



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**ALFALARLA OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN TESİR
KESİTLERİNİN NÜKLEER MODELLERLE HESAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nur Betül YİĞİT

DANIŞMAN

Doç. Dr. Engin ATEŞER

AKSARAY, 2019

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 142310410 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Nur Betül YİĞİT tarafından hazırlanan "ALFALARLA OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN TESİR KESİTLERİNİN NÜKLEER MODELLERLE HESAPLANMASI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Engin ATEŞER

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. Sezgin AYDIN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin KORKMAZ

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 24/04/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

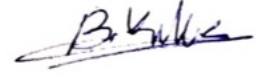
DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Nur Betül YİĞİT



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını hazırlamamda her türlü desteğini esirgemeyen, bana daima yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Engin ATEŞER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmanın incelenmesinde değerli katkılarını esirgemeyen, her zor zamanımda yanımda olarak manevi desteğini hep hissettiren sevgili eşim Doç. Dr. Mustafa YİĞİT'e yürekten teşekkür ederim. Ayrıca çalışmam boyunca desteğini her an hissettiğim ve varlığından güç aldığım annem Miyase KILIÇ ve babam Celalettin KILIÇ'a minnetlerimi sunarım.

Nur Betül YİĞİT
AKSARAY, 2019

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. NÜKLEER REAKSİYONLAR	4
2.1 Nükleer Reaksiyonların Türleri	5
2.2 Alfa Parçacık Etkileşmeleri	6
2.2.1 Alfa-Proton reaksiyonları	8
2.2.2 Alfa-Nötron reaksiyonları	9
3. NÜKLEER REAKSİYON TESİR KESİTİ	12
3.1 Toplam Tesir Kesiti	12
3.2 Diferansiyel Tesir Kesiti	15
3.3 Çift Diferansiyel Tesir Kesiti	17
4. MALZEME VE YÖNTEM	19
4.1 Denge (Bileşik) Reaksiyonları	19
4.1.1 Hauser-Feshbach model	19
4.1.2 Weisskopf-Ewing model	21
4.2 Denge-Öncesi Reaksiyonlar	22
4.2.1 Eksiton model	22
4.2.2 Geometri bağımlı hibrit model	24
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	26
5.1 $^{51}\text{V}(\alpha, 3n)^{52}\text{Mn}$ Reaksiyonu	26
5.2 $^{50}\text{Cr}(\alpha, n\alpha)^{49}\text{Cr}$ Reaksiyonu	27
5.3 $^{52}\text{Cr}(\alpha, np)^{54}\text{Mn}$ Reaksiyonu	28
5.4 $^{53}\text{Cr}(\alpha, p)^{56}\text{Mn}$ Reaksiyonu	29
5.5 $^{55}\text{Mn}(\alpha, 3n)^{56}\text{Co}$ Reaksiyonu	30
5.6 $^{54}\text{Fe}(\alpha, p)^{57}\text{Co}$ Reaksiyon	31
5.7 $^{59}\text{Co}(\alpha, n)^{62}\text{Cu}$ Reaksiyonu	32
5.8 $^{59}\text{Co}(\alpha, n\alpha)^{58}\text{Co}$ Reaksiyonu	33
5.9 $^{59}\text{Co}(\alpha, 2p)^{61}\text{Co}$ Reaksiyonu	34
5.10 $^{58}\text{Ni}(\alpha, p)^{61}\text{Cu}$ Reaksiyonu	35
5.11 $^{60}\text{Ni}(\alpha, n)^{63}\text{Zn}$ Reaksiyonu	36
5.12 $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)^{66}\text{Ga}$ Reaksiyonu	37
5.13 $^{63}\text{Cu}(\alpha, 2n)^{65}\text{Ga}$ Reaksiyonu	38
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	46

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALFALARLA OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN TESİR KESİTLERİNİN NÜKLEER MODELLERLE HESAPLANMASI

Nur Betül YİĞİT

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Engin ATEŞER

ÖZET

Füzyon reaktör malzemelerinin üzerine alfalarla oluşturulan reaksiyonlar için tesir kesiti hesaplamaları reaktör teknolojisinin gelişmesi açısından oldukça önemlidir. Özellikle, tesir kesitlerinin maksimum olduğu enerji bölgelerindeki verileri hesaplamak ve ölçmek uyarılma fonksiyonunun karakteristiğini tanımlamakta fayda sağlar. Bu tez çalışmasında, bazı reaktör malzemeleri üzerine alfalarla oluşturulan reaksiyonların tesir kesitlerini belirlemek için nükleer model hesaplaması yapılmıştır. Bu hesaplamalarda, ALICE/ASH ve TALYS 1.9 nükleer reaksiyon kodları kullanılmıştır. Geometri bağımlı hibrit model ve İki bileşenli eksiton model denge-öncesi hesaplamalar için kullanılmıştır. Denge hesaplamalarında ise Weisskopf-Ewing ve Hauser-Feshbach modeller tesir kesitlerini belirlemek için seçilmiştir. Tüm bu hesaplamalardan elde edilen tesir kesitleri mevcut deneysel verilerle karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alfa reaksiyonları, tesir kesitleri, TALYS 1.9 kodu

Nisan, 2019; 46 sayfa

M.Sc. THESIS

**NUCLEAR MODEL CALCULATIONS OF CROSS SECTIONS OF ALPHAS-
INDUCED REACTIONS**

Nur Betül YİĞİT

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Engin ATEŞER

ABSTRACT

Cross section calculations for alpha-induced reactions on fusion reactor materials are very important for the development of reactor technology. In particular, the calculation and measurements of the data in the energy regions with the maximum cross sections are important to define the characteristic of the excitation function. In this thesis, nuclear model calculations were made to obtain cross sections of reactions induced by alphas on some reactor materials. ALICE/ASH and TALYS 1.9 nuclear reaction codes were used in these calculations. The geometry dependent hybrid model and the two component exciton model were used at pre-equilibrium calculations. The equilibrium calculations for obtaining cross sections were made using Weisskopf-Ewing and Hauser-Feshbach models. The cross sections obtained from all these calculations were compared with the available experimental data and the results were discussed.

Keywords: Alpha reactions, cross sections, TALYS 1.9 code

April, 2019; 46 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	P. M. Blackett'in klasik fotoğrafının şeması. Kalın çizgi yok olmadan önce (soğurulmadan) alfanın izini, ince çizgi yayınlanan protonun izini ve daha koyu çizgi ise geri tepen ürün çekirdeğin izini gösterir	9
Şekil 3.1.	Gelen parçacık ile hedef çekirdeğin etkileşmesine ait parametreler	12
Şekil 3.2.	Birim hacimde N tane atom içeren hedef malzemeye (N atom/cm ³) gelen φ_0 akısı, x (cm) kalınlığını geçtikten sonra azalarak $\varphi(x)$ olur...	13
Şekil 3.3.	Nükleer reaksiyonun tesir kesitinin geometrik gösterimi.	13
Şekil 3.4.	Diferansiyel nükleer tesir kesitini açıklamak için kullanılan reaksiyon geometrisi.	16
Şekil 5.1.	$^{51}\text{V}(\alpha, 3n)^{52}\text{Mn}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması..	27
Şekil 5.2.	$^{50}\text{Cr}(\alpha, n\alpha)^{49}\text{Cr}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması..	28
Şekil 5.3.	$^{52}\text{Cr}(\alpha, np)^{54}\text{Mn}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.	29
Şekil 5.4.	$^{53}\text{Cr}(\alpha, p)^{56}\text{Mn}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması..	30
Şekil 5.5.	$^{55}\text{Mn}(\alpha, 3n)^{56}\text{Co}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.	31
Şekil 5.6.	$^{54}\text{Fe}(\alpha, p)^{57}\text{Co}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması..	32
Şekil 5.7.	$^{59}\text{Co}(\alpha, n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.	33
Şekil 5.8.	$^{59}\text{Co}(\alpha, n\alpha)^{58}\text{Co}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.	34
Şekil 5.9.	$^{59}\text{Co}(\alpha, 2p)^{61}\text{Co}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.	35
Şekil 5.10.	$^{58}\text{Ni}(\alpha, p)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması..	36
Şekil 5.11.	$^{60}\text{Ni}(\alpha, n)^{63}\text{Zn}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.	37
Şekil 5.12.	$^{63}\text{Cu}(\alpha, n)^{66}\text{Ga}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.	38

Şekil 5.13. $^{63}\text{Cu}(\alpha,2n)^{65}\text{Ga}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.	39
---	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Tesir kesitlerinin teknik ve uygulamaları..	18
--	----



SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Çekirdeğin Kütle Numarası
d	Döteron
h	Deşik Sayısı
M_x	Gelen Parçacık Kütlesi
Q	Tepkime Enerjisi
Z	Çekirdeğin Proton Sayısı
α	Alfa Parçacığı
$d\sigma/d\Omega$	Açısal Diferansiyel Tesir Kesiti
λ^-	n,n-2 Durumları İçin İç Geçiş Hızları
σ	Tesir Kesiti
n₀	Başlangıç Eksiton Sayısı
μ	İndirgenmiş Kütle
GDH	Geometri Bağımlı Hibrit Model
MeV	Milyon Elektron Volt

1. GİRİŞ

Tesir kesiti bir nükleer reaksiyonun oluşma ihtimalini tanımlamanın matematiksel bir yoludur. Bir nükleer reaksiyonun tesir kesiti gelen parçacığın enerjisine güçlü bir biçimde bağlıdır. Belirli bir enerji aralığında gelen parçacık ve hedef çekirdeğin etkileşimi ile ilgili reaksiyon tesir kesiti verileri, farklı nükleer parametreleri içeren modeller boyunca hesaplanarak ya da deneysel olarak ölçülerek elde edilebilir. Bir nükleer reaksiyon deneyi, genellikle belirli bir gelme enerjisinde tek tesir kesitini veya sınırlı bir enerji aralığında tesir kesiti davranışını içerir. Dahası, bazı gelen parçacık-hedef çekirdek etkileşimleri ve enerji aralıkları için deneysel tesir kesiti verileri literatürde yer almamaktadır. Dolayısıyla yeterli derecede nükleer reaksiyon tesir kesiti verisi elde etmek için çok sayıda deney yapılmasına ve model hesaplamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu şekilde elde edilecek nükleer verilerin büyüklüğü fazla olduğundan bilgisayarda okunabilir formatta sunulmalıdır (Yiğit, 2014; Trkov, 2005).

Nükleer veriler, çekirdeğin bozunumunu, içyapısını ve parçacıklarla olan etkileşimlerini açıklayan bilgi topluluklarıdır. Bu nedenle nükleer veriler; nükleer bozunum, nükleer yapı ve nükleer reaksiyon verileri olmak üzere üç ana gruba ayrılabilirler. Nükleer bozunum verileri yayınlanan parçacığın açısallık dağılımı, enerjisi, yarı ömrü ve yoğunluğu gibi radyoaktif çekirdeklerin bozunumu ve x-ışınları, elektronlar vb. gibi ikincil radyasyonların oluşumu üzerine bilgileri içerirler. Bir nükleer reaksiyonun oluşumu ve sonucunda çıkan parçacıkların uyarılma fonksiyonları üzerine bilgiler nükleer reaksiyon verilerini oluşturur. Nükleer yapı verileri ise çekirdeğin uyarılmış durumlarının özelliklerini açıklayan bilgilerdir. Nükleer reaksiyon verileri birkaç GeV'e kadar uzanan çok geniş bir enerji aralığı, nükleer bozunum ve yapı verileri ise daha düşük bir enerji aralığını kapsarlar (Qaim, 2010; Yiğit, 2014).

Nükleer reaksiyon verilerinin, füzyon, fisyon, hızlandırıcı güdümlü sistemler, radyasyon terapi, radyoizotop üretimi, astrofizik ve kosmokimya gibi önemli uygulama alanları vardır. Bu veriler fisyon ve füzyon reaktör teknolojisi açısından reaktör yapısal malzemelerindeki gaz üretimi ve reaktör bileşenlerinin aktivasyonunun belirlenmesinde enerjiye yönelik pratik uygulama alanlarına sahiptirler (Yiğit, 2014; Akça, 2018; Qaim, 2010). Özellikle, nükleon ve alfa parçacıkları tarafından

oluşturulan reaksiyonlar boyunca nükleer ısınma ve gaz oluşumundan kaynaklanan radyasyon zararları nükleer reaktör yapısına ciddi zararlar verebilmektedir. Bu nükleer reaksiyonlar, reaktör malzemesi üzerinde hidrojen ve helyum gazlarının yapılmasına sebep olur. Özellikle alfa parçacıkları malzemenin yapısında şişmelere sebep olur. Bu durum yapısal malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinde ciddi değişiklikler oluşturarak dayanıklılığını etkiler. Bu problemlere çözüm üretebilmek için nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin ve yayımlama spektrumlarının deneysel olarak elde edilmesi ve önceden oluşabilecek durumların belirlenebilmesi için de teorik model hesaplamalarının yapılmasına ihtiyaç duyulur (Yiğit ve Korkmaz, 2018; Yiğit vd., 2016; Gökçe, 2013).

Deneysel nükleer reaksiyon tesir kesiti sonuçları tek bir modelle tam olarak açıklanamaz. Bu nedenle tesir kesitlerinin elde edilebilmesi için çeşitli teorik nükleer modeller geliştirilmiştir. Nükleer modeller ile gerçekleştirilen hesaplamaların başarısı büyük oranda bağlanma enerjisi, deformasyon, nükleer seviye yoğunluğu ve eksiton sayısı gibi girdi parametrelerine bağlıdır. Bu girdi parametreleri ile reaksiyonun denge ve denge-öncesi aşamalarındaki yayınlanmalarının dikkate alınması tesir kesitinin belirlenmesinde önemli unsurlardır. Özellikle 10 MeV'in altındaki gelme enerjilerinde reaksiyonun denge aşaması, nükleer yayınlanmaları açıklamada ihmal edilmeyecek katkıda bulunur. Weisskopf-Ewing (Weisskopf ve Ewing, 1940) ve Hauser-Feshbach (Hauser ve Feshbach, 1952) modeller, nükleer reaksiyonların denge aşamasını açıklamak için ileri sürülen başarılı modellerdir. Diğer taraftan denge-öncesi modeller 10 MeV'in üzerinde gelme enerjilerine sahip parçacıklar ile oluşturulan reaksiyonların uyarılma fonksiyonlarının açıklanmasında oldukça başarılıdır. Geometri bağımlı hibrit (Blann ve Vonach, 1983) ve Eksiton modeller (Griffin, 1966; Koning vd., 2015) reaksiyonun denge-öncesi aşamasını dikkate alarak nükleer tesir kesiti hesaplamaları yapan önemli reaksiyon modelleridir. Gerek denge gerekse denge-öncesi model hesaplamaları için çeşitli nükleer teori kodları kullanılmaktadır. Özellikle ALICE (Broeders vd., 2006) ve TALYS (Koning vd., 2017) kodları birçok reaksiyonun uyarılma fonksiyonlarını, model temelli hesaplamada başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, alfa parçacıkları tarafından oluşturulan $^{51}\text{V}(\alpha,3n)^{52}\text{Mn}$, $^{50}\text{Cr}(\alpha,n\alpha)^{49}\text{Cr}$, $^{52}\text{Cr}(\alpha,np)^{54}\text{Mn}$, $^{53}\text{Cr}(\alpha,p)^{56}\text{Mn}$, $^{55}\text{Mn}(\alpha,3n)^{56}\text{Co}$, $^{54}\text{Fe}(\alpha,p)^{57}\text{Co}$,

$^{59}\text{Co}(\alpha, n)^{62}\text{Cu}$, $^{59}\text{Co}(\alpha, n \alpha)^{58}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(\alpha, 2p)^{61}\text{Co}$, $^{58}\text{Ni}(\alpha, p)^{61}\text{Cu}$, $^{60}\text{Ni}(\alpha, n)^{63}\text{Zn}$, $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)^{66}\text{Ga}$ ve $^{63}\text{Cu}(\alpha, 2n)^{65}\text{Ga}$ reaksiyonlarının tesir kesitleri hesaplandı. Bu hesaplamalar denge ve denge-öncesi nükleer modeller kullanılarak yapıldı. Reaksiyonun denge hesaplamalarında Weisskopf-Ewing ve Hauser-Feshbach modeller, denge-öncesi hesaplamalarında Geometri bağımlı hibrit ve İki bileşenli eksiton modeller uygulandı. Bu model hesaplamaları ALCE/ASH ve TALYS 1.9 reaksiyon kodları ile gerçekleştirildi. Sonuçta, elde edilen nükleer reaksiyon tesir kesiti verileri deneysel değerlerle (EXFOR, 2018) karşılaştırılarak sonuçlar tartışıldı.

