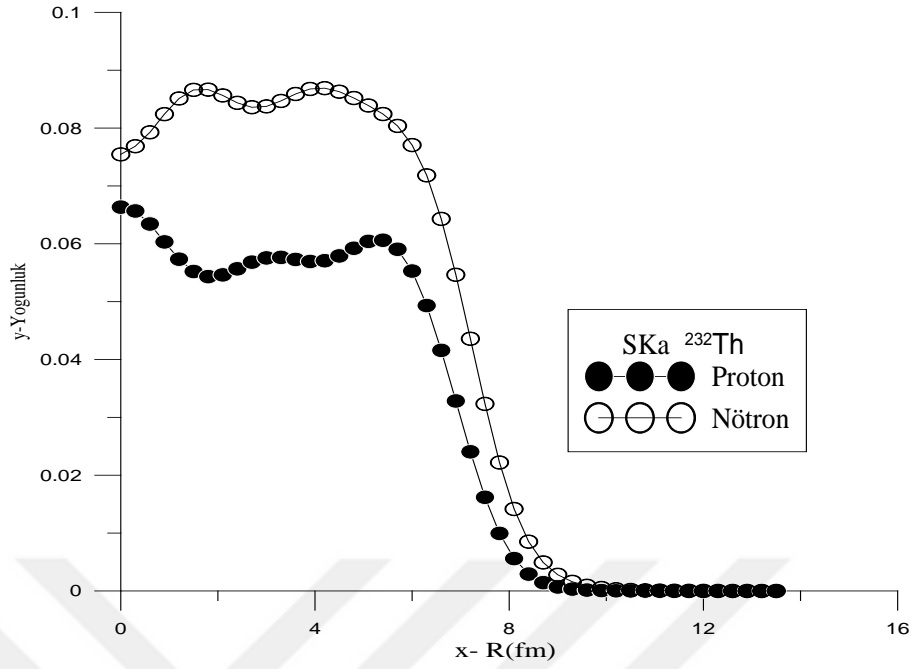
Denklem 4.13 [23]'de gösterilmiş olan ifadeler için ise m^* etkin kütle ve k boltzman sabitidir. Hedef durumunda bulunan çekirdek olan Toryum çekirdeği için ^{232}Th için Skyrme Hartree Fock yöntemi kullanılarak ve SKa parametresi ile hesaplandığında ortaya çıkmakta olan değerler Çizelge 4.1'de belirtilmiştir. Çizelge 4.1 Skyrme kuvvetinin kullanılması sonucunda elde edilmiş olan nötron yoğunluğu $\rho_n(R)$ ve proton yoğunluğu $\rho_p(R)$ belirtilmiştir

Çizelge 4.1 SKa parametresi kullanılarak elde edilen yoğunluk değerleri.

R	Proton	Nötron
0	0,066336	0,075459
0,3	0,065673	0,076868
0,6	0,063421	0,079274
0,9	0,060329	0,082412
1,2	0,057342	0,085123
1,5	0,055213	0,086608
1,8	0,054328	0,086649
2,1	0,054631	0,085644
2,4	0,055679	0,084371
2,7	0,056835	0,083608
3	0,057562	0,083756
3,3	0,057653	0,084692
3,6	0,057295	0,085896
3,9	0,056944	0,086763
4,2	0,057073	0,086903
4,5	0,057904	0,086292
4,8	0,059232	0,085197
5,1	0,06042	0,083906
5,4	0,060616	0,08243
5,7	0,059053	0,080376
6	0,055292	0,077067
6,3	0,049328	0,071832
6,6	0,041585	0,064308

R	Proton	Nötron
6,9	0,032836	0,054649
7,2	0,024051	0,043593
7,5	0,016188	0,032337
7,8	0,009951	0,022204
8,1	0,005597	0,014169
8,4	0,002918	0,008522
8,7	0,001441	0,004932
9	0,000689	0,002801
9,3	0,000325	0,001584
9,6	0,000153	0,0009
9,9	7,23E-05	0,000515
10,2	3,44E-05	0,000298
10,5	1,65E-05	0,000174
10,8	8,01E-06	0,000103
11,1	3,92E-06	6,07E-05
11,4	1,93E-06	3,6E-05
11,7	9,55E-07	2,13E-05
12	4,72E-07	1,24E-05
12,3	2,3E-07	7,03E-06
12,6	1,09E-07	3,78E-06
12,9	4,76E-08	1,84E-06
13,2	1,74E-08	7,27E-07
13,5	3,81E-09	1,67E-07

Toryum (${}_{90}^{232}\text{Th}$) hedef çekirdeğinin SKYRME-HARTREE-FOCK yöntemi ile hesaplanması [51] sonucunda SKa parametresi kullanılarak hesaplanması sonucunda elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler için grafik oluşturulmuştur. Oluşturulan bu grafik, şekil 4.1'de verilmiştir. Verilen şekil 4.1'deki şeklin değerleri olarak Çizelge 4.2'de elde edilmiş olan yeni değerler kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.1 Hedef çekirdek ^{232}Th için SKa parametresi ile hesap sonucu proton ve nötron yoğunlukları

Çizelge 4.1'de verilen ve hedef çekirdek ^{232}Th için SKa parametresi ile hesaplanma sonucu çıkmış olan yeni değerler ile oluşturulan Çizelgenin şekli olup Şekil 4.1 hedef çekirdek Toryum için nötron ve protonların $R(\text{Fm})$ değerine karşı oluşan yoğunluk değerleridir. Şekil 4.1'de ifade edilmiş olan grafik, Çizelge 4.1'de verilmiş olan değerler ile oluşturulmuştur. Burada verilmiş olan değerler SKa parametresi kullanılması sonucu hesaplanarak elde edilen değerler olup bu elde edilen değerlerin grafiği ise şekil 4.1'de ifade edilen şekildir. Hedef durumunda bulunan Toryum çekirdeği ($_{90}^{232}\text{Th}$) için, analizler sırasında kullanılmış olan nükleer reaksiyon tesir kesit formülleri aşağıdaki Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve 4.5 belirtilmiştir. Çizelge de belirtilmiş olan formülleri tanımlamadan önce bu formüllerde belirtilen X^2 ifadesi için ise Denklem 4.15'deki ifade kullanılır. Bu tez kısmında ^{232}Th hedef çekirdeği için (n,p) ve (n,2n) nükleer reaksiyonlarında hesaplamalar yapılmıştır.