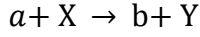


2. NÜKLEER REAKSİYONLAR

Nükleer veriler, çekirdeklerin gelen parçacıklarla etkileşmelerini, içyapılarını ve bozunumlarını açıklayan bilgilerdir. Nükleer veriler deneysel ya da teorik olarak elde edilebilir. Çoğunlukla nükleer veriler; nükleer bozunum, nükleer yapı ve nükleer reaksiyon verileri olarak üç gruba ayrılır. Nükleer bozunum verileri, yayınlanan parçacıkların açısal dağılımları, enerjileri, şiddetleri ve yarı ömürleri gibi bilgileri içerirler. Bu veriler genellikle iyi bilinmektedir. Nükleer yapı verileri ise çekirdeklerin uyarılmış durumlarının özellikleri ile ilişkili bilgileri kapsarlar. Bozunuma uğrayan çekirdekler, yaklaşık olarak 3 MeV civarında bozunum enerjisine sahip olduğu için bozunum ürünlerinin doldurduğu seviyeler genellikle 2-3 MeV'lik enerji aralığındadır. Nükleer bozunum ve yapı verilerinin aksine, reaksiyon verilerini daha büyük enerjili durumlar (MeV ve GeV) oluşturur (Qaim, 2010; Yiğit, 2014).

Bir radyoaktif kaynak, reaktör ya da hızlandırıcıdan çıkan enerjik parçacıklar herhangi bir hedef malzeme üzerine düşürülürse bir nükleer reaksiyonun oluşması olasıdır (Krane, 2001). Reaksiyonlar aracılığıyla elde edilen veriler nükleer mühendislik ve nükleer bilimlerde oldukça önemli rol oynamaktadır. Çünkü bir nükleer reaksiyon boyunca, tıpta teşhis ve tedavi amaçlı kullanılan birçok radyoizotop üretilebilir, reaktörlerde enerji elde edilebilir ve çekirdeklerin içyapısı hakkında bilgi edinilebilir. 1919 yılında Rutherford'un $^{214}_{82}\text{Po}$ kaynağından yayınlanan 7,5 MeV enerjili alfalarla yaptığı saçılma ilk nükleer reaksiyon deneyidir. Rutherford gerçekleştirdiği bu deneyde Oksijenin kararlı olmayan $A=17$ kütle numarasına sahip izotopunu elde etmiştir. Bu deney kararlı olan bir çekirdekle yeterli enerjiye sahip parçacıklar etkileştiğinde kararsız bir çekirdeğin oluşabileceğini göstermesi bakımından önemliydi (Reshid, 2009). Hahn ve Strassman, 1939 yılında uranyumu nötron parçacıklarıyla bombardıman ederek nükleer fisyon olayını keşfetmişlerdir. Yaklaşık 10 MeV'e kadar enerjiye sahip parçacıklarla oluşan neredeyse tüm reaksiyonlar, ilk yapay çekirdek dönüşümü ile nükleer fisyon olayının keşifleri arasındaki zamanda bulunmuştur. Gelen parçacıkların enerjileri 100 MeV'in altında olan reaksiyonlarda, genellikle reaksiyon sonucunda iki ürün çekirdek üretebilir (Meyerhof, 1967; Yiğit, 2014).

Kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi nükleer reaksiyonlarda



biçiminde gösterilir. Burada X hedef çekirdektir. a ise mermi parçacık ya da gelen parçacık olarak adlandırılır. Reaksiyon sonucunda oluşan b ve Y ise reaksiyon ürünleridir. b çıkan parçacık ya da hafif reaksiyon ürününü göstermektedir. Y ise ağır reaksiyon ürününü göstermektedir. Bir nükleer reaksiyon $X(a,b)Y$ biçiminde de gösterilebilir. Bir nükleer reaksiyona ilişkin reaksiyonun Q enerjisi,

$$Q = [M_a + M_X - M_b + M_Y]c^2 \quad (2.1)$$

eşitliğiyle verilir. Burada M_a gelen parçacık ve M_X hedef çekirdeğin atomik kütleleridir. M_b ve M_Y ise sırasıyla çıkan parçacık ve ağır reaksiyon ürününün atomik kütlelerini göstermektedir.

2.1 Nükleer Reaksiyonların Türleri

Nükleer reaksiyonları gelen parçacığa, parçacığın enerjisine, reaksiyon ürününe ve hedef çekirdeğe bağlı olarak sınıflandırmak mümkündür. Gelen parçacığın türü dikkate alınırsa reaksiyonlar; nötron reaksiyonları, proton reaksiyonları, döteron reaksiyonları, gama reaksiyonları ve alfa reaksiyonları gibi mermi parçacık cinsinden adlandırılabilir. Çekirdeklerin nükleer bağlanma enerjilerinden dolayı reaksiyon ürünlerinden biri hafif çekirdek ya da parçacıkken, diğeri ağır çekirdektir. Hedef çekirdek nükleon sayısı $A \leq 40$ ise hafif çekirdek, $40 < A < 150$ aralığında ise orta ağırlıklı çekirdek ve $A \geq 150$ ise ağır çekirdek olarak adlandırılır. Işımalı yakalama reaksiyonu hafif reaksiyon ürününün gama ışını olduğu durumdur. Fisyon ve çoklu parçalanma reaksiyonlarında ürün çekirdekler eşit ya da kıyaslanabilir kütlelere sahiptirler. Hedef çekirdeğe gelen parçacık ile hafif reaksiyon ürünün aynı olduğu reaksiyonlara elastik saçılma denir. Elastik saçılma durumunda gelen parçacık ve reaksiyon ürününün enerjileri de aynıdır. Ancak enerjileri farklı ise bu durumda inelastik saçılma gerçekleşir. Bir nükleer reaksiyonda gelen ve çıkan parçacıklar aynı ise ve reaksiyon sonucunda başka parçacıklarda yayınlanmış ise bu tür reaksiyonlara yakalama reaksiyonları denir. Bir veya iki nükleonun gelen parçacık ve hedef çekirdek arasında değiş tokuş edildiği reaksiyonlara transfer reaksiyonları denir. Transfer

reaksiyonlarına, gelen bir alfanın nötrona dönüştüğü reaksiyonlar örnek olarak verilebilir (Krane, 2001; Meyerhof, 1967).

Bir reaksiyonun oluşma süreci, reaksiyonun türünü belirleyen unsurlardan biridir. Direk reaksiyonlar yaklaşık 10^{-22} saniyelik bir sürede gerçekleşir ve birkaç nükleon reaksiyona katılır. Direk reaksiyonlarda gelen parçacık öncelikle çekirdeğin yüzeyindeki nükleonlarla etkileşir. Daha sonra gelen parçacık enerjisinin artışı ile parçacığın dalga boyu, çekirdek içerisindeki nükleonlarla da etkileşmeye başlar. Bileşik çekirdek reaksiyonları direk reaksiyonlara göre daha uzun bir süreçte (10^{-16} - 10^{-18} saniyelik zaman aralığında) gerçekleşir. Bu reaksiyon mekanizmasına göre, gelen parçacık hedef çekirdek içerisine çekirdek yarıçapına göre küçük bir çarpma parametresi ile girdiğinde, hedef çekirdeğin nükleonlarıyla ardışık olarak etkileşme yapması olasıdır. Bu nükleer etkileşmelerden sonra parçacığın gelme enerjisi, hedef çekirdek ve gelen parçacığın oluşturduğu bileşik sistemin nükleonları arasında paylaşılır. Gelen parçacığın hedef çekirdek içerisine girmesinden sonra veya giden parçacığın (veya parçacıkların) yayınlanmasından önce bileşik çekirdek durumu oluşur (Krane, 2001).

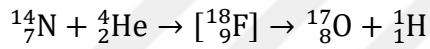
2.2 Alfa Parçacık Etkileşmeleri

Nükleer fiziğin ilk zamanlarından beri alfa parçacıklarının çekirdeklerle etkileşimi üzerine oldukça çalışma yapılmıştır. Alfalar, nükleer reaksiyonlarda nötron, proton ve döteronlardan sonra en çok kullanılan nükleer parçacıklardır. Orta enerjili bir alfanın hedef çekirdek üzerine geldiğinde hangi etkileşmelerin olabileceğini açıklamak, alfa-hedef çekirdek etkileşiminin genel bir görüntüsünü verir. Enerji kaybı olmadan sapma durumunu gösteren elastik saçılma en basit etkileşim biçimidir. Düşük gelme enerjilerinde ve büyük açılarda Coulomb saçılması baskın etkileşme sürecidir. Bu durum, Rutherford-Mott formülü ile hesaplanır. Daha yüksek gelme enerjilerinde alfalar nükleer alanla da etkileşmeye girer. Bu durumda Coulomb ve nükleer alanın birleştirilmiş etkisi, optik modelde tek-cisim kompleks potansiyeliyle açıklanabilir. Bu optik model olarak adlandırılır. Fenomonolojik potansiyellerin seçimi, geniş gelme enerji aralıklarında diferansiyel tesir kesitlerinin yüksek hassasiyette hesaplanmasını mümkün kılar. İnelastik saçılma durumunda hedef çekirdek uyarılmış durumlarından birinde kalır. İnelastik saçılma yalnızca Coulomb etkileşmesinin önemli olduğu

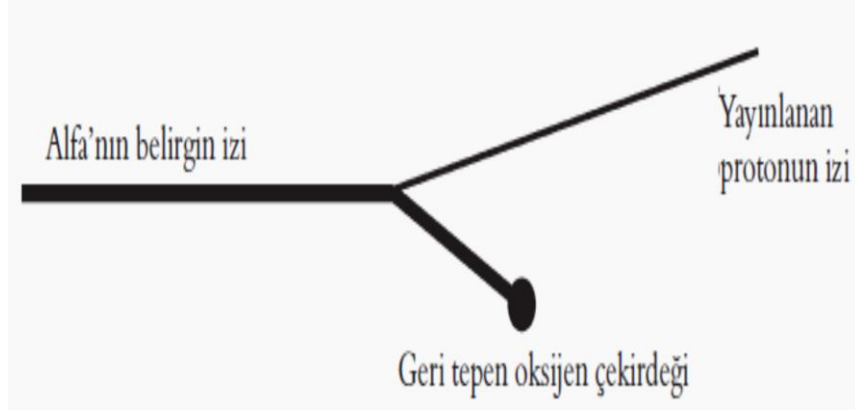
Coulomb bariyerinin altındaki enerjilerde bile olabilir. Daha yüksek enerjilerde alfalar nükleer alanla etkileşir ve inelastik saçılma ihtimali artar. İnelastik saçılma, hedef çekirdeği birçok nükleer duruma uyarabilir. Ancak kollektif duruma uyarılması özellikle daha olasıdır. Alfa parçacık uyarılmasının taban durum titreşim ve dönme bandları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Daha yüksek gelme enerjilerinde alfalar hedef çekirdeği dev kutuplu rezonanslara uyarabilir. Gerçekten bu rezonansların birçoğu bu şekilde bulunmuştur. Alfa parçacıkları, tüm bu nükleer reaksiyon durumlarından bir miktar enerji kaybı dışında hasarsız bir şekilde çıkar. Fakat alfaların yüksek bağlanma enerjisine rağmen etkileşim sırasında parçalanması olasıdır. Parçalanma, gelen parçacığın Coulomb nükleer alanıyla ilk karşılaştığı erken bir safhada olabilir. İki parçacık parçalanması ve tam parçalanmayı da içeren bir takım parçalanma modları mümkündür. Parçalanma olayından sonra iki parça Coulomb nükleer alanında devam ederek daha fazla etkileşim olmadan kaçabilir ya da çekirdek tarafından yakalanabilir. İki parçanın kaçtığı durumda, enerji ve açısal dağılımları reaksiyonun türünü belirleyecek karakteristik bir durumu oluştururlar. Bu reaksiyon türü break-up süreçleridir. Bu sürecin dışında stripping ve pick-up süreçleri de meydana gelebilir. Şuana kadar hedef çekirdeğin uyarılmasını da sağlayan ve çevresinde temel olarak gerçekleşen süreçler tanımlanmıştır. Daha karmaşık reaksiyon süreçleri, alfalar ya da onun parçalarından biri hedef çekirdeğe girdiğinde oluşur ve daha sonra art arda etkileşimler (çığ etkileşimleri) meydana gelir. Nispeten düşük enerjilere sahip alfalar, istatistiksel bozunmaya uğrayan bir uyarılmış bileşik çekirdek meydana getirmek için hedef çekirdek tarafından kolaylıkla yakalanır. Daha sonra, kalan çekirdek son durumlarının herhangi birini meydana getirir. Bu durum Hauser-Feshbach model ya da Weisskopf-Ewing model ile açıklanabilir. Uyarılmış denge durumundaki bir çekirdek, daha yüksek enerjilerde oluşan İntranükleer Çığ'ların da sonucudur. Temel olarak, bu durumlar ya alfa-nükleon etkileşmesinden ya da alfa parçacığının parçalanmasından ortaya çıkar. İntranükleer Çığ esnasında oluşan uyarılmış durumlar, eksiton olarak adlandırılan uyarılmış parçacıklar ve deşiklerle açıklanmaktadır. Etkileşim zincirindeki her bir aşamada üç muhtemel sonuç gerçekleşebilir. Bunlar daha yüksek eksiton sayısı durumuna öncülük eden bir başka parçacık-deşik uyarılması, bir parçacığın sürekli durumuna yayınlanması ve daha az ihtimalle daha önceki durumlara geri uyarılması. Doğrudan sürekli durumlara yayınlanma, bileşik çekirdeklerde olduğundan daha yüksek enerjilerde olma eğilimine sahip denge-öncesi parçacıkları verir (Gadioli ve Hodgson, 1992; Akça, 2018).