$$X^2 = \frac{1}{N} \sum_i^N \left(\frac{\sigma_{\text{deneysel}}^i - \sigma_{\text{hesaplanan}}^i}{\Delta\sigma_{\text{deneysel}}^i} \right)^2 \quad (4.15)$$

Çizelge 4.2.14-15 MeV aralığında (n,p) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formülleri

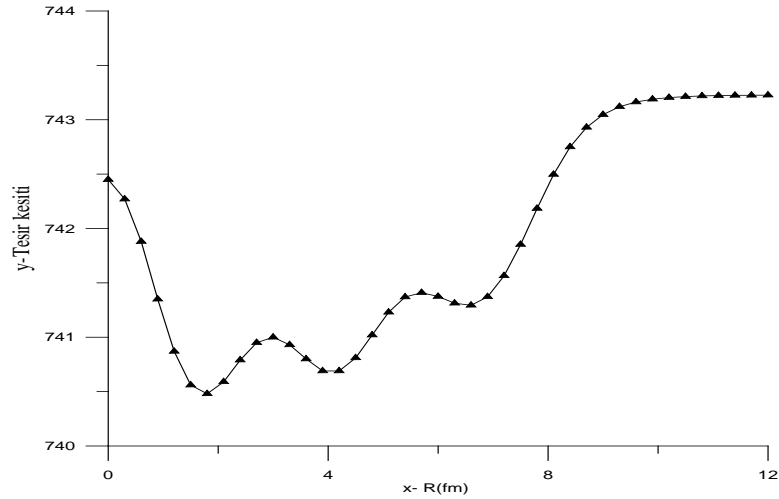
Yazar	Enerji (MeV)	Kütle aralığı	Formül σ (mb)	X^2
Levkovskii(1974) [2,52,56]	14.0	$40 \leq A \leq 202$	$45.2 \left(A^{\frac{1}{3}} + 1 \right)^2 \exp[-33(N - Z)/A]$	1.42
Konno ve ark.(1993)[52,58]	14.9		$31.42(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-29.07s]$	
Tel ve Ark.(2003) [2,52]	14-15	$17 \leq A \leq 239$	$14.56(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-26.58s]$	0.807
Tel ve Ark-II(2003) [2,52]	14-15	Çift Z Çift N	$16.33(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-26.17s]$	0.863
	14-15	Çift Z Tek N	$9.71 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-21.87s]$	0.835
	14-15	Tek Z Çift N	$7.31 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-20.21s]$	0.788

Çizelge 4.2'de verilen ve (n,p) nükleer reaksiyonların tesir kesit değerlerinin teorik olarak hesaplanması yapılırken kullanılan, bazı literatürde bulunan tesir kesit formülleri verilmiştir. Bu tez kapsamında Çizelge 4.2'de belirtilen Tel ve arkadaşlarının tesir kesit formülleri ile hesaplamalar yapılmıştır. Yapılmış olan bu hesaplamalarda Skyrme Hartree Fock yöntemi ve SKa parametresi kullanılarak elde edilen yoğunluk değerleri kullanılmıştır. Kullanılan bu Tel ve ark. formülünde $S = N - Z/A$ olarak tanımlanmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan hesaplamalarda SKa parametresi kullanılarak elde edilmiş değerler kullanıldı. Kullanılan bu değerler için $S = N - Z/A$ asimetri parametresi yerine $\rho_S = (\rho_N - \rho_Z) / (\rho_N + \rho_Z)$ parametresi kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Yapılan bu hesaplamalar sonucu elde edilen yeni değerler Çizelge 4.3'de verilmiştir. Elde edilen bu değerler ile deneysel değerlerin karşılaştırılması yapılamamıştır. Bu değerler teorik olarak kalmış olup ileride yapılacak olan deneysel çalışmalara teorik değerler olarak kaynak teşkil edecektir. Bunun nedeni teorik olarak yapılan bu çalışmanın EXFOR data veri tabanında deneysel değerlerinin bulunamamış olmasıdır.

Çizelge 4.3 14-15 MeV aralığında (n,p) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formüllerinden Tel ve ark.(2003)[2,52] formülleri ile hesaplanması sonucu elde edilen yeni teorik değerler.

R(fm)	Mb	R(fm)	Mb
0	742,45	6,6	741,294
0,3	742,27	6,9	741,372
0,6	741,88	7,2	741,565
0,9	741,35	7,5	741,853
1,2	740,87	7,8	742,184
1,5	740,56	8,1	742,497
1,8	740,48	8,4	742,75
2,1	740,59	8,7	742,93
2,4	740,79	9	743,047
2,7	740,95	9,3	743,12
3	741	9,6	743,163
3,3	740,93	9,9	743,189
3,6	740,8	10,2	743,204
3,9	740,69	10,5	743,213
4,2	740,69	10,8	743,219
4,5	740,81	11,1	743,222
4,8	741,02	11,4	743,224
5,1	741,23	11,7	743,225
5,4	741,37	12	743,226
5,7	741,41		
6	741,375		
6,3	741,313		

Çizelge 4.3'de belirtilen yeni teorik değerlerin kullanılarak oluşturulan grafik şekil 4.2'de belirtilmiştir.



Şekil 4.2, Çizelge 4.3'de verilen değerler kullanılarak oluşturulan grafik

Çizelge 4.4 14-15 MeV aralığında literatürde bulunan bazı (n,α) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formülleri

Yazar	Kütle aralığı	Formül σ (mb)	X ²
Kasugai ve ark.(1995) [1,2]	19 ≤ A ≤ 187	$\sigma_{n,\alpha} = 227.86 \exp[-24.66(N-Z)/A]$	0.647
Ait-Tahar (1987) [1,2]	40 ≤ A ≤ 188	$\sigma_{n,\alpha} = 31.66 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.75(N-Z+1)/A]$	0.758
Habbani ve Osman (2001) [1,2]	26 ≤ A ≤ 238 (çift A)	$\sigma_{n,\alpha} = 3.6 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-25(N-Z-3)/A]$	0.728
Habbani ve Osman (2001) [1,2]	27 ≤ A ≤ 209 (Tek A)	$\sigma_{n,\alpha} = 35 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-37.714(N-Z)/A]$	0.719
Tel ve Ark. I (2008)[1]	20 ≤ A ≤ 239	$\sigma_{n,\alpha} = 16.15 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33.01s]$	0.884
Tel ve Ark. II (2008)[1]	Tek-Z Çift-N	$\sigma_{n,\alpha} = 17.93 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34.04s]$	0.951
	Çift-Z Çift-N	$\sigma_{n,\alpha} = 14.43 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.17s]$	0.795
	Çift-Z Tek-N	$\sigma_{n,\alpha} = 19.41 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-35.97s]$	0.902

Literatürde bulunan ve 14-15 MeV aralığında (n,α) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formüllerinden bazıları Çizelge 7.4'de verilmiştir. Verilen bu çizelgedeki tesir kesit formülleri ile hesaplamalar yapılır, yapılan bu hesaplamalar teoriktir. Yapılan bu hesaplamalar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak yorumlanır. Yapılan bu çalışmada "Toryum Hedef Çekirdeğinin Nükleer reaksiyon Tesir Kesitlerinin Asimetri Bağımlı Skyrme Potansiyeli Kullanarak İncelenmesi" kapsamında hedef çekirdek olarak seçilen ²³²Th seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında (n,2n) ve (n,p) nükleer reaksiyonlarda hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 4.4'de "Tel ve ark. I ve Tel ve ark. II" olarak verilen nükleer reaksiyon tesir kesit formülleri Tel ve ark.(2008) tarafından literatüre kazandırılan tesir kesit formülüdür [1].

Çizelge 4.5 14-15 MeV aralığında (n,2n) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formülleri

Yazar	Kütle aralığı	Formül σ (mb)	X ²
Adam and Jekii (1969) [1,2, 59]	28 ≤ A ≤ 50	$\sigma_{n,2n} = 2050[1-0.061 (A^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6s)]$	0.092
Bychkov ve ark.(1982)[1-3]	45 ≤ A ≤ 238	$\sigma_{n,2n} = \begin{cases} 1000 + 7.5A(7.8s - 0.234) & \text{if } s \leq 0.13 \\ 1000 + 7.5A(0.65s + s) & \text{if } s > 0.13 \end{cases}$	0.145
Habbani ve Osman(2001) [2,60]	Çift A	$\sigma_{n,2n} = 20.82(A^{1/3} + 1)^2 \exp [3.76 (N-Z+1/A)]$	0.130
	Tek A	$\sigma_{n,2n} = 23.53(A^{1/3} + 1)^2 \exp [3.5 (N-Z/A)]$	0.102
Tel ve ark. I (2008) [1]	14 ≤ A ≤ 241	$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.43[1 - 1.71 \exp(-24.99s)]$	0.959
Tel ve ark. II (2008) [1]	Çift A	$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.15[1 - 2.45 \exp(-31.62s)]$	0.921
	Tek A	$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.65[1 - 1.59 \exp(-23.06s)]$	0.981

Çizelge 4.5'de verilen 14-15 MeV aralığında (n,2n) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formüllerinden bazıları verilmiştir. Verilen tablodaki nükleer reaksiyon tesir kesit formülleri 14-15 MeV aralığında geçerlidir [1]. Çizelge 4.5 14-15 MeV aralığında (n,2n) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formüllerinden, Bychkov ve ark (1982) [1-3] ile Tel ve ark.(2008) [1, 2], formülleri bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Kullanılan bu formüllerde asimetri parametresi olarak tanımlanan $S=(N-Z)/A$ ifadesi yerine $\rho_s = \rho_N - \rho_Z / \rho_N + \rho_Z$ parametresi kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Yapılan bu hesaplamalar Tel ve ark.(2003.2008) formülü ve Bychkov ve ark (1982) [1-3], formüllerinde uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda Tel ve ark. (2003.2008) [1,2] formülünde olduğu gibi, uyumluluk içerisinde olduğu deneysel değerler ile karşılaştırılarak saptanmaya çalışılmıştır. Deneysel değerler olarak EXFOR data deneysel veri değerleri kullanılmıştır [54,55]. Tel ve ark. (2008) [1] tarafından literatüre kazandırılmış olan, Çift A için geçerli olan formülde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.6'da belirtilmiştir. Çizelge 4.6'da belirtilen ifadeler için SKa parametresi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6, Çizelge 4.5'de belirtilen Tel ve Ark (2008) [1] formülü ile hesaplama sonucu elde edilen değerler.

R(Fm)	TESİR KESİT (Mb)	R(Fm)	TESİR KESİT (Mb)
0	132.2743	6.9	1644.183
0.3	282.916	7.2	1670.198
0.6	764.2335	7.5	1680.58
0.9	1292.015	7.8	1684.241
1.2	1529.674	8.1	1685.387
1.5	1603.131	8.4	1685.704
1.8	1617.629	8.7	1685.783
2.1	1602.559	9.0	1685.802
2.4	1562.511	9.3	1685.806
2.7	1512.616	9.6	1685.807
3.0	1489.675	9.9	1685.807
3.3	1509.814	10.2	1685.808
3.6	1546.365	10.5	1685.808
3.9	1570.075	10.8	1685.808
4.2	1569.204	11.1	1685.808
4.5	1536.472	11.4	1685.808
4.8	1462.368	11.7	1685.808
5.1	1355.989	12.0	1685.808
5.4	1272.641	12.3	1685.808
5.7	1276.511	12.6	1685.808
6.0	1368.936	12.9	1685.808
6.3	1491.43	13.2	1685.808
6.6	1588.302	13.5	1685.808

Çizelge 4.3 14-15 MeV aralığında (n,p) nükleer reaksiyonların da kullanılan tesir kesit formüllerinden Tel ve Ark (2003.2008) [2], formülleri ile hesaplanması sonucu elde edilen yeni teorik değerler