2.2.1 Alfa-Proton reaksiyonları

Rutherford'un, atomun merkezinde çekirdeğin varlığını keşfetmesine neden olan, alfa parçacıklarına ait saçılma deneyidir. Rutherford bu deneyinde azot atomunun alfa parçacıkları bombardımanı ile oksijene dönüştüğünü gösterdi. Bu deney 7,65 MeV enerjili alfa yayınlayan bir radyum kaynağını, farklı gazlarla doldurulmuş bir kutu içerisine yerleştirerek gerçekleştirdi. Rutherford, oluşan ışıdamaları algılamak için kutunun dışına bir çinko sülfür ekran yerleştirdi. Kutu, atmosfer basıncı altında oksijen veya karbondioksit ile doldurulduğunda, kaynaktan 7 cm uzakta veya daha ötedeki ekran üzerinde hiçbir ışıdama gözlenmemişti. Bu uzaklık alfanın gazlar içindeki menzolidir. Fakat kutu azot atomu ile doldurulduğunda kaynaktan 40 cm uzaktaki ekranda ışıdamalar belirmişti. Rutherford, alfalar havada bu menzile sahip olamadıkları için, bu ışıdamalara azot çekirdeklerinden yayınlanan başka parçacıkların neden olduğunu düşünmüştür. Manyetik sapma deneyleri yayınlanan parçacıkların aslında proton olduklarını göstermiştir. Elementlerin birbirine dönüşümünün ilk gösterimi olan bu etkileşme,

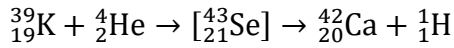
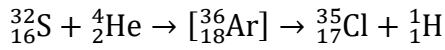
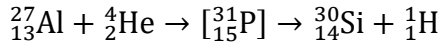
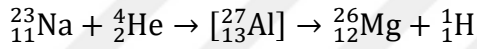
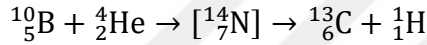


şeklinde. Bu reaksiyon $^{14}_7\text{N}(\alpha, p)^{17}_8\text{O}$ biçiminde gösterilebilir. Bu reaksiyonun oluşması için bir milyon alfa gerekli olduğundan bu gibi reaksiyonların ihtimali çok küçüktür. Rutherford, bu deneyi ilk gerçekleştirdiğinde, alfa parçacığı ile azot çekirdeğinin yeni bir çekirdek oluşturmak için mi birleştiklerini yoksa azot çekirdeğinden bir proton mu fırlatıldığından emin değildi. Blackett, Şekil 2.1'de şematik olarak sonuçları gösterilen bir klasik deney gerçekleştirdi; Blackett'in fotoğrafı, çarpışmada gözlenen izlerin sadece yayınlanan protonlara, gelen alfa parçacıklarına ve geri tepen çekirdeğe ait olduğunu göstermektedir. Sonuçta, atomlar bir birine dönüşmüş ve alfa parçacığı yok olmuştur. Blackett, bu deneysel ispatı gerçekleştirdiği için 1948'de Nobel ödülü almıştır (James, 2013).



Şekil 2.1. P. M. Blackett'in klasik fotoğrafının şeması. Kalın çizgi yok olmadan önce (soğurulmadan) alfanın izini, ince çizgi yayınlanan protonun izini ve daha koyu çizgi ise geri tepen ürün çekirdeğin izini gösterir.

Rutherford, oksijen ve karbon hariç olmak üzere, bor'dan potasyum'a kadar tüm hafif elementler için alfa parçacık dönüşümlerini gözledi. Bu reaksiyonlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

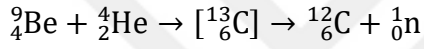


Bu reaksiyonlardan bazılarında, yayınlanan protonların, alfa parçacıklarının enerjisinden daha fazla enerjili olduğu bulundu. Fazla enerji durumu, hedef çekirdeklerdeki nükleonların potansiyel enerji durumlarının yeniden düzenlenmesiyle elde edilmiştir. Bu durum, atomların kütle değişimlerinden dolayı, enerjiyi nasıl kazandıkları ve yayınladıklarının anlaşılması açısından önemli bir sonuçtur (James, 2013).

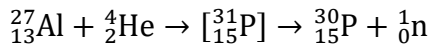
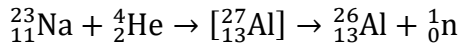
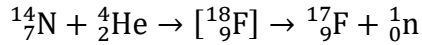
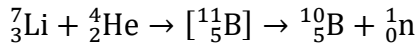
2.2.2 Alfa-Nötron reaksiyonları

1932'de Berilyum'un (α, n) reaksiyonuyla nötron keşfedilmiştir. Bu keşif atomun yapısının detaylı bir şekilde anlaşılmasını sağladığından oldukça önemlidir. Bazı

araştırmacılar; önce yaklaşık 50 MeV'lik Q-değerine sahip ^{13}C 'ün oluşumunu sağlayabilecek yüksek enerjili gama radyasyonu olduğunu düşündükleri oldukça girici bir radyasyon gözlemlediler. Rutherford ve Chadwick'in uzun zamandır nötr bir parçacığın varlığı hakkında düşünceleri vardı. Dolayısıyla berilyumun alfa parçacıklarıyla reaksiyonları ile yayınlanan bu ışımlar Chadwick'in ilgisini çekti. Joliet ve Curie, bu ışımların hidrojenli bir malzeme olan parafine yönlendirildiğinde bir proton akımı oluşturdıklarını gösterdiler. Chadwick, parafindeki hidrojen çekirdekleriyle elastik çarpışmaların gerçekleştiğini ve sonuçta protonun kütlesine yakın kütleye sahip yüksüz bir parçacığın oluştuğunu düşündü. Chadwick, gözlenen momentumlardan bu düşüncenin doğruluğunu anladı. Yani yayınlanan radyasyonun kütlesinin gerçekten protonun kütlesine çok yakın ve yüksüz bir parçacık (nötron) olduğunu ispatladı. Bu nükleer reaksiyon,



biçimindedir. Bu reaksiyonda ${}^1_0\text{n}$ sembolü nötronu göstermektedir. Nötron parçacıkları, nötr olduklarından oldukça girici özelliğe sahip ve bu nedenle pozitif yüklü olan çekirdekler tarafından geri itilmekteydiler. Chadwick, nükleer fizik tarihinde oldukça önemli bir yere sahip olan bu keşfi ile Nobel ödülü kazanmıştır. Bu nükleer reaksiyon süreci boyunca nötronun alfa parçacık reaksiyonları ile üretilbildiği anlaşıldı ve böylece diğer reaksiyonlar da kısa sürede keşfedildi. Bu reaksiyonlardan önemli olan birkaç tanesi aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır.



${}^{14}_7\text{N}$, ${}^{23}_{11}\text{Na}$ ve ${}^{27}_{13}\text{Al}$ hedef çekirdeklerinin alfalarla reaksiyonunda, bileşik çekirdek teorisiyle uyumlu olarak bir proton da yayınlanır. Joliet ve Curie tarafından Al çekirdeği ile yapılan (α, p) reaksiyonunun radyoaktif olduğu bulundu. Bu keşif ile ilk

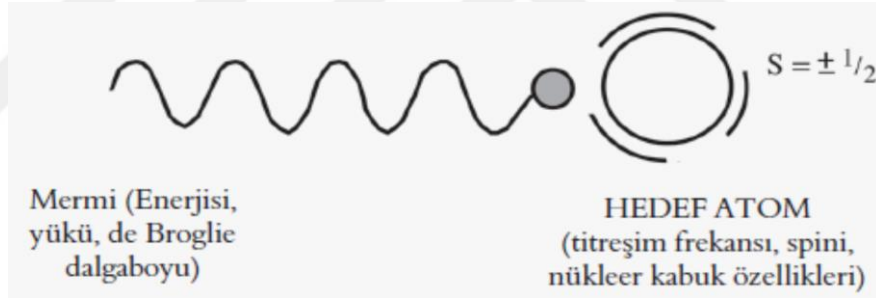
yapay radyoaktivite gözlenmiş ve bu çalışma onlara 1935 yılında Nobel ödülü kazandırmıştır (James, 2013).



3. NÜKLEER REAKSİYON TESİR KESİTİ

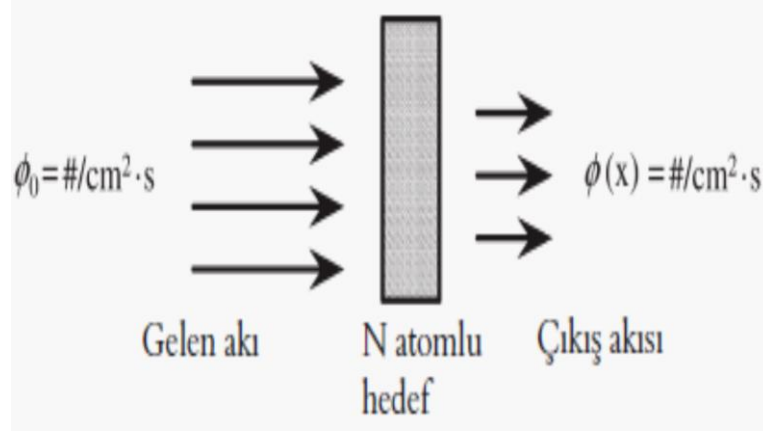
3.1 Toplam Tesir Kesiti

Gelen parçacığın yükü, kütlesi ve enerjisi, durgun olduğu kabul edilen hedef bir çekirdekle etkileşme olasılığını belirler. Hedef çekirdeğin yükü ve kütlesi de bu etkileşme olasılığını etkiler. Bileşik çekirdekten yayınlanan parçacık veya parçacıklar da nükleer reaksiyon olasılığına etki eden yük, kütle ve kinetik enerjiye sahiptir. Bu etkilerin tümü, tesir kesiti olarak ifade edilir ve σ_i ile gösterilir. Burada, i indisi reaksiyonun türünü gösterir. Gelen parçacığın belirli bir nükleer reaksiyonu oluşturmak üzere hedefle etkileşeceğinin garantisi yoktur. Sonuçta, σ sadece bu olayın gerçekleşme olasılığının bir ölçüsünü verir. Tesir kesiti, gelen parçacık ve hedef malzemenin özelliklerine bağlıdır. Gelen parçacık fotonda olabilir. Bu özellikler, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi gelen parçacığın yükünü, enerjisini, kütlesini ve de-Broglie dalga boyunu ve ayrıca hedef çekirdekteki nükleonların spinini, titreşim frekansını ve enerji durumlarını içermektedir (James, 2013).



Şekil 3.1. Gelen parçacık ile hedef çekirdeğin etkileşmesine ait parametreler.

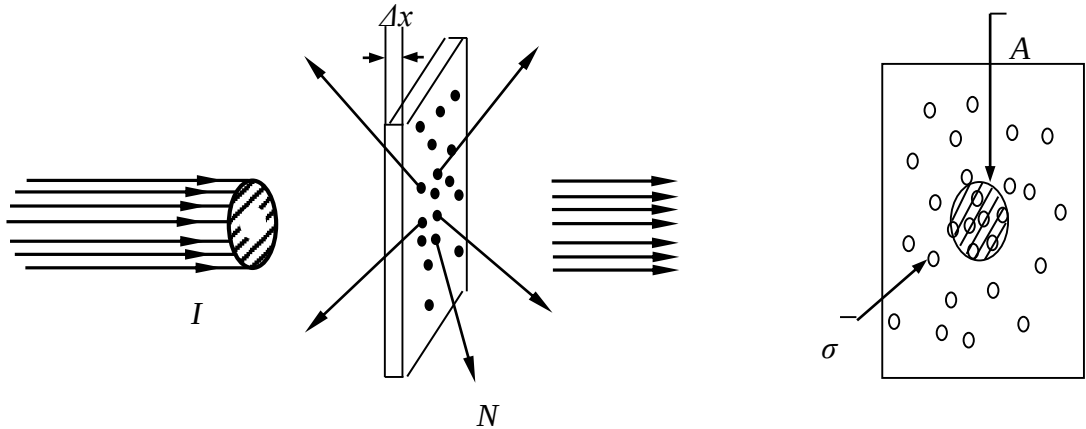
Bunlar, nükleer teori ile doğrudan belirlenemez. Dolayısıyla, verilen herhangi bir gelen parçacık-hedef çekirdek düzeneğine ait tesir kesitleri, çoğunlukla, N tane atom içeren bir hedef ile gelen parçacığın çarpışmadan önceki ve sonraki birim alan başına çıkan parçacıkların sayılarının (bir başka deyişle akının) ölçülmesiyle belirlenir. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, hedef çekirdeği geçtikten sonra parçacık akısındaki azalma miktarı, hedefte oluşan etkileşme sayısının doğrudan bir ölçüsüdür.



Şekil 3.2. Birim hacimde N tane atom içeren hedef malzemeye (N atom/cm³) gelen ϕ_0 akısı, x (cm) kalınlığını geçtikten sonra azalarak $\phi(x)$ olur.

Nükleer reaktörlerde en önemli unsurlardan biri parçacık-hedef çekirdek etkileşmelerinin miktarının tespiti. Bu etkileşmelerin nasıl bir nükleer reaksiyon oluşturacağı olasılık hesabı gerektirir (James, 2013).

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi yüzey alanı A olan ince bir hedef malzemeye birim zamanda I parçacıktan oluşan tek enerjili bir ışın demetinin çarptığını düşünelim. Böyle bir etkileşmede birim zamanda N kadar hafif ürün üretilirse, her bir hedef çekirdek, gelen ışın demetine dik bir σ etkileşim alanına sahip olur. Bu durumda, gelen parçacık σ etkileşim alanının içine çarparsa bir nükleer reaksiyon meydana gelir (Meyerhof, 1967). Ancak gelen parçacık σ etkileşim alanına çarpmazsa bir nükleer reaksiyonun oluşması olası değildir.



Şekil 3.3. Nükleer reaksiyonun tesir kesitinin geometrik gösterimi.

Burada σ etkileşim alanı tesir kesiti olarak adlandırılır ve bu hayali bir alandır. N/I oranı nükleer reaksiyon ihtimali ile ilişkilendirilebilir. Burada, σ tek bir hedef çekirdek ile ilişkili iken, N/I oranı hedef malzemenin Δx kalınlığı ve yoğunluğuna bağlıdır. Dolayısıyla, gelen herhangi bir parçacık için N/I olasılığı, A alanı içindeki tüm çekirdeklerin toplam tesir kesitine eşittir. Hedef malzeme içerisinde birim hacim başına n çekirdek varsa, hedefin toplam atom sayısı $nA\Delta x$ olur (Meyerhof, 1967). Bu durumda, N/I oranı, σ tesir kesitine

$$\frac{N}{I} = \frac{n A \Delta x \sigma}{A} \quad (3.1)$$

biçiminde gösterilen bir eşitlikle bağlıdır. Bu eşitlik hem N hem de σ 'yı hesaplamak için kullanılabilir. σ tesir kesitini hesaplamak için

$$\sigma = \frac{N}{\left(\frac{I}{A}\right) n A \Delta x} \quad (3.2)$$

eşitliği kullanılabilir. Bu eşitlik birim zamanda mermi parçacık akısı ve hedef çekirdek başına ürün parçacıklarının sayısını sunar. Tesir kesiti alan boyutuna sahip bir büyüklüktür ve birimi barn (b)'dir ($1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ 'dir). Parçacık akısı

$$\frac{I}{A} = n_a v_a \quad (3.3)$$

biçiminde verilir. Burada v_a terimi gelen parçacık ile hedef çekirdek arasındaki göreceli hızdır. n_a terimi ise birim hacim başına gelen parçacık sayısını sunar. Eğer tesir kesiti biliniyorsa reaksiyon ürününün hesaplanabilmesi için Eş. 3.3'ü

$$N = n\sigma\Delta x I \quad (3.4)$$

şeklinde yazarız. Hedef malzemenin t kalınlığı üzerinden integre edilirse

$$I_t = I_0 e^{-n\sigma t} \quad (3.5)$$

ifadesi bulunur. Burada I_t/I_0 oranı hedef malzemenin geçirgenliğidir. $n\sigma$ niceliği ise azaltma katsayısını sunar. Reaksiyonun atmosfer basıncında ($\Delta x \approx 10$ cm ve $n \approx 3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) ve tesir kesitinin $\sigma \approx 0,1$ barn olması durumunda parçacık başına etkileşim olasılığı,

$$\frac{N}{I} \approx (3 \times 10^{19}) \times (0,1 \times 10^{-24}) \times (10) \approx 3 \times 10^{-5} \quad (3.6)$$

bulunur (Yiğit, 2014).

Herhangi bir gelen parçacık ve hedef çekirdek genellikle birim zamanda N_1, N_2, N_3 gibi hafif reaksiyon ürünlerini üretmek için farklı yollarla reaksiyon oluşturabilir. Sonuçta Eş. 3.2, tüm muhtemel hafif reaksiyon ürünleri üzerinden yazılabilir. Bu durumda toplam tesir kesiti,

$$\sigma_{top} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 \dots}{\left(\frac{I}{A}\right) n A \Delta x} \quad (3.7)$$

olur. Bu eşitlik i . parçacık için kısmi tesir kesitini verecek biçimde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sigma_i = \frac{N_i}{\left(\frac{I}{A}\right) n A \Delta x} \quad (3.8)$$

Sonuçta toplam nükleer tesir kesiti,

$$\sigma_{top} = \sum_i \sigma_i \quad (3.9)$$

eşitliği ile verilir (Meyerhof, 1967; Yiğit, 2014).

3.2 Diferansiyel Tesir Kesiti

Bir nükleer saçılma ya da reaksiyon meydana geldikten sonra çıkan parçacıklar çoğunlukla anizotropik bir dağılım gösterirler. Dahası çıkan parçacıklar farklı açılarda farklı enerjilere sahip olurlar. Bir nükleer reaksiyonda geliş doğrultusu ile θ açısı

yaparak saniyede küçük bir $d\Omega$ katı açısı içinde çıkan parçacıkların sayısının bilinmesi reaksiyonun karakteristiğini açıklamakta oldukça önemlidir. Bu durumu açığa bağlı diferansiyel tesir kesiti açıklar. Açığa bağlı diferansiyel tesir kesiti birim katı açı başına düşen tesir kesitidir (Meyerhof, 1967).

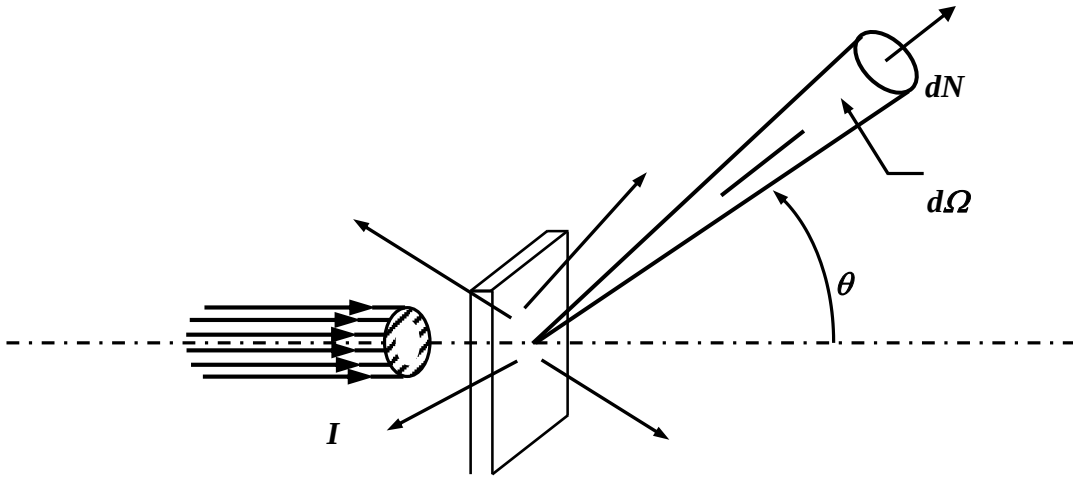
N/I oranını, σ tesir kesitine bağlayan Eş. 3.1'i kullanarak

$$\frac{1}{I} \frac{dN}{d\sigma} = \frac{n A \Delta x \frac{d\sigma}{d\Omega}}{A} \quad (3.10)$$

eşitliğini elde ederiz. Yukarıdaki eşitlik düzenlenerek hedef çekirdek başına diferansiyel tesir kesiti

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{dN/d\Omega}{(I/A) (n A \Delta x)} \quad (3.11)$$

olarak elde edilir. Şekil 3.4 $d\Omega$ katı açısıyla ilişkilendirilen diferansiyel tesir kesitinin reaksiyon geometrisini sunar.



Şekil 3.4. Diferansiyel nükleer tesir kesitini açıklamak için kullanılan reaksiyon geometrisi.

σ bazen integral tesir kesiti olarak da adlandırılır ve

$$\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega \quad (3.12)$$

eşitliğiyle verilir. Bir nükleer etkileşimde diferansiyel tesir kesitinin enerji bağımlılığının yanında yöne bağımlılığı da nükleer reaksiyonun doğası hakkında birçok bilgi sunar. Farklı nükleer reaksiyonların açısal dağılımını açıklamak, bir nükleer kuvvet tipi seçerek mümkündür. Deney ve model arasındaki uygunluk, seçilen nükleer kuvvetin doğruluk derecesini gösterir (Meyerhof, 1967; Yiğit, 2014).

3.3 Çift Diferansiyel Tesir Kesiti

Bir nükleer reaksiyonda ağır ürün çekirdeğin belirli enerjisine karşılık, çıkan hafif ürün parçacıklarının hem tek bir açıda hem de belirli bir enerjide yayınlanma olasılığı oldukça önemlidir. Bu durumda, nükleer tesir kesiti kavramı, çıkan parçacığı, dE_b enerji aralığında ve $d\Omega$ katı açısında bulunma olasılığını verecek şekilde değiştirilmelidir. Bu olasılık çift diferansiyel tesir kesiti olarak adlandırılır ve $d^2\sigma/dE_b d\Omega$ şeklinde ifade edilir. Çıkan parçacığın enerji bağımlılığını da içeren bu tesir kesiti literatürde açık bir şekilde ifade edilmeyip, genellikle tesir kesitleri yalnızca açıya bağlı olarak $d\sigma/d\Omega$ biçiminde gösterilmektedir. Aslında, bu durum çift diferansiyel tesir kesiti $d^2\sigma/dE_b d\Omega$ 'yi gösterir. dE_b enerji aralığında kesikli durumlar için yalnızca tek bir düzey bulunabilir ve fark önemsizdir. Ayrıca çıkan hafif ürün parçacığının doğrultusu (hedef çekirdeğin kesit alanını dedektörlerin 4π katı açısı boyunca çevreleyerek veya çıkan parçacık b 'yi hiç gözlemeyerek) dikkate alınmazsa, bu durumda yalnızca enerjiye bağlı $d\sigma/dE$ diferansiyel tesir kesiti ölçülür. Burada E terimi, Y ürün çekirdeğinin uyarılmış bir enerjisini gösterebilir. Bir gelen parçacık-hedef çekirdek etkileşmesinde, tesir kesiti, ölçülmek istenilen parametreye göre değişir. Örneğin, reaksiyon boyunca radyoaktif bir Y ürün çekirdeğinin elde edilmesi istenirse, bu durumda Y 'nin uyarılmış durumları ve çıkan b parçacığının yayınlanma yönü ele alınır. Çizelge 3.1'de tesir kesitlerinin teknik ve uygulamaları özetlenmiştir (Krane, 2001; Yalçiner 2008).

Çizelge 3.1. Tesir kesitlerinin teknik ve uygulamaları.

Tesir Kesitleri	Sembol	Teknik	Uygulama
Toplam	σ_t	Demetin İncelenmesi	Zırhlama
Reaksiyon	σ	Tüm açılar ve y 'nin enerjileri (Y 'nin tüm uyarılmış durumları üzerinden integral alınması)	Bir nükleer reaksiyonda Y radyoizotop üretimi
Diferansiyel (Açısal)	$d\sigma/d\Omega$	(θ, φ) de y 'nin gözlenmesi fakat tüm enerjiler üzerinden integral alınması	Belirli bir doğrultuda b parçacıklar demetinin oluşumu (veya Y 'nin belirli bir doğrultuda geri tepmesi)
Diferansiyel (Enerji)	$d\sigma/dE$	y gözlenmez fakat ardışık γ yayınlanması ile Y 'nin uyarılması gözlenir	Y 'nin uyarılmış durumlarının bozunmasının incelenmesi
Çift diferansiyel	$d^2\sigma/dE_y d\Omega$	Belirli bir enerjide y , (θ, φ) 'de gözlenir	y açısal dağılımı ile Y 'nin uyarılmış durumları hakkında bilgi edinilmesi

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1 Denge (Bileşik) Reaksiyonları

Bileşik çekirdeğin oluşumunda mermi ile hedefin nükleonları arasındaki etkileşimler oldukça önemlidir. Nükleer reaksiyon süreci boyunca oluşan bileşik çekirdek istatistiksel dengeye ulaşmadan, yani merminin enerjisi hedef çekirdeğin nükleonları tarafından tamamen paylaşılmadan bozunmayacaktır. Bileşik çekirdeğin bozunum sürecinde nasıl oluştuğunu unuttuğu varsayılır (Şekerci, 2018).

Mermi parçacık enerjisinin 10 MeV'in altında olduğu nükleer reaksiyonlarda bileşik nükleer süreçler daha baskındır. Bileşik çekirdek reaksiyonlarının oluşma süreleri çoğunlukla 10^{-16} ile 10^{-18} saniye arasında değişmektedir. Bu reaksiyon türünde, mermi hedef çekirdeğin yarıçapına göre daha küçük olan bir etkileşim parametresi ile hedef çekirdeğe girer. Bu durumda merminin, hedef çekirdek nükleonlarından biriyle basit esnek saçılma yapması olasıdır. Böylece saçılan parçacık ve geri tepen nükleon, diğer nükleonlarla ardışık rastgele etkileşimlere girerler. Bu etkileşimler sonrasında merminin başlangıçtaki enerjisi bileşik sistemin nükleonları arasında paylaşılır (Krane, 2001; Weisskopf, 1937; Şekerci, 2018).

4.1.1 Hauser-Feshbach model

Hauser-Feshbach modelde çok sayıda bileşik çekirdek süreci üzerinden ortalama alınarak tesir kesiti hesaplamaları yapılır. Bu denge modelde çekirdeğin enerjisi, açısal momentumu ve paritesi oldukça önemlidir. Modelin ilk formalizmi elastik kanaldaki gelen ve çıkan dalgalar arasındaki ilişkiyi içermez. Hauser-Feshbach modeli, bileşik çekirdeğin bir a reaksiyon kanalı boyunca oluşacağı ve b kanalları boyunca bozunabileceği üzerine kuruludur. Hauser-Feshbach modelde nükleer tesir kesiti

$$\sigma_{ab} = \sigma_a P_b \quad (4.1)$$

biçiminde verilmiştir. Burada, a ve b bileşik çekirdek oluşma ve bozunma kanallarıdır. σ_{ab} ise bileşik çekirdek oluşum tesir kesitini temsil eder. P_b niceliği b kanalına bozunma ihtimalidir. Özel bir yörünge açısal momentum için bileşik çekirdek oluşum tesir kesiti,

$$\sigma_a = \pi \lambda_a^2 T_a \quad (4.2)$$

biçiminde tanımlanır. a kanalındaki iletim katsayısı T_a terimi ile gösterilir. İletim katsayısının değeri

$$T_a = 1 - |S_{aa}|^2 \quad (4.3)$$

eşitliği ile hesaplanır (Hauser ve Feshbach, 1952). Burada S_{aa} , ortalama S -matris elemanını gösterir. Karşılıklı teoremine göre tesir kesiti tersiyle ilişkilendirilebilir ve böylece

$$\lambda_a^2 \sigma_{ab} = \lambda_b^2 \sigma_{\hat{a}\hat{b}} \quad (4.4)$$

eşitliği yazılabilir. Burada $\hat{a}$ ve $\hat{b}$ terimleri ters zaman durumlarını gösterir. Son üç eşitlik yardımıyla

$$T_a P_b = T_{\hat{b}} P_{\hat{a}} \quad (4.5)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntının tüm a ve b kanalları için geçerli olması nedeniyle

$$\frac{P_{\hat{a}}}{T_a} = \frac{P_b}{T_{\hat{b}}} = \lambda \quad (4.6)$$

biçiminde düzenlenebilir. Burada λ bir sabittir. P olasılığı için

$$\sum_a P_{\hat{a}} = \lambda \sum_a T_a \quad (4.7)$$

eşitliği yazılabilir ve böylece P_b için

$$P_b = \lambda T_{\hat{b}} \frac{T_{\hat{b}}}{\sum_a T_a} \quad (4.8)$$

eşitliği elde edilir. Sonuçta Hauser-Feshbach formülü denilen, tesir kesiti hesaplamaları için kullanılan aşağıdaki formda bir eşitlik elde edilir.

$$\sigma_{ab} = \pi \tilde{\lambda}_a^2 \frac{T_a T_b}{\sum_i T_i} \quad (4.9)$$

Burada, T_a terimi uygun optik model potansiyellerinden hesaplanabilir (Akça, 2018; Şekerci, 2018; Hauser ve Feshbach, 1952).

4.1.2 Weisskopf-Ewing model

Weisskopf-Ewing modelde bağlanma enerjisi, seviye yoğunluğu parametresi, ters reaksiyon tesir kesiti ve çiftlenim terimleri reaksiyon sürecinin tanımlanmasında oldukça önemlidir. Bu modelde bileşik reaksiyon tesir kesiti

$$\sigma_{ab}^{WE} = \sigma_{ab}(E_{gel}) \frac{\Gamma_b}{\sum_b \Gamma_b} \quad (4.10)$$

eşitliği ile hesaplanabilir (Weisskopf ve Ewing, 1940). Burada, a ve b sırasıyla mermi ve ürün parçacığı gösterir. E_{gel} mermi parçacığının enerjisini sunar. Parçacık yayınlanma olasılığı,

$$\Gamma_b = \frac{2s_b+1}{\pi^2 \hbar^2} \mu_b \int d\varepsilon \sigma_b^{inv}(\varepsilon) \varepsilon \frac{\omega_1(U)}{\omega_1(E)} \quad (4.11)$$

eşitliği ile verilir. Ayrıca toplam uyarılmış tek parçacık durum yoğunluğu,

$$\omega_1(E) = \frac{1}{\sqrt{48}} \frac{\exp[2\sqrt{\alpha(E-D)}]}{E-D} \quad (4.12)$$

ile hesaplanır. σ_b^{inv} terimi ters reaksiyon tesir kesitini gösterir. E ise bileşik çekirdeğin uyarılma enerjisini sunar. μ_b ve s_b terimleri sırasıyla indirgenmiş kütleyi ve çıkan parçacığın spinini göstermektedir. D terimi çiftlenim enerjisini temsil eder. $\omega_1(E)$ terimi toplam uyarılmış tek parçacık durum yoğunluğudur (Yiğit, 2014, Akça, 2018; Durgu, 2010).

Tek parçacık durum yoğunluğu

$$\alpha = \frac{6}{\pi^2} g \quad (4.13)$$

eşitliği ile hesaplanır (Weisskopf ve Ewing, 1940).

4.2 Denge-öncesi Reaksiyonlar

Çeşitli nükleer reaksiyon süreçleri üzerine yapılan çalışmalar direk ve bileşik çekirdek yayınlanma mekanizmalarının dışında üçüncü bir nükleer reaksiyon yayınlanma türünün varlığını göstermiştir. Denge-öncesi yayınlanma olarak adlandırılan bu süreçte, mermi ve hedefin çarpışarak bir birleşik sistemin oluşması ile bileşik sistemin istatistik dengeye ulaşması arasında geçen sürede parçacık yayınlanması gerçekleşir. Yani bu reaksiyonlarda çekirdeğin istatistiksel denge durumu oluşmadan önce, parçacık yayınlanması mümkün olmaktadır. Denge-öncesi yayınlanma 10^{-22} - 10^{-18} saniye zaman aralığında meydana gelir. 10 MeV ile 200 MeV'in arasındaki gelme enerjilerinde denge-öncesi bileşen nükleer reaksiyon tesir kesitlerine ihmal edilmeyecek katkılarda bulunur. Denge-öncesi mekanizma, deneylerde görülmüş olan yüksek enerjili açılal dağılımların oluşmasının sebebidir. Eksiton model, İki bileşenli eksiton model, Hibrit model ve Geometri bağımlı hibrit model denge-öncesi sürecin katkılarını hesaplamakta kullanılan başarılı tahminlere sahip modellerdir (Akça, 2018; Yiğit, 2014).