14-15 MeV aralığında (n,2n) nükleer reaksiyonların da kullanılan ve Çizelge4.5'de belirtilmekte olan bu nükleer reaksiyon tesir kesit formülleri için uygulanan bu yeni $S = \rho_N - \rho_Z / \rho_N + \rho_Z$ parametrenin uyumlu olduğu görülmüştür. Literatürde mevcut olan Tel ve ark. (2003.2008) [1,2] formülü için SKa parametresi kullanılarak oluşturulan nötron ve proton yoğunlukları kullanıldığında ve $(S = \rho_N - \rho_Z / \rho_N + \rho_Z)$ hesaplama sonucu ortaya çıkan değerler ve bu değerlerin deneysel değerler ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu durum literatürde mevcut olan Tel ve ark. (2003.2008) [1,2] formüllerinin SKa parametre değerleri oluşturularak yapılan hesaplamaların Tel ve Ark. (2003.2008) [1,2] nükleer reaksiyon tesir kesit formülünde geçerli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.7'de belirtilen değerler ise Çizelge 4.5'de Tel ve ark.I formülü ile belirtilen formül ile hesaplanması sonucu elde edilen değerlerdir. Bu hesaplamada kullanılan

parametre SKa parametresidir. Hedef çekirdek olarak ^{232}Th seçilmiş olmasından ve A sayısının çift değerlikli olması itibari ile Çizelge 4.5'de belirtilen Telve ark. II (2008) formülü [1,12] ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen yeni değerler, Çizelge 4.7'de belirtilmiştir. Çizelge 4.7'de belirtilmiş olan bu değerler teorik hesaplamalar sonucu elde edilen değerlerdir.

Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.5'de belirtilen Tel ve ark. II (2008)[1] formülü kullanılarak hesaplanması sonucu elde edilen sonuçlar.

R(Fm)	Tesir kesit değeri (mb)	R(Fm)	Tesir kesit değeri (mb)
0	128,9539	6,6	1249,124
0,3	295,3033	6,9	1265,725
0,6	755,8117	7,2	1271,701
0,9	1117,092	7,5	1273,506
1,2	1228,094	7,8	1273,975
1,5	1253,91	8,1	1274,081
1,8	1258,343	8,4	1274,102
2,1	1253,73	8,7	1274,105
2,4	1240,261	9	1274,106
2,7	1221,419	9,3	1274,106
3	1212,088	9,6	1274,106
3,3	1220,301	9,9	1274,106
3,6	1234,395	10,2	1274,106
3,9	1242,927	10,5	1274,106
4,2	1242,623	10,8	1274,106
4,5	1230,689	11,1	1274,106
4,8	1200,477	11,4	1274,106
5,1	1150,497	11,7	1274,106
5,4	1106,507	12	1274,106
5,7	1108,638	12,3	1274,106
6	1156,961	12,6	1274,106
6,3	1212,816	12,9	1274,106
		13,2	1274,106
		13,5	1274,106

Çizelge 4.7'de verilen yeni tesir kesit değerleri EXFOR data verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sırasında kullanılan EXFOR data verileri de belirtilmiştir[54]. Yapılan hesaplamalar sonucunda değerlerin uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durum göstermektedir ki yapılmış olan analiz sonuçlarının deneysel değerler ile uyumlu olduğudur. Çalışmaların (Teorik olarak yapılan hesaplamaların) sonuçları, deneysel olarak yapılan çalışmaların sonuçları ile uyumludur. Çalışmalar esnasında kullanılan diğer bir nükleer reaksiyon tesir kesit formülü olan Bychkov ve ark. (1982) [1-3] formülü kullanılmıştır. Bu nükleer reaksiyon tesir kesit formülü için ise $(n,2n)$ nükleer reaksiyonları seçilmiştir. Bu seçim esnasında kullanılan tesir kesit formülü Çizelge 4.5'de belirtilmiş olan Bychkov ve ark. (1982) [1-3] formülüdür. Bu formülün kullanılması sonucunda elde edilen yeni değerler Çizelge 4.8'de belirtilmiştir. Belirtilen bu değerler için kullanılan parametrede SKa parametresidir.

Çizelge 4.8 Bychkov (1982) [1-3] ve arkadaşları tarafından oluşturulan (n,2n) nükleer reaksiyonlarında kullanılan tesir kesit formülü sonucunda elde edilen yeni değerler

R(Fm)	Tesir kesiti (mb)	R(Fm)	Tesir kesiti (mb)
0	1000,76	6,6	1000,69
0,3	1000,78	6,9	1000,59
0,6	1000,81	7,2	1000,48
0,9	1000,86	7,5	1000,36
1,2	1000,9	7,8	1000,25
1,5	1000,93	8,1	1000,16
1,8	1000,93	8,4	1000,1
2,1	1000,92	8,7	1000,06
2,4	1000,9	9	1000,03
2,7	1000,89	9,3	1000,02
3	1000,89	9,6	1000,01
3,3	1000,9	9,9	1000,01
3,6	1000,91	10,2	1000
3,9	1000,92	10,5	1000
4,2	1000,93	10,8	1000
4,5	1000,92	11,1	1000
4,8	1000,9	11,4	1000
5,1	1000,88	11,7	1000
5,4	1000,86	12	1000
5,7	1000,84	12,3	1000
6	1000,81	12,6	1000
6,3	1000,76	12,9	1000
		13,2	1000
		13,5	1000

Çizelge 4.8 Bychkov ve arkadaşları (1982) [1-3] tarafından oluşturulan (n,2n) nükleer reaksiyonlarında kullanılan tesir kesit formülü sonucunda elde edilen yeni değerler ile EXFOR data deneysel verileri karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucunda elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu tez kapsamında hedef çekirdek olarak ^{232}Th seçilmiştir. Bu hedef çekirdek için (n,p) ve (n,2n) nükleer reaksiyonlarında SKa parametresi kullanılarak elde edilen değerlerin, belirtilmiş olan nükleer reaksiyonlarda kullanılan asimetri parametresi yerine SKa parametresi ile elde edilen yoğunluk değerleri kullanılarak yeni değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler sonucunda ve belirtilen nükleer reaksiyonlarda kullanılan asimetri parametresi için $S=N-Z/A$ ifadesi yerine SKa parametresi ile elde edilen yoğunluk değerleri kullanılmıştır. Bu yoğunluk değerleri için $\rho S = \rho_N - \rho_Z / \rho_N + \rho_Z$ ifadesi kullanılarak elde edilen değerler kullanılmıştır. Kullanılan bu yeni ifadeye elde edilen yeni değerlerin ise EXFOR data deneysel

verileri ile uyumluluk gösterdiği yapılan hesaplama ve analizler sonucunda görülmüştür. Bu durumda Tel ve arkadaşları (2003.2008) formüllerinin ($n, 2n$ ve n, p nükleer reaksiyonlarında) uyumlu olduğu görülmüştür. Buna ek olarak $n, 2n$ nükleer reaksiyonlarında Bycdikov (1982) [3] ve arkadaşlarının oluşturarak literatüre kazandırdığı tesir kesit formülünün yapılan yeni hesaplama yöntemi ile yada diğer bir ifade ile $\rho_S = \rho_N - \rho_Z / \rho_N + \rho_Z$ kullanılan yoğunluk değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen yeni değerler yukarıda Çizelgeler halinde verilmiştir. (Çizelge 4.8, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.6) bu verilen Çizelgelerde ($n, 2n$) nükleer reaksiyonlarında tesir kesit değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken Çizelge 7.8'de Bychkov (1982) [3] formülü Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.6'da Tel ve ark. (2003.2008) [3] formülleri kullanılmıştır. Bu kullanılan formüllerde ise "S" asimetri parametresi olarak ($N-Z/A$ ifadesi) yerine SKa Skyrme parametresi ile elde edilen yoğunluk değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan bu hesaplamalar da kullanılan değerler için belirtilmiş olan SKa parametre değerleri Çizelge 3.4'de belirtilmiştir. Yukarıda sırasıyla belirtilen bu değerleri tek bir Çizelgede gösterilirse, bu gösterilen Çizelge 4.9'da ki gibi olur. Çizelge 4.9'da belirtilen bu değerler bu tez kapsamında hesaplaması yapılan hedef çekirdek Toryum (^{232}Th) için hesaplanan değerlerdir. Elde edilmiş olan bu değerler bu çalışma kapsamında hesaplanarak elde edilerek literatüre kazandırılmıştır.

R (Fm)	Proton(SKa) Yoğunluk	Nötron(SKa) Yoğunluk	(n,p) Tel ve Ark. çift A (2003) [2,52]	(n,2n) Tel ve Ark. çift A (2008)[1]	(n,2n) Tel ve Ark. $14 \leq A \leq 241$ (2008) [1]	(n,2n) Bychkov ve ark. $45 \leq A \leq 238$ (1982) [1-3, 60]
0	0,066336	0,075459	742,45	132.2743	128,9539	1000,76
0,3	0,065673	0,076868	742,27	282.916	295,3033	1000,78
0,6	0,063421	0,079274	741,88	764.2335	755,8117	1000,81
0,9	0,060329	0,082412	741,35	1292.015	1117,092	1000,86
1,2	0,057342	0,085123	740,87	1529.674	1228,094	1000,9
1,5	0,055213	0,086608	740,56	1603.131	1253,91	1000,93
1,8	0,054328	0,086649	740,48	1617.629	1258,343	1000,93
2,1	0,054631	0,085644	740,59	1602.559	1253,73	1000,92
2,4	0,055679	0,084371	740,79	1562.511	1240,261	1000,9
2,7	0,056835	0,083608	740,95	1512.616	1221,419	1000,89
3	0,057562	0,083756	741	1489.675	1212,088	1000,89
3,3	0,057653	0,084692	740,93	1509.814	1220,301	1000,9
3,6	0,057295	0,085896	740,8	1546.365	1234,395	1000,91
3,9	0,056944	0,086763	740,69	1570.075	1242,927	1000,92
4,2	0,057073	0,086903	740,69	1569.204	1242,623	1000,93
4,5	0,057904	0,086292	740,81	1536.472	1230,689	1000,92
4,8	0,059232	0,085197	741,02	1462.368	1200,477	1000,9
5,1	0,06042	0,083906	741,23	1355.989	1150,497	1000,88
5,4	0,060616	0,08243	741,37	1272.641	1106,507	1000,86
5,7	0,059053	0,080376	741,41	1276.511	1108,638	1000,84
6	0,055292	0,077067	741,375	1368.936	1156,961	1000,81
6,3	0,049328	0,071832	741,313	1491.43	1212,816	1000,76
6,6	0,041585	0,064308	741,294	1588.302	1249,124	1000,69
6,9	0,032836	0,054649	741,372	1644.183	1265,725	1000,59
7,2	0,024051	0,043593	741,565	1670.198	1271,701	1000,48
7,5	0,016188	0,032337	741,853	1680.58	1273,506	1000,36
7,8	0,009951	0,022204	742,184	1684.241	1273,975	1000,25
8,1	0,005597	0,014169	742,497	1685.387	1274,081	1000,16
8,4	0,002918	0,008522	742,75	1685.704	1274,102	1000,1
8,7	0,001441	0,004932	742,93	1685.783	1274,105	1000,06
9	0,000689	0,002801	743,047	1685.802	1274,106	1000,03
9,3	0,000325	0,001584	743,12	1685.806	1274,106	1000,02
9,6	0,000153	0,0009	743,163	1685.807	1274,106	1000,01
9,9	7,23E-05	0,000515	743,189	1685.807	1274,106	1000,01
10,2	3,44E-05	0,000298	743,204	1685.808	1274,106	1000
10,5	1,65E-05	0,000174	743,213	1685.808	1274,106	1000
10,8	8,01E-06	0,000103	743,219	1685.808	1274,106	1000
11,1	3,92E-06	6,07E-05	743,222	1685.808	1274,106	1000
11,4	1,93E-06	3,6E-05	743,224	1685.808	1274,106	1000
11,7	9,55E-07	2,13E-05	743,225	1685.808	1274,106	1000
12	4,72E-07	1,24E-05	743,226	1685.808	1274,106	1000