4.2.1 Eksiton model

Eksiton modele göre, mermi ve hedef arasındaki ilk etkileşimden sonra uyarılmış durumdaki sistem giderek artan karmaşıklığa sahip (yani artan eksiton sayısında) bir yapı oluşturur ve denge durumu uzun zaman sonra çok yüksek eksiton sayılarında mümkün olur. Eksiton modelde süreç, parçacık-deşik sayılarına göre ifade edilir. Her bir olası parçacık-deşik çiftinde parçacık yayınlanma ihtimali vardır. (Cole, 2000; Hodgson vd., 1997; Şekerci, 2018)

Eksiton modelde, fermi enerji seviyesinin üzerindeki enerjili durumlar “parçacık” olarak adlandırılır ve p sembolü ile gösterilir. Diğer taraftan fermi enerji seviyesinin altındaki enerjili nükleonun, uyarıldıktan sonra bu düzeyin üzerine geçmesi ile oluşan boşluğa ise “deşik” denir ve h sembolü ile gösterilir. Giriş kanalının 0 deşik (hedef) ve 1 parçacık (mermi parçacık) durumlarından oluştuğu bir nükleer reaksiyon

mekanizması, merminin hedef çekirdekteki parçacıklardan birini uyararak parçacık-deşik durumu oluşturduğu bir dizi $2p-1h$ veya $1p-0h$ durumları ile sonuçlanabilir. Bu durumların her birinden denge-öncesi parçacık olarak adlandırılan parçacıkların yayınlanma ihtimali vardır, ancak uyarılma enerjisi her bir yeni aşamada nükleonlar arasında dağıldığından, parçacık yayınlanma ihtimali aşamadan aşamaya düşmektedir (Carlson, 2001). Bu ihtimalin hesaplanması ile denge-öncesi aşamalarındaki yayınlanma verisine ulaşılır. Eksiton modelde denge-öncesi hesaplamalar, Cline ve Blann (1971) tarafından master denklemlerinin çözümü ile verilir.

$$-q(n, t = 0) = \lambda_+(E, n + 2)\tau(n + 2) + \lambda_-(E, n - 2)\tau(n - 2) - [\lambda_+(E, n) + \lambda_-(E, n) + L(E, n)]\tau(n) \quad (4.14)$$

Bu eşitlikte, $-q(n, t = 0)$ niceliği başlangıçta n eksitonlu durumda bulunma olasılığını sunar. E bileşik çekirdeğin uyarılma enerjisidir. $L(E, n)$, n eksitonlu durumdan tüm enerjilerde yayınlanma hızını verir. $\tau(n)$ terimi ise sistemin n eksitonlu bir durumda kalma zamanını göstermektedir. λ_- ve λ_+ ; $n \rightarrow n-2$ ve $n \rightarrow n+2$ durumlarına geçiş hızlarıdır. Gelen nükleonlar tarafından oluşturulan nükleer reaksiyonlar için başlangıç deşik sayısı $h_0=1$ ve başlangıç parçacık sayısı ise $p_0=2$ 'dir (Tel, 2010).

Griffin'in Eksiton modeline (Griffin, 1966) göre etkileşim sırasında oluşan parçacık-deşik çiftleri için nükleon türleri arasında ayırım yapılmamaktadır. Diğer taraftan, iki bileşenli eksiton modele göre ise, parçacık-deşik çiftlerinin belirlenmesinde nükleonların türüne göre analiz yapılır. Bu modelde protonlar için parçacık sayısı p_π , deşik sayısı h_π ve eksiton sayısı $n_\pi = p_\pi + h_\pi$ eşitlikleri ile verilir. Gelen parçacık nötron ise bu eşitlikler v indisi kullanılarak yazılabilir. Yani, gelen nötronlar için parçacık sayısı p_v , deşik sayısı h_v ve eksiton sayısı $n_v = p_v + h_v$ şeklinde olur. Böylece, yükten bağımsız parçacık sayısı $p = p_\pi + p_v$, deşik sayısı $h = h_\pi + h_v$ ve eksiton sayısı $n = n_\pi + n_v$ eşitlikleri ile gösterilir (Şekerci, 2018; Büyükuslu 2010).

Eksiton durumlarının belirli bir sınıfı için sistemin zamansal gelişimi, kazanç ve kayıp koşullarını açıklayan bir temel eşitlik boyunca belirlenir (Koning ve Duijvestijn, 2004). Bu eşitliğin, denge durumuna kadarki zaman τ_{denge} üzerinden integre edilmesi,

tesir kesitinin hesaplanmasında kullanılan eksiton durumunun ortalama ömrü τ 'yu verir (Kalbach, 1986). Sonuç olarak, bu modelde denge-öncesi yayınlama için temel eşitlik

$$\frac{d\sigma_k^{PE}}{dE_k} = \sigma^{CF} \sum_{p_\pi=p_\pi^0}^{p_\pi^{max}} \sum_{p_v=p_v^0}^{p_v^{max}} W_k(p_\pi, h_\pi, p_v, h_v, E_k) \tau(p_\pi, h_\pi, p_v, h_v) P(p_\pi, h_\pi, p_v, h_v) \quad (4.15)$$

şeklinde verilebilir. Bu eşitlikte, E_k ve W_k terimleri sırasıyla çıkan k parçacığının yayınlanma enerjisi ve yayınlama hızlarıdır. P faktörü, önceki eksiton durumlarında yayınlanmadan kurtulmuş ve yeni parçacık değişik yapılandırmalarından geçen denge-öncesi popülasyonun bir parçasını verir. σ^{CF} bileşik çekirdeğin oluşum tesir kesitini gösterir (Koning vd., 2015).

Bileşik çekirdek oluşum tesir kesiti

$$\sigma^{CF} = \sigma_{reaks.} + \sigma_{direkt} \quad (4.16)$$

eşitliği ile verilir. Burada, $\sigma_{reaks.}$ optik modelden hesaplanan tesir kesiti ve σ_{direkt} direkt reaksiyonlar ile dev rezonansların ayırık durumlarının toplam tesir kesitidir. Başlangıçtaki proton ve nötron parçacık sayıları, $p_\pi^0 = Z_p$ ve $p_v^0 = N_p$ biçiminde verilir. Burada Z_p ve N_p merminin proton ve nötron sayılarıdır. Sürecin herhangi bir uyarılmış durumunda $h_v = p_v - p_v^0$ ve $h_\pi = p_\pi - p_\pi^0$ şeklinde olacağından dolayı, denge-öncesi temel yayınlanma için başlangıç değişik sayıları $h_\pi^0 = h_v^0 = 0$ olacaktır. Böyle bir nükleer duruma örnek olarak nötron parçacıklarının oluşturduğu bir nükleer reaksiyon düşünüldüğünde, başlangıçtaki eksiton sayısı $n_0 = n_v^0 = 1$ ($0p_\pi 0h_\pi 1p_v 0h_v$) olacak ve bu durumda sadece denge-öncesi gama yayınlanması mümkün olacaktır. Parçacık yayınlanma durumu ise, sadece $n_0 = 3$ ($2p1h$) ve daha üst eksiton koşullarında mümkündür (Koning vd., 2015; Şekerci, 2018).

4.2.2 Geometri bağımlı hibrit model

Eksiton modeldeki kısmi durum yoğunluklarının kullanılmasıyla belirlenen denge boyunca uyarılmış parçacık popülasyonları ve parçacıkların ortalama serbest yollarının hesaplanmasıyla elde edilen uyarılmış parçacıkların İntranükleer geçiş oranları dikkate alınarak denge-öncesi Hibrit model önerilmiştir. Bu modelin ilk

formülasyonunda ortalama serbest yola ve sonraki formülasyonlarda ise sanal optik potansiyele dayalı değerler kullanılmıştır (Akça, 2018).

Daha sonraki çalışmalarda, tesir kesiti üzerine nükleer yüzeyden kaynaklanan bir spektral katkının olduğu görülmüştür. Böylece, tesir kesiti üzerine yüksek etki parametresi yoluyla nükleer yoğunluk dağılımının etkisi Blann tarafından gösterilmiş ve Geometri bağımlı hibrit model (Blann ve Vonach, 1983) geliştirilmiştir. Geometri bağımlı hibrit (GDH) modele göre nükleonların denge-öncesi yayınlanma spektrumu,

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon_x} = \pi\lambda^2 \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) T_l \sum_{n=n_0} n X_x \frac{\omega(p-1, h, U)}{\omega(p, h, E)} \frac{\lambda_x^e}{\lambda_x^e + \lambda_x^+} g D_n \quad (4.17)$$

eşitliği ile verilir. Burada, λ terimi, mermi parçacığının indirgenmiş de-Broglie dalga boyunu gösterir. T_l ise, l 'inci kısmi dalganın geçiş katsayısıdır. ε niceliği, nükleonun kanal enerjisi ve σ nükleer tesir kesitidir. Ayrıca $n X_x$ terimi, x nükleon tipini göstermek üzere n eksiton durumundaki nükleon sayısıdır. $\omega(p, h, E)$ terimi E uyarılma enerjisinde h deşiklerine ve p parçacıklarına sahip eksiton durumlarının yoğunluğunu gösterir. g terimi çıkan nükleonun tek parçacık yoğunluğudur. λ_x^e terimi nükleon yayınlanma hızına karşılık gelir. λ_x^+ terimi intranükleer geçiş hızını temsil eder. D_n niceliği, nükleon yayınlanma durumunda n eksiton durumunun azaltma çarpanıdır. n_0 , başlangıç eksiton sayısını gösterir. Ayrıca, son uyarılma enerjisi

$$U = E - Q_x - \varepsilon_x \quad (4.18)$$

eşitliği ile verilir. Burada, Q terimi nükleon ayrılma enerjisini gösterir (Broeders vd., 2006).

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

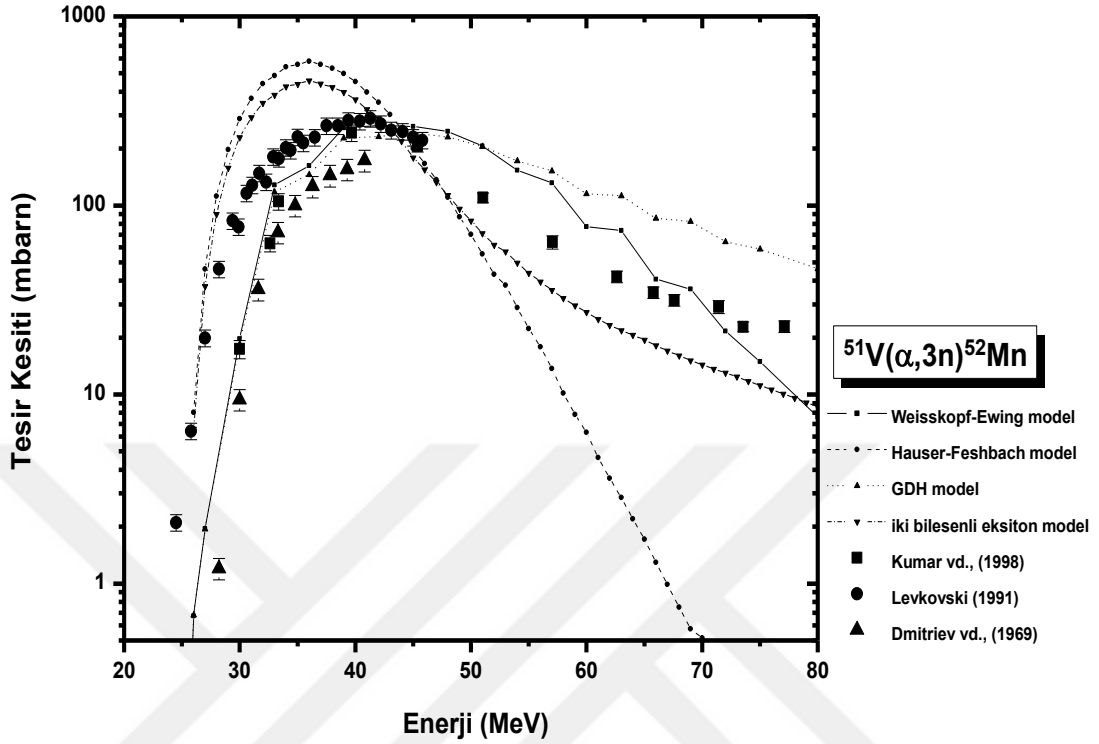
Bu tez çalışmasında, $^{51}\text{V}(\alpha,3n)^{52}\text{Mn}$, $^{50}\text{Cr}(\alpha,n\alpha)^{49}\text{Cr}$, $^{52}\text{Cr}(\alpha,np)^{54}\text{Mn}$, $^{53}\text{Cr}(\alpha,p)^{56}\text{Mn}$, $^{55}\text{Mn}(\alpha,3n)^{56}\text{Co}$, $^{54}\text{Fe}(\alpha,p)^{57}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(\alpha,n)^{62}\text{Cu}$, $^{59}\text{Co}(\alpha,n\alpha)^{58}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(\alpha,2p)^{61}\text{Co}$, $^{58}\text{Ni}(\alpha,p)^{61}\text{Cu}$, $^{60}\text{Ni}(\alpha,n)^{63}\text{Zn}$, $^{63}\text{Cu}(\alpha,n)^{66}\text{Ga}$ ve $^{63}\text{Cu}(\alpha,2n)^{65}\text{Ga}$ nükleer reaksiyonlarının uyarılma fonksiyonları hesaplandı.

Tezde alfalarla oluşturulan reaksiyonlarda parçacık yayınlanmaları üzerine denge ve denge-öncesi süreçlerinin etkisi araştırıldı. Hesaplamalarda ALICE/ASH ve TALYS 1.9 nükleer reaksiyon kodları kullanılmıştır. ALICE/ASH hesaplamaları Weisskopf-Ewing model ve Geometri bağımlı hibrit model, TALYS 1.9 hesaplamaları ise Hauser-Feshbach model ve İki bileşenli eksiton model kullanılarak elde edilmiştir. Geometri bağımlı hibrit model başlangıç nötron (n) ve proton (p) eksiton sayılarına ihtiyaç duyar. Bu model hesaplamalarında başlangıç eksiton sayısı için $n_0=5$ (4 parçacık-1 deşik) kullanılmıştır. Başlangıç uyarılmış nötron ve proton sayıları iki olarak alınmıştır. Ayrıca bu modelde Fermi gaz yüzey yoğunluğu ifadesi ve deneysel kütleler kullanılmıştır. Kütlelerin hesabındaki çiftlenim terimi, Shell düzeltmesi boyunca hesaplanmıştır. ALICE/ASH kodunda Fermi gaz modelde seviye yoğunluk parametresi $a=A/20$ olarak kabul edilmiştir. TALYS 1.9 reaksiyon kodunda seviye yoğunluk hesaplamaları için sabit sıcaklık modeli (CTM-Constant Temperature Model) kullanılmıştır. Tüm bu hesaplamalardan elde edilen tesir kesitleri mevcut deneysel verilerle Şekil 5.1-13’de karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

5.1 $^{51}\text{V}(\alpha,3n)^{52}\text{Mn}$ Reaksiyonu

^{51}V hedef çekirdeği üzerine alfalarla oluşturulan $^{51}\text{V}(\alpha,3n)^{52}\text{Mn}$ reaksiyonu ile ilgili tesir kesiti verileri Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Hem ALICE/ASH hem de TALYS 1.9 reaksiyon kodları ile yapılan denge ve denge-öncesi model hesaplamaları düşük enerjilerde birbirlerine yakın değerler verirken, artan enerjiyle bu tahminler farklılaşmaktadır. Kumar vd., (1998) tarafından gerçekleştirilen deney ile ALICE/ASH tesir kesiti hesaplama sonuçları 45,39 MeV’lik enerjiye kadar oldukça uyumlu görünürken, bu enerjinin üzerinde uyum azalmaktadır. Aynı zamanda ALICE/ASH ile yapılan denge ve denge-öncesi model tesir kesiti hesaplamaları, Dmitriev vd., (1969)’nin verileri ile de kabul edilebilir bir uyuma sahiptir. Araştırılan

reaksiyon için Levkovski (1991) ve Dmitriev vd., (1969)'nin ölçümlerinin oldukça farklı sonuçlar verdiği Şekil 5.1'den görülmektedir.



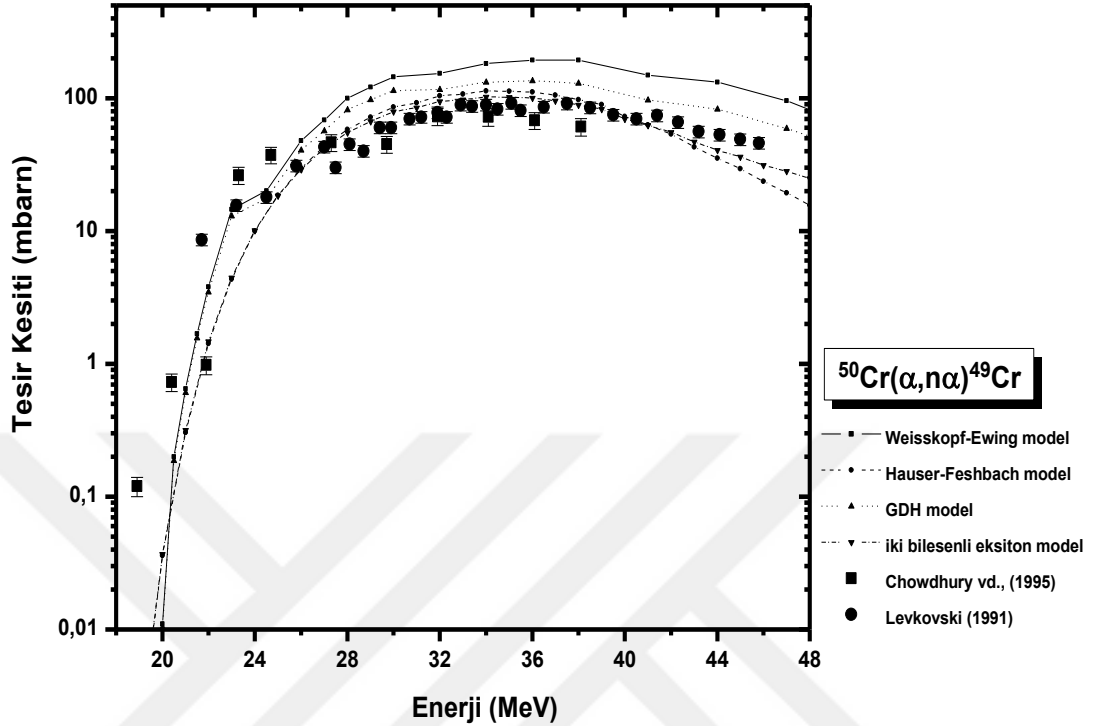
Şekil 5.1. $^{51}\text{V}(\alpha,3n)^{52}\text{Mn}$ reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

Düşük enerjilerde TALYS 1.9 kodunun tahminleri, Levkovski (1991)'nin ölçtüğü tesir kesiti verileri ile yakın değerlere sahiptir. Aynı zamanda yaklaşık 40-46 MeV'lik gelme enerjisi civarında Kumar vd., (1998) ve Levkovski (1991) tarafından ölçülen tesir kesiti verileri hem ALICE/ASH hem de TALYS 1.9 kodunun verileri ile uyumludur.

5.2 $^{50}\text{Cr}(\alpha,n\alpha)^{49}\text{Cr}$ Reaksiyonu

Araştırılan $^{50}\text{Cr}(\alpha,n\alpha)^{49}\text{Cr}$ nükleer reaksiyonuna ait denge ve denge-öncesi modeller ile deneysel veriler Şekil 5.2'de görülmektedir. Deney ve hesaplama sonuçları yaklaşık 26 MeV'lik enerjiye kadar artan gelme enerjisiyle artarken, daha sonra neredeyse sabit tesir kesitleri verir. ALICE/ASH kodu ile gerçekleştirilen hesaplamalar ile TALYS 1.9 kodunun üzerinde tesir kesiti değerleri elde edilmiştir.

Ayrıca TALYS 1.9 reaksiyon kodu ile denge ve denge-öncesi yayınlanmaları içeren tahminler neredeyse aynı sonuçları vermiştir.

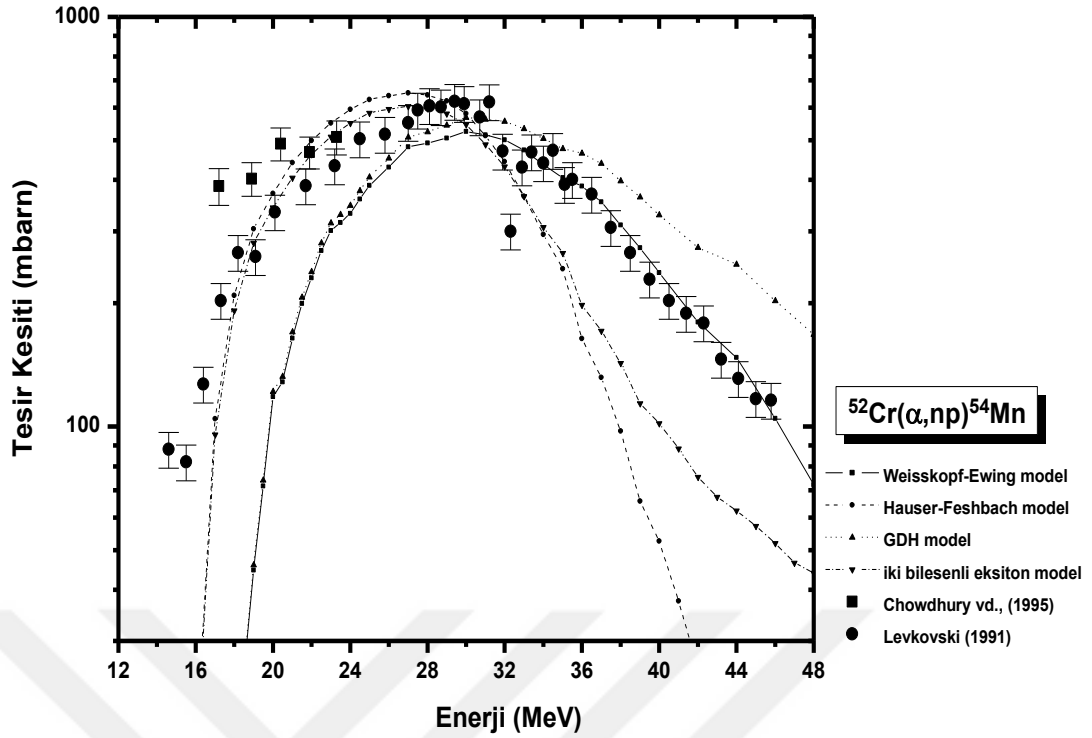


Şekil 5.2. $^{50}\text{Cr}(\alpha, n\alpha)^{49}\text{Cr}$ reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

Araştırılan nükleer reaksiyon için Levkovski (1991) tarafından elde edilen uyarılma fonksiyonu birkaç veri noktası hariç TALYS 1.9 kodunun tesis kesiti hesaplama sonuçlarıyla benzer bir eğri oluşturmuştur. Bu reaksiyon için 28 MeV'in üzerindeki alfa enerjilerinde Chowdhury vd., (1995)'in tesis kesiti ölçümleri, TALYS 1.9 kodu ile daha iyi benzerlik göstermiştir.

5.3 $^{52}\text{Cr}(\alpha, np)^{54}\text{Mn}$ Reaksiyonu

Şekil 5.3'de $^{52}\text{Cr}(\alpha, np)^{54}\text{Mn}$ nükleer reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekil 5.3'den görüldüğü üzere ALICE/ASH ve TALYS 1.9 kodları ile elde edilen veriler farklı spektrumlara sahiptirler.



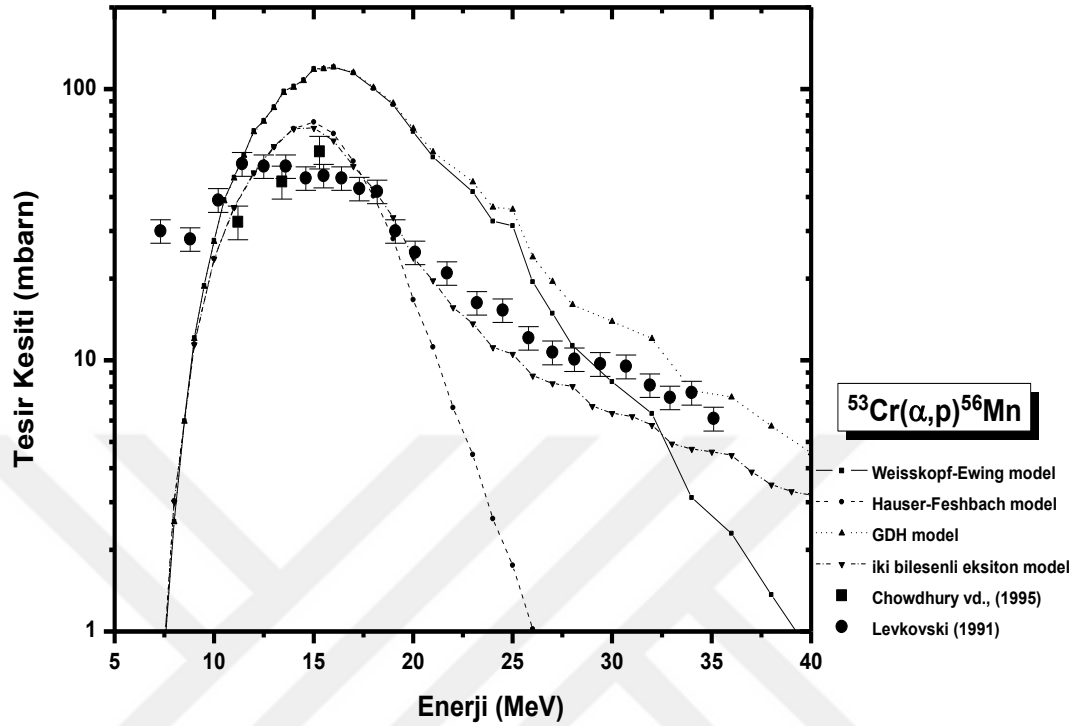
Şekil 5.3. $^{52}\text{Cr}(\alpha, np)^{54}\text{Mn}$ reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

Yaklaşık 32 MeV'lik gelme enerjisine kadar birkaç veri noktası hariç Levkovski (1991) tarafından belirlenen tesir kesiti verilerini, TALYS 1.9 kodu ile elde edilen denge ve denge-öncesi model hesaplamaları doğrulamaktadır. Bu gelme enerjisinin üzerinde ise Levkovski (1991)'nin ölçümü ile ALICE/ASH kodunun Weisskopf-Ewing model hesaplamaları arasındaki uyum mükemmeldir. İncelenen alfa reaksiyonunda Chowdhury vd., (1995)'nin 17,2 MeV gelme enerjisindeki verisi hariç ölçtüğü diğer tesir kesiti değerleri TALYS 1.9 kodu ile benzer sonuçlar vermiştir.

5.4 $^{53}\text{Cr}(\alpha, p)^{56}\text{Mn}$ Reaksiyonu

Hedef ^{53}Cr izotopunun (α, p) reaksiyonuna ait uyarılma fonksiyonu sonuçları Şekil 5.4'de gösterilmiştir. 10-20 MeV'lik alfa enerji aralığında uyarılma fonksiyonları maksimum tesir kesiti verilerine sahiptir. Maksimum tesir kesiti bölgesine kadar denge ve denge-öncesi modellerin sonuçları neredeyse aynı tesir kesiti değerlerine sahiptir. Maksimum bölgede ALICE/ASH kodu en yüksek hesaplama sonuçlarını vermiştir. İki bileşenli eksiton model kullanılarak elde edilen uyarılma fonksiyonu, birkaç veri

noktası hariç Chowdhury vd., (1995) ve Levkovski (1991) tarafından belirlenen deneysel tesir kesiti verileri ile büyük oranda uyushmaktadır.

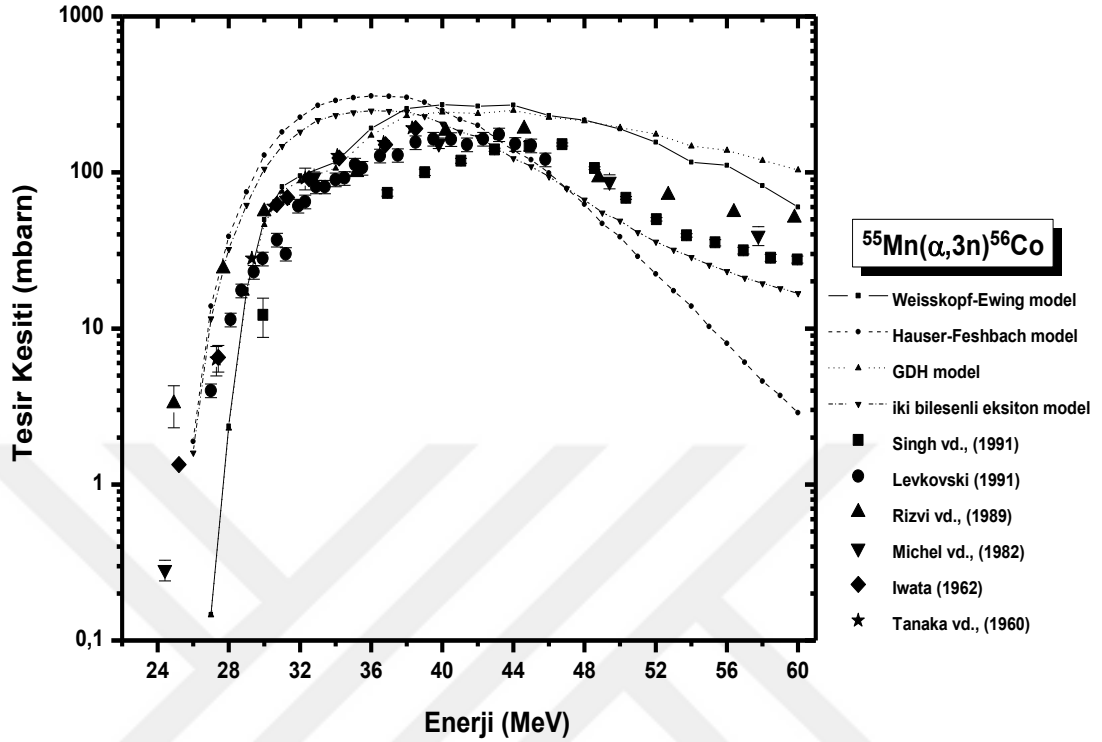


Şekil 5.4. $^{53}\text{Cr}(\alpha,p)^{56}\text{Mn}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