Çizelge 4.10 (n.2n) nükleer reaksiyonlarında Exfor data deneysel verileri

Ene, MeV	$\pm\Delta E$ (Mev)	σ ,(mb)	$\pm\Delta\sigma$,mb	KAYNAKLAR
14.0	0.1	1330	266	54
14.31	0.04	1235	118	55
14.5	0.1	1400	280	54
14.79	0.095	1049	99	55



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu Çalışmada , "Toryum Hedef Çekirdeğinin Nükleer reaksiyon Tesir Kesitlerinin Asimetri Bağımlı Skyrme Potansiyeli Kullanarak İncelenmesi" yapılmıştır. Yapılan çalışmada hedef çekirdek olarak ^{232}Th seçilmiştir. Seçilen ^{232}Th hedef çekirdeği Skyrme Hartree Fock yöntemi ve SKa parametresi kullanılarak hesaplanması yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında Hedef çekirdek ^{232}Th için yapılan hesaplamalar literatürde daha önceden var olan tesir kesit formülleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. literatür taraması sonucu literatürde mevcut olan bazı nükleer reaksiyon tesir kesit formülleri belirtilmiştir. Bunlar Tel ve ark., (2003.2008), The Chatterjee ve Chatterjee, 1969; Levoski 1973; Bychkov ve ark.1982; Ait-Tahir, 1987; Kombab ve Fukuda 1987; Ikeda ve ark.1988; ve Pashchevko 1991; Goyal 2009; Kasugai 1996

Literatür Taraması sonucu seçilmiş olan Nükleer reaksiyon tesir kesit formülleri, belirlenen (n,2n) ve (n,p) nükleer reaksiyonları için hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar EXFOR veri tabanındaki deneysel olarak gerçekleştirilen nükleer reaksiyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplamalarda bulunan değerler Hesaplama Yönteminde ifade edilmiştir. Hesaplama ve analizler sırasında elde edilen değerler ve bu değerleri elde ederken kullanılan reaksiyon tesir kesit formülleri belirtilmiştir. Bu belirtilen reaksiyon tesir kesit formüllerinde asimetri parametresi $S = N-Z/A$ alınmaktadır. Çalışma için seçilmiş olan hedef çekirdeğin literatürde belirtilen $S = N-Z/A$ almak yerine $S = \rho_N - \rho_Z / \rho_N + \rho_Z$ alınarak tekrardan hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda çıkan değerler Hesaplama Yöntemi bölümünde belirtilmiş ve SKa parametresi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yapılan hesaplamaların Tel ve ark. (2003.2008) [1,2] deneysel değerler ile uyumlu olduğu görülmüştür. Çizelge 4.10'daki deneysel değerler ile Çizelge 4.9'daki hesaplanan teorik değerlerin uyumlu olduğu görülmüştür. Bu tez kapsamında Nükleer reaksiyonlardan (n,p) ve (n,2n) nükleer reaksiyonlarında hedef çekirdek olarak seçilen ^{232}Th için hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmada Tel ve ark.(2003.2008) [1,2] ile Bychkov (1982) [3] tesir kesit formülleri kullanılmıştır. Seçilen hedef çekirdek ^{232}Th için EXFOR data da deneysel sonuç (n,p) nükleer reaksiyonları için mevcut değildir. EXFOR data verilerinde (n,2n) nükleer

reaksiyonları için deneysel sonuçlar bulunduğu için yapılan teorik hesaplamalar deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldı. Karşılaştırılması yapılan bu değerlerde SKa parametresi ile hesaplanan yoğunluk değerleri kullanıldı. Bu analiz işlemleri sırasında 14.5 MeV civarında ve $r=4.8$ fm civarında yapıldı. EXFOR Data verilerinde (n,2n) için 1400 ± 280 mb deneysel sonuç [54] ile teorik olarak çıkan 1462.368 mb ($r=4.8$ mb) karşılaştırıldı.(n,2n) nükleer reaksiyonlarında kullanılan Tel ve ark.(2003.2008) [1,2] formülü deneysel sonuçlar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. (n,2n) nükleer reaksiyonlarda kullanılan diğer tesir kesit formüllerinden birisi olan Bychkov (1982) [3] tesir kesit formülü ile değerler hesaplandığında, deneysel değerler ile karşılaştırıldığında sonuçların düşük kaldığı görülmüştür.



KAYNAKLAR

- [1] "Tel E., OKUDUCU Ş., BÖLÜKDEMİR M., TANIR G., "Semi-Empirical Systematics Of (n,2n),(n,a) Reactions Cross Sections At 14-15 MeV Neutron Energy" International journal Of Modern Physics E Vol. 17, No.1 (2008)1-17
- [2] Tel, E., Ünlütürk, F., Arasoğlu, A., Bölükdemir, H., Tanır, G., "Yeni Geliştirilmiş Deneysel formüller Kullanarak 14-15 MeV'lik Nötronların Çekirdek Reaksiyonları için Çiftlenim Etkisinin İncelenmesi",Anadolu University Journal of Science and Technology, 8(1),255-261 (2007)
- [3] V. M. Bychkov, V. N. Manokhin, A. B. Pashchenkov and V. I. Plyaskin, Handbook of Cross Sections for Neutron Induced Threshold Reactions(Energoizdat, Moskva 1982).
- [4] "Türkiye Atom Enerjisi Kurumu",Erişim adresi:<http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/172-nukleer-yakit-cevrimi/471-Toryum.html> Erişim Tarihi: 16.10.2015
- [5] "wikipedia", Erişim adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0skandinav_tanr%C4%B1lar%C4%B1_listesiErişim Tarihi: 16.10.2015
- [6] "Fen okulu" Erişim adresi: http://www.fenokulu.net/ziplidosya33/tamolculuperiyodik_cetvel.jpg Erişim Tarihi: 22.08.2016
- [7] Ertuğrul E., Bor ve Toryum madenler sektörü, Türkiye Kalkınma Bankası, Ankara, Mart 2004

T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yayın No: DPT :

- [8] 2429 . ÖİK: 487 Ankara 1996
- [9] “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı”, Erişim adresi: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Uranyum-ve-Toryum> Erişim Tarihi: 18.10.2015
- [10] “Türkiye Atom Enerjisi Kurumu”, Erişim adresi: <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/resimler/hmk002.jpg>, Erişim Tarihi: 29.11.2015
- [11] " Tarih Mektebi " , Erişim adresi : <http://tarihmektebi.blogspot.com/2013/02/buyuk-boy-turkiye-madenleri-harita-indir.html?m=1> , Erişim Tarihi: 30.07.2016
- [12] “Targetmap”, Erişim adresi: https://www.targetmap.com/ThumbnailsReports/40233_THUMB_IP_AD.jpg , Erişim Tarihi: 29.11.2015
- [13] “wikipedia”, Erişim adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Uluslararası_Atom_Enerjisi_Kurumu Erişim tarihi 15.11.2015
- [14] “Maden Tetkik ve Arama Genel Müd. Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı”, Erişim adresi: <http://www.mta.gov.tr/v2.0/madenler/mineraller/index.php?id=monazit> Erişim Tarihi: 15.11.2015
- [15] Yüksel, F., A., Kanlı, A., İ., Jeofizik Yöntemlerle Uranyum ve Toryum Aramaları, 1. Ulusal Nükleer yakıt teknolojisi Sempozyumu, 49-58, İstanbul-Türkiye, 3-5 Eylül 1997
- [16] Nükleer Enerji Ham Maddeleri Uranyum Toryum T.C. Başbakanlık Devlet

Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yayın No: DPT:2429-ÖİK:487, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 1-20, (1996)

- [17] Endüstriyel Ham Maddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri Cilt III (Nadir Toprak Elementleri -Kıymetli Ve Yarı Kıymetli Taşlar) Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 2000
- [18] Gleisberg, B., Ly, B.M., Gorski, B., “Investigation of the Separation of Np, Pa, U, Th and REE in Geological Samples”, J. Radioanal. Nuc. Chem. 147(1), 95-107, 1991
- [19] Hiçsönmez, Ü., Eral, M., “Th(IV)’ün Ce (IV) ve U(IV) İçeren Çözeltilerden Topo Yüklü Silikajelde Ayrımının İncelenmesi”, 1. Ulusal Nükleer Yakıt Teknolojisi Sempozyumu, 49-58, İstanbul-Türkiye, 3-5 Eylül 1997
- [20] Akar, A., Özmerih, L., Toryum, Madencilik, 13(1), 27-34, 1974-Ocak
- [21] “Tanrının bahçesi”, Erişim adresi: <http://tanrınınbahçesi.blogspot.com.tr/2008/01/v-Toryumun-kullanım- Alanları.html> Erişim tarihi 15.11.2015
- [22] Wikipediada”, Erişim adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Amerika_Birle%C5%9Fik_Devletleri_d evlet_ba%C5%9Fkanlar%C4%B1_listesi, Erişim Tarihi: 06.12.2015
- [23] “Nükleer Teknolojiler Bilgi Platformu”, Erişim adresi: <http://www.nukte.org/node/281> Erişim Tarihi: 06.12.2015
- [24] “ThoriumPower”, Erişim adresi: <http://www.thoriumpowercanada.com/dbi-tpc-partnership/the-dbi-thorium-reactor/>, Erişim tarihi: 06.12.2015

- [25] Sultansoy, S., "Parçacık Hızlandırıcıları, Toryum ve Türkiye'nin Enerji Problemi",Ulusal Proton Hızlandırıcıları Çalıştayı, 20-21,Türkiye, 18-19 Nisan 2013
- [26] Sultansoy, S., "Parçacık Hızlandırıcıları, Toryum ve Türkiye'nin Enerji Problemi",Ulusal Proton Hızlandırıcıları Çalıştayı, 20-21,Türkiye, 18-19 Nisan 2013
- [27] Baktabul.net",Erişim adresi:<http://www.baktabul.net/kimya/21639-nukleer-reaksiyon-ve-radyoaktivite.html>, Erişim Tarihi: 26.10.2015
- [28] Tel, E.,Study on Some Structural Fusion Materials For (n,p) Reactions Up To 30 MeV, J. Fussion Energy,29(4),332-336,2010
- [29] Gökçe, A., A.,Alfalarla Oluşturulan Ve Alfa Yayımlayan Nükleer Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Ve Uygulama Alanlarının Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,Adana,2013
- [30] "Türkçe Bilgi.com", Erişim adresi: http://www.turkcebilgi.com/enerjinin_korunumu_yasas%C4%B1, Erişim Tarihi:08.11.2015
- [31] "wikimedia.org" Erişim adresi: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/50/CNO_Cycle-TR.svg/400px-CNO_Cycle-TR.svg.png , Erişim tarihi 08.11.2015
- [32] tutorvista", Erişim adresi:<http://images.tutorvista.com/cms/images/38/elastic-scattering.png>, Erişim Tarihi 20.12.2015
- [33] "tutorvista" <http://images.tutorvista.com/cms/images/38/inelastic-scattering.png> Erişim tarihi: 20.12.2015

- [34] Skyrme T H R., the Nuclear Surface. Phil. Mag. 1: 1043-1054, (1956).
- [35] E. Tel, S., Okuducu G. Tanır, N.N. Aktı, M.H. Bölükdemir, Calculation Of Radii And Density of $^{7-19}$ B Isotopes Using Effective Skyrme Force Commun. Theor. Phys. (Beijing, China) , Vol. 49, No. 3, March 15, 2008
- [36] Stone J R and Reinhard P-G.,TheSkyrme Interaction In Finite Nuclei And Nuclear Matter. Prog. Part. Nucl. Phys., 58:587-657, (2007).
- [37] Efil, A., "Hızlandırıcı Güdümlü Sistemlerde Nükleer Enerji Üretimi İçin Kullanılan Reaksiyonların Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, 69S., 2010- Haziran
- [38] Vauthering D and Brink D M., Hartree-Fock Calculations With Skyrme's Interaction. I. Spherical Nuclei. Phys. Rev. C, 5(3): 626-647, (1972).
- [39] Brack M, Guet C and Hakansson H B., Selfconsistent Smiclassical Description Of Average Nuclear Properties- A Link Between Microscopic And Macroscopic Models. Phys. Rep. 123 (5): 275-364, (1986).
- [40] Chabanat E, Bonche P, Haensel P, Meyer J and Schaeffer R., A Skyrme Parametrization From Subnuclear To Neutron Star Densities Part II. Nuclei Far From Stabilities. Nucl. Phys. A 635: 231-256, (1998)
- [41] Baldık R, Skyrme Etkileşmesi Kullanılarak Bazı Egzotik Çekirdeklerin Taban Durum Özelliklerinin incelenmesi, Doktora Lisans tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana bilim dalı, Zonguldak, 9-11 s., 2009
- [42] Köksal F., Köseoğlu R., Fenciler İçin Kuantum Mekaniği, Nobel Yayın dağıtım, Ankara, Kasım-2010
- [43] Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji işleri Genel Müdürlüğü", Erişim