5.5 $^{55}\text{Mn}(\alpha,3n)^{56}\text{Co}$ Reaksiyonu

Şekil 5.5’de $^{55}\text{Mn}(\alpha,3n)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu için Singh vd., (1991), Levkovski (1991), Rizvi vd., (1989), Michel vd., (1982), Iwata (1962) ve Tanaka vd., (1960) tarafından bildirilen deneysel tesir kesitleri ile denge ve denge-öncesi model hesaplama sonuçları karşılaştırılmıştır. TALYS 1.9 ve ALICE/ASH kodları kullanılarak belirlenen uyarılma fonksiyonlarının hem büyüklük hem de spektrum olarak birbirlerinden farklı olduğu Şekil 5.5’den görölmektedir. Bu reaksiyon için yaklaşık 30-38 MeV’lik enerji aralığında Iwata (1962) ve Tanaka vd., (1960)’nin ölçölmüş tesir kesiti değerleri ALICE/ASH hesaplama sonuçları ile kabul edilebilir benzerlik göstermiştir. Bu enerji aralığında Levkovski (1991) ve Singh vd., (1991) tarafından yapılan deneysel sonuçlar ise ALICE/ASH hesaplamalarından biraz daha düşük tesir kesiti vermiştir. 45 MeV’in üzerindeki alfa enerjilerde Rizvi vd., (1989), Michel vd., (1982) ve Singh vd.,

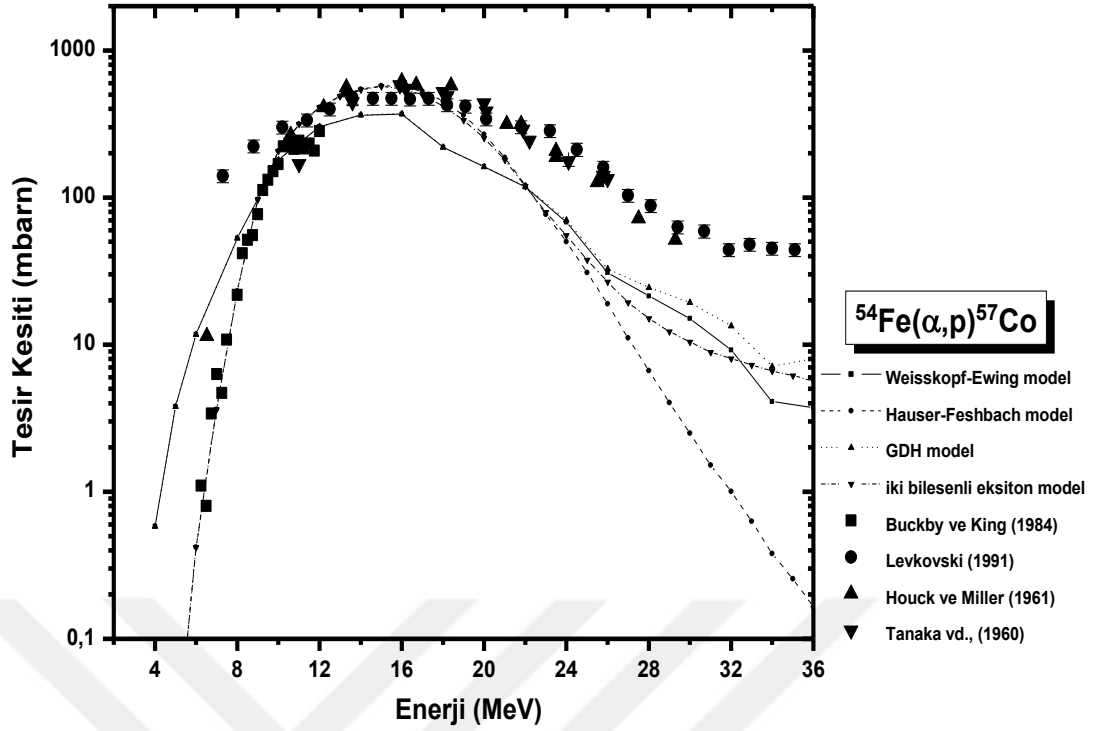
(1991)'nin ölçümlerinden elde edilen veriler, TALYS 1.9 ve ALICE/ASH uyarılma fonksiyonlarının arasında kalmıştır.



Şekil 5.5. $^{55}\text{Mn}(\alpha,3n)^{56}\text{Co}$ reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

5.6 $^{54}\text{Fe}(\alpha,p)^{57}\text{Co}$ Reaksiyonu

$^{54}\text{Fe}(\alpha,p)^{57}\text{Co}$ nükleer reaksiyonunun hesaplama ve ölçüm sonuçları Şekil 5.6'da sunulmaktadır. Buckby ve King (1984)'in deneysel tesis kesiti verileri ile TALYS 1.9 kodunun hesaplama sonuçları düşük enerjilerde oldukça güzel bir uyum gösterirken, yaklaşık 11-12 MeV'lik enerjilerde bu uyum ALICE/ASH kodu ile sağlanmıştır. İncelenen reaksiyon için uyarılma fonksiyonları 12-20 MeV'lik enerji bölgesinde maksimum tesis kesitleri vermiştir. Bu bölgede TALYS 1.9 kodu kullanılarak elde edilen denge ve denge-öncesi model hesaplamaları, Levkovski (1991), Houck ve Miller (1961) ve Tanaka vd., (1960)'nin deneysel değerleri ile iyi bir harmoni sağlamıştır.

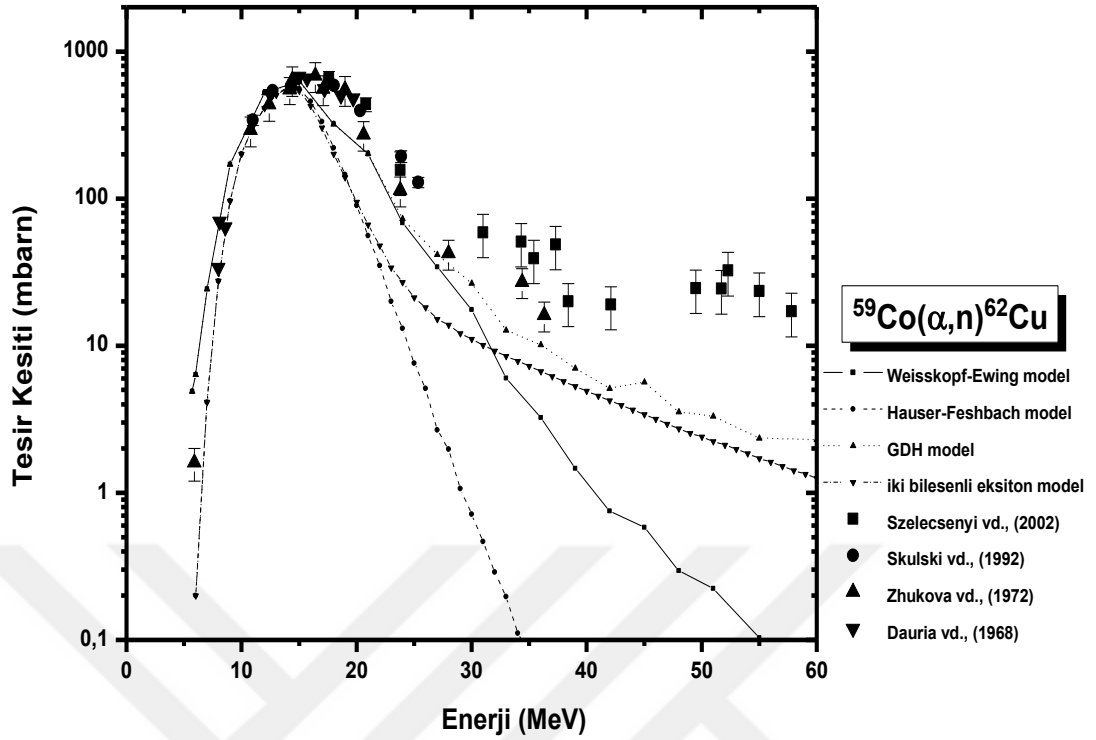


Şekil 5.6. $^{54}\text{Fe}(\alpha,p)^{57}\text{Co}$ reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

Uyarılma fonksiyonlarının kuyruk kısmında ise deneysel ve teorik bulgular birbirinden oldukça farklıdır. Bu bölgede denge ve denge-öncesi model sonuçları deneysel değerlerin oldukça altında sonuçlar vermiştir.

5.7 $^{59}\text{Co}(\alpha,n)^{62}\text{Cu}$ Reaksiyonu

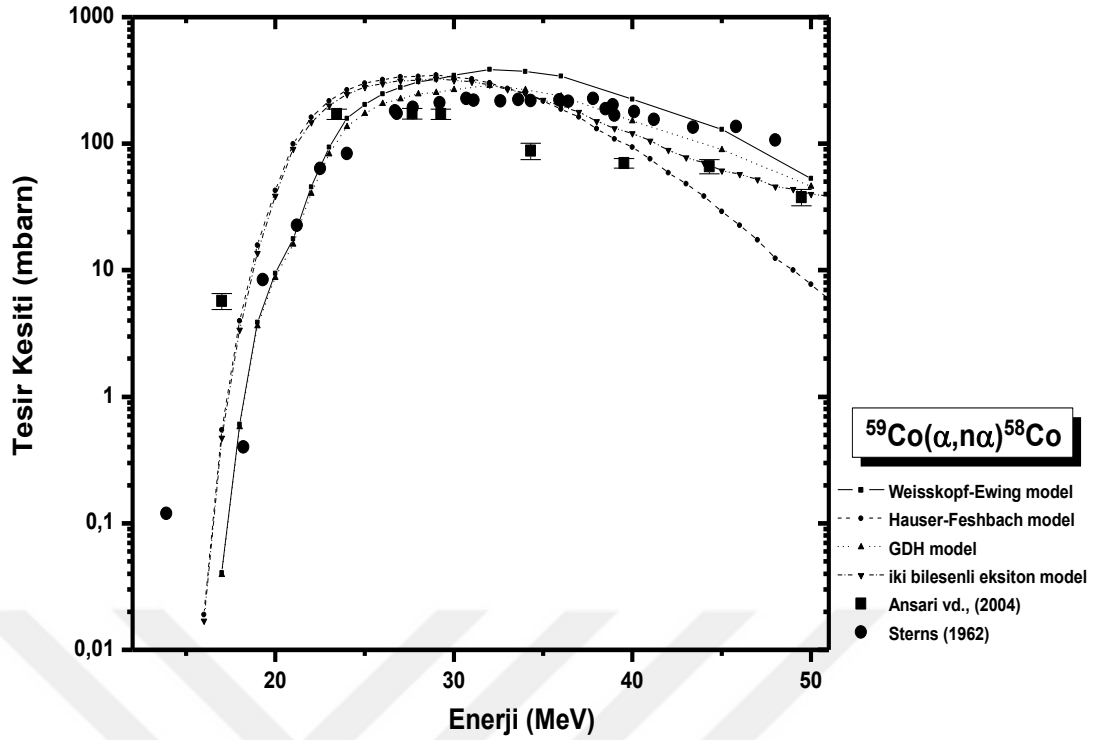
$^{59}\text{Co}(\alpha,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonunun hesaplanan ve deneysel tesis kesitleri Şekil 5.7’de karşılaştırılmıştır. Araştırılan reaksiyon için uyarılma fonksiyonları yaklaşık 10-20 MeV’lik enerji aralığında maksimum sonuçlar vermiştir. Dauria vd., (1968) ve Skulski vd., (1992) tarafından belirlenen tesis kesitleri maksimum bölgeye kadar hesaplama sonuçları ile uyumlu iken daha yüksek enerjilerde bu uyum kaybolmaktadır. 25 MeV’in üzerindeki alfa enerjilerinde Hauser-Feshbach modelin tesis kesiti sonuçları oldukça düşüktür. 17,6-57,8 MeV aralığındaki gelme enerjilerinde Szelecsenyi vd., (2002) tarafından belirlenen uyarılma fonksiyonunun, denge ve denge-öncesi model hesaplama sonuçlarından daha büyük değerler verdiği Şekil 5.7’den görülmektedir. Geometri bağımlı hibrit model kullanılarak elde edilen uyarılma fonksiyonu ile Zhukova vd., (1972)’nin deneysel sonuçları arasındaki uyum birkaç veri hariç iyidir.



Şekil 5.7. $^{59}\text{Co}(\alpha,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

5.8 $^{59}\text{Co}(\alpha,n\alpha)^{58}\text{Co}$ Reaksiyonu

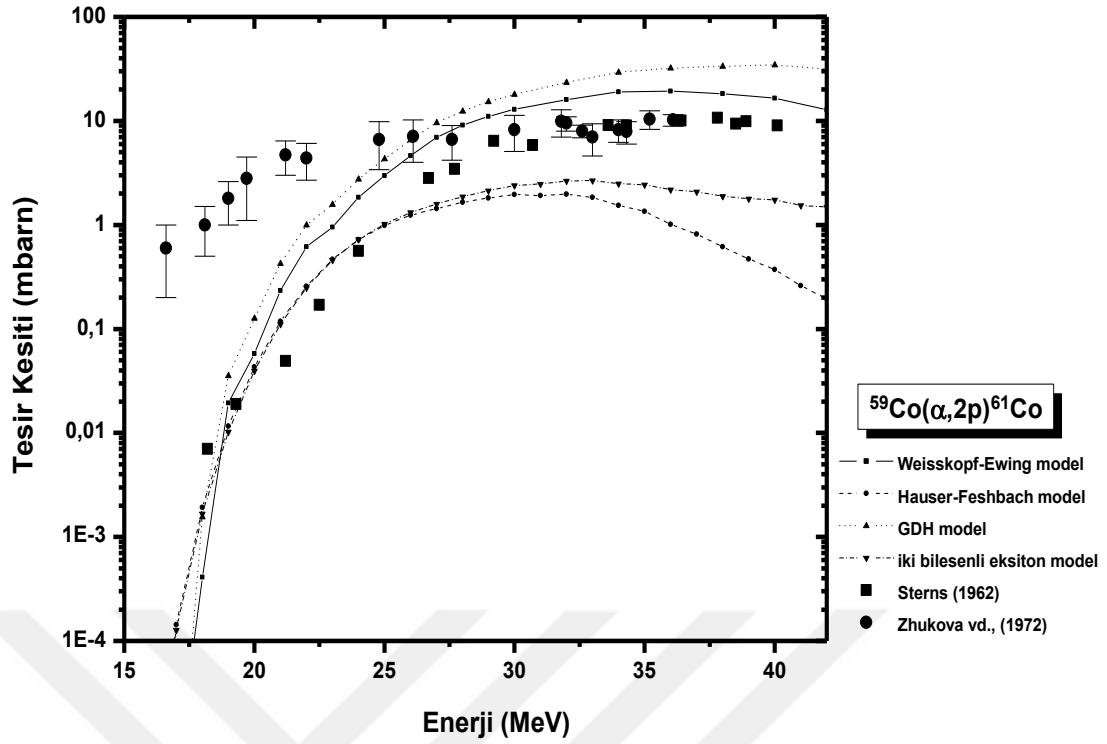
$^{59}\text{Co}(\alpha,n\alpha)^{58}\text{Co}$ nükleer reaksiyonu için uyarılma fonksiyonları Şekil 5.8’de sunulmuştur. Bu reaksiyon için uyarılma fonksiyonları 25-40 MeV’lik enerji aralığında geniş bir maksimum pik oluşturmuştur. Bu alfa reaksiyonu için ALICE/ASH koda denge-öncesi yayınlanmaların etkisini içeren Geometri bağımlı hibrit model ile hesaplanan uyarılma fonksiyonunun Sterns (1962)’in deneysel değerleri ile uyumu birkaç veri noktası hariç kabul edilebilirdir. Yaklaşık 25-40 MeV enerji aralığında model temelli hesaplama sonuçlarının, Ansari vd., (2004)’nin ölçüm sonucundan daha yüksek değerler verdiği Şekil 5.8’den görülmektedir.