adresi:<http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Toryum-Calismalari> Erişim
Tarihi : 29.11.2015

- [44] E.Tel, İ.Demirkol, A. Arasoğluand B. şarer, “Pre-Equilibrium Emission in Differential Cross-Section Calculations and Analysis of Experimental Data for ^{232}Th ”, *Modern Physics Letters A*, Vol. 19, No. 21, 1597–1614, (2004)
- [45] B.Sarer, M.Günay, A.Aydın, E.Tel, A.Arasoğlu "Calculations of Proton İnduced Neutron Production Cross Sections On ^{232}Th upto1.6GeV.",*Nuclear Science and Engineering* 153, 192-199,(2006)
- [46] Büyükuslu, H., Kaplan, A., Tel, E., Aydın, A., Yıldırım, G., Bölükdemir, H., “Theoretical Cross- Sections of ^{209}Bi , ^{232}Th , ^{235}U and ^{238}U on Deuteron Induced Reactions”, *Ann. Nucl. Energy*, 37, 534-539, (2010)
- [47] Mansour, H., M., M., Metawei, Z., Asymmetric Nuclear Matter and Skyrme Potential.,*Science Echoes*,6, 33-43(2006)
- [48] H. M. Muller, S. E.Koonin, R. Seki and O. Van kolck, *Phys. Rev. C* 61 (2000) 044320.
- [49] M. Abd-Alla and S. A. Hager, *Phys. Rev. C* (2000) 044313-1.
- [50] W. Slocker, *Phys. Lett B* 46, No.1, (1973) 59.
- [51] SKYRME-HARTREE-FOCK bilgisayar programı ile hesaplanmıştır.
- [52] Tel E.,şarer B., Okuducuş., AydınA., Tanır G.,"A New Empirical Formula For 14–15 MeV Neutron-Induced (n, p) Reaction Cross Sections", *Journal Of Physics G: Nuclear And Particle Physics*, 29 (2003) 2169–2177
- [53] Kumabe I and Fukuda K J 1987 *Nucl. Sci. Tech.* **24** 83

- [54] H.A.Tewes, A.A.Caretto, A.E.Miller, D.R. Nethaway, Excitation functions of neutron-induced reactions U.C., Lawrence Rad.Lab. (Berkeley and Livermore) No.6028, p.T,1960
- [55] H.Karius, A.Ackermann, W.Scobel, The Pre-Equilibrium Contribution To The (N,2N), Jour. of Physics, Part G (Nucl.andPart.Phys.) Vol.5, Issue.5, p.715,1979
- [56] Levkovskii, V. N. (1974). Systematic for the cross sections of the reactions at 14.5 MeV neutrons. Soviet Journal of Physics 18, 361
- [57] Badikov S A and Pashchenko A B 1991 Comparative analysis of (n, p) reaction cross section systematics for 14–15 MeV neutrons INDC (CCP) 325, International Atomic Energy Agency
- [58] Konno C., Ikeda Y., Osihi K., Kawede K., Yamomoto H. and Maekawa H., JAERI- 1329, Japan Atomic Energy Research Institute (1993)
- [59] A. Adam and L. Jeki, Acta Phys. Acad. Sci. Hung. 26 (1969) 335.
- [60] Habbani , F. I. and Osman, K. T. (2001). Systematics for the cross sections of the reactions (n,p), (n, α) and (n,2n) at 14.5 MeV neutrons. Applied Radiation Isotope 54, 283.

ÖZGEÇMİŞ

1-ADI SOYADI : Hasancan ALKANLI

2- DOĞUM TARİHİ : 20/03/1991

3- ÜNVANI : Öğretmen

4- ÖĞRENİM DURUMU : Lisans Mezunu

Derece	BÖLÜM/PROGRAM	ÜNİVERSİTE	BİTİRME YILI
LİSANS	FİZİK	OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ	2013
YÜKSEK LİSANS	FİZİK	OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ	2016

5- İŞ TECRÜBESİ

GÖREV ÜNVANI	GÖREV YERİ	YIL
ÖĞRETMEN	OSMANİYE MEHMET AKİF ORTAOKULU	2016

6- Yayınlar:Ulusal Ve Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler.

* DEPEDELEN M., TEL E., ALKANLI H., GÖK A. A., ELALDILAR M., "Investigation Of Reactions Cross-Sections For Target Halo Nuclei Using New Evaluated Semi- Empirical Formula", Poster sunumu (TESNAT 2015)

*ALKANLI H., TEL E., UĞUR F. A., "Unsealed Sources Used in Radiotherapy" , Poster sunumu (TESNAT 2015)

* TEL E., ALKANLI H., SARPÜN İ. H., "Thorium Target Cross Sections Using Skyrme Nuclear Force with SKa Parameter", Sözlü anlatım (TESNAT 2016)

7- Projeler:

* Tubitak 4007 Bilim Şenlikleri Destekleme programı Kasım 2014, Proje No: 115B467, "16/17/30/31 MAYIS 2015,6 Haziran 2015 tarihinde Osmaniye İli TOPRAKKALE İlçesi DAĞISTAN ILKOKULU Bahçesinde TUBİTAK İLE BİLİMİ TANIYARAK GELECEĞE YÜRÜYORUM" İsimli projede Fizik Atölyesinde görev aldım.