Şekil 5.8. $^{59}\text{Co}(\alpha, n\alpha)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

5.9 $^{59}\text{Co}(\alpha, 2p)^{61}\text{Co}$ Reaksiyonu

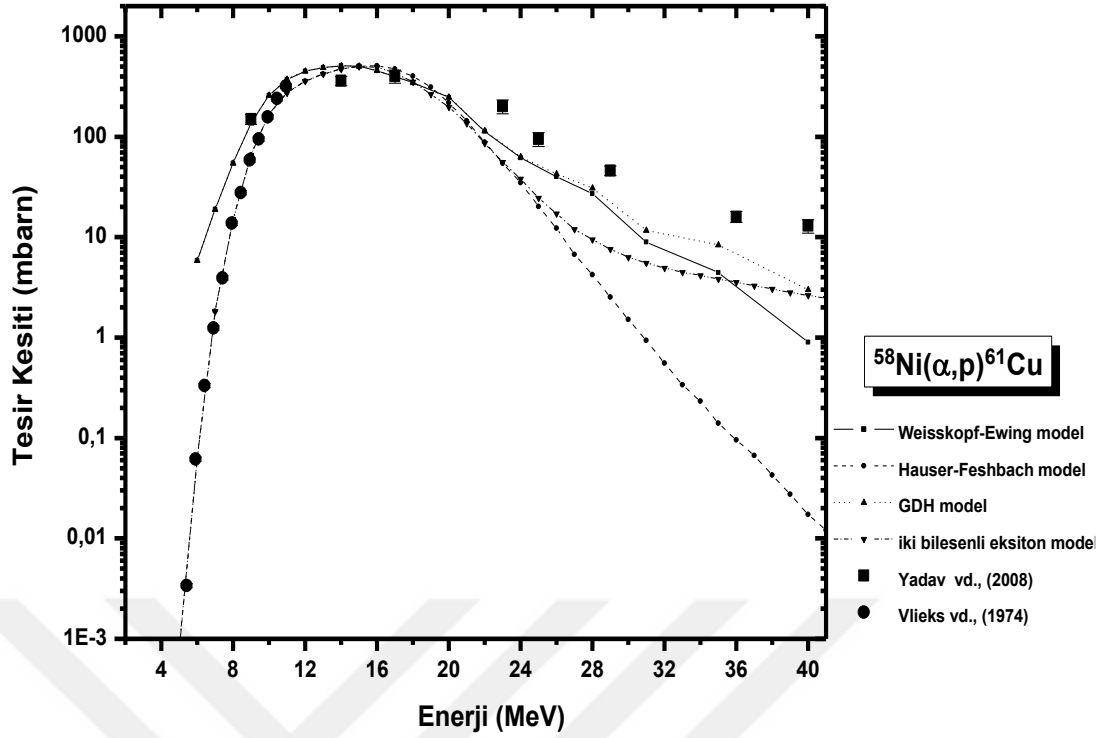
$^{59}\text{Co}(\alpha, 2p)^{61}\text{Co}$ nükleer reaksiyonu için Sterns (1962) ve Zhukova vd., (1972)'nin deneysel değerleri ile hesaplanan tesir kesitlerinin karşılaştırılması Şekil 5.9'da sunulmuştur. Düşük gelme enerjilerinde Zhukova vd., (1972)'nin ölçüm sonuçları, Sterns (1962)'in uyarılma fonksiyonu ile hesaplama verilerinin üzerinde kalmıştır. Araştırılan reaksiyon için yaklaşık 24 MeV'in üzerinde ALICE/ASH kodu ile denge ve denge-öncesi model hesaplama sonuçlarının, TALYS 1.9 kodu kullanılarak tahmin edilen tesir kesiti değerlerinden oldukça yüksek değerler verdiği görülmüştür. Ayrıca yaklaşık 24-32 MeV enerji aralığında Zhukova vd., (1972)'nin verileri ile Weisskopf-Ewing model sonuçları kabul edilebilir bir uyum içerisindedir.



Şekil 5.9. $^{59}\text{Co}(\alpha,2p)^{61}\text{Co}$ reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

5.10 $^{58}\text{Ni}(\alpha,p)^{61}\text{Cu}$ Reaksiyonu

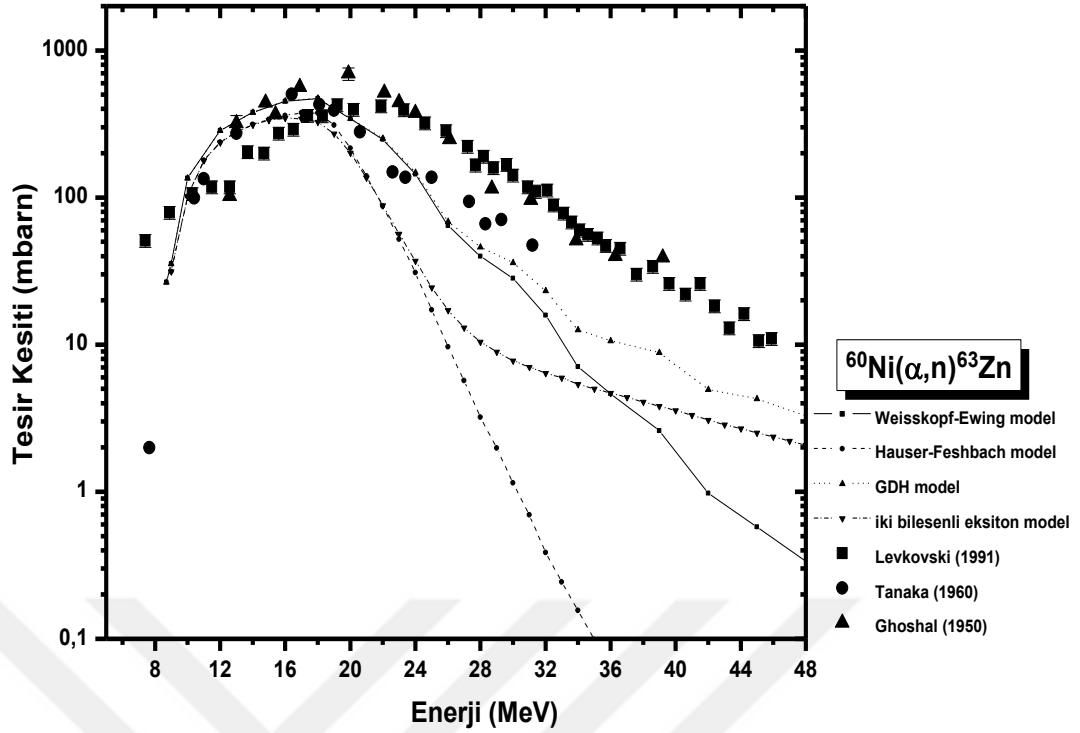
$^{58}\text{Ni}(\alpha,p)^{61}\text{Cu}$ nükleer reaksiyonu için uyarılma fonksiyonları Şekil 5.10'da verilmiştir. Hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının maksimum tesis kesitlerini verdiği enerji aralığının 10-20 MeV'lik bölge olduğu görülmüştür. Maksimum bölgede Yadav vd., (2008) tarafından ölçülen tesis kesiti değerleri hesaplamalarla uyumlu görülürken daha yüksek enerjilerde bu uyum kaybolmaktadır. Bu reaksiyon için 5,4-10,93 MeV'lik gelme enerjisi aralığında Vlieks vd., (1974) tarafından bildirilen ölçüm sonuçları ile TALYS 1.9 kodu kullanılarak elde edilen denge ve denge-öncesi yayınlanmaları içeren model hesaplamaları mükemmel bir uyum içerisinde. Yüksek gelme enerjilerinde TALYS 1.9 kodu içerisinde Hauser-Feshbach model kullanılarak elde edilen hesaplamaların en düşük tesis kesiti değerlerini verdiği Şekil 5.10'dan görülmektedir.



Şekil 5.10. $^{58}\text{Ni}(\alpha,p)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

5.11 $^{60}\text{Ni}(\alpha,n)^{63}\text{Zn}$ Reaksiyonu

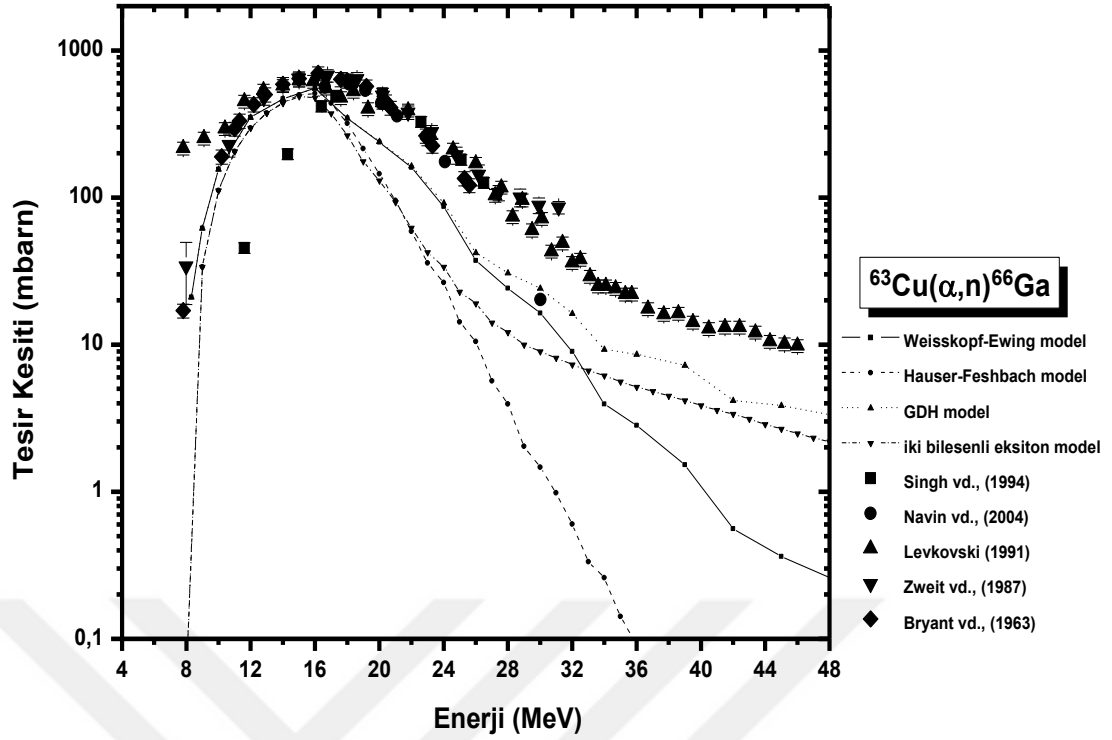
$^{60}\text{Ni}(\alpha,n)^{63}\text{Zn}$ nükleer reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel değerlerle karşılaştırılması Şekil 5.11’de sunulmuştur. Bu reaksiyon için yaklaşık 14-20 MeV’lik enerji aralığında maksimum tesis kesitleri elde edilmiştir. Maksimum bölgenin üzerinde Levkovski (1991) ve Ghoshal (1950)’in uyarılma fonksiyonları, denge ve denge-öncesi modeller kullanılarak elde edilen hesaplama verilerinin üzerinde sonuçlar vermiştir. 7,66-31,2 MeV’lik enerji aralığında Tanaka (1960) tarafından bildirilen tesis kesiti değerleri ile ALICE/ASH hesaplama sonuçları bir kaç veri noktası hariç kabul edilebilir bir uyum vermiştir.



Şekil 5.11. $^{60}\text{Ni}(\alpha,n)^{63}\text{Zn}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

5.12 $^{63}\text{Cu}(\alpha,n)^{66}\text{Ga}$ Reaksiyonu

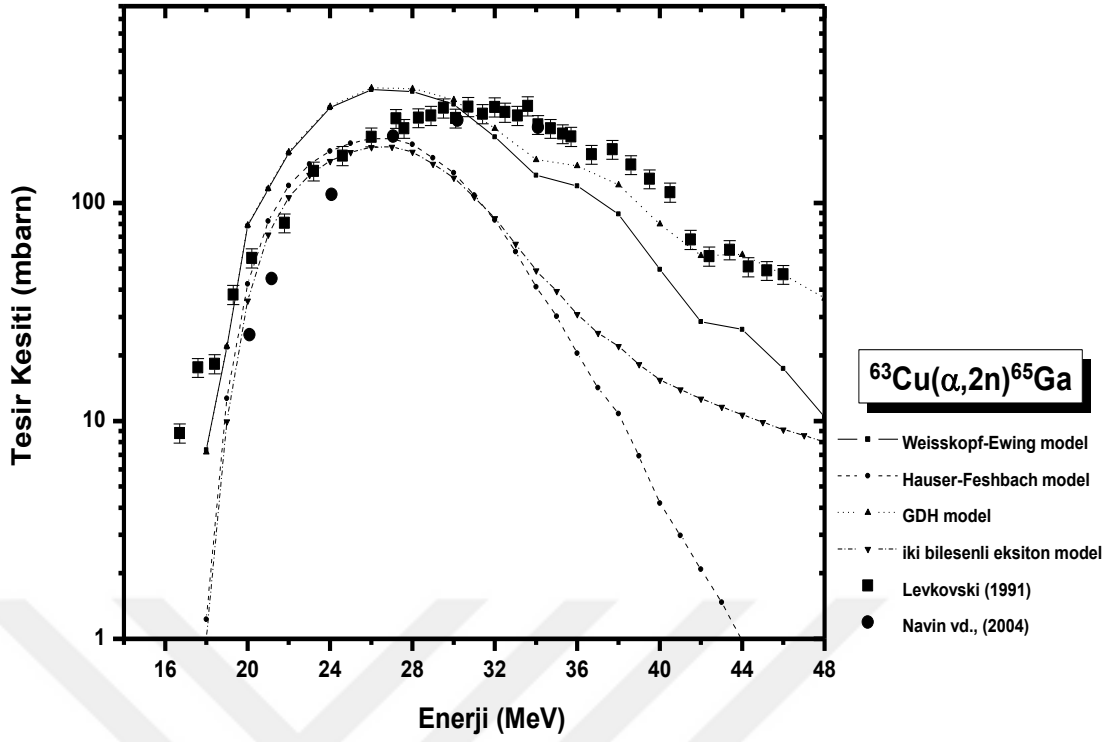
Şekil 5.12’de $^{63}\text{Cu}(\alpha,n)^{66}\text{Ga}$ nükleer reaksiyonun denge ve denge-öncesi modeller kullanılarak elde edilen tesis kesiti verileri ile Singh vd., (1994), Navin vd., (2004), Levkovski (1991), Zweit vd., (1987) ve Bryant vd., (1963)’nin deneysel değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Uyarılma fonksiyonları 10-20 MeV’lik alfa enerjisinde pık vermiştir. Bu nükleer reaksiyon için 20 MeV’lik enerjiye kadar deneysel tesis kesiti değerleri ile teorik hesaplama sonuçları birkaç veri hariç kabul edilebilir bir uyum sağlamıştır. Ayrıca daha yüksek enerjilerde ise hesaplama sonuçları deneysel verilerin oldukça altında yer almıştır. Hauser-Feshbach model ile elde edilen hesaplamaların 25 MeV’in üzerinde en düşük tesis kesiti değerlerini verdiği görülmüştür.



Şekil 5.12. $^{63}\text{Cu}(\alpha,n)^{66}\text{Ga}$ reaksiyonun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

5.13 $^{63}\text{Cu}(\alpha,2n)^{65}\text{Ga}$ Reaksiyonu

$^{63}\text{Cu}(\alpha,2n)^{65}\text{Ga}$ nükleer reaksiyonunun tüm uyarılma fonksiyonları Şekil 5.13’de verilmiştir. ALICE/ASH kodu ile hesaplanan uyarılma fonksiyonunun TALYS 1.9 kodunun tesir kesiti değerlerinden daha büyük olduğu Şekil 5.13’den görülmektedir. Araştırılan reaksiyon için 22-30 MeV’lik enerji aralığı tesir kesitlerinin maksimuma ulaştığı bölgedir. Maksimum tesir kesiti bölgesinin üzerindeki enerjilerde Levkovski (1991)’nin ölçümleri ile Geometri bağımlı hibrit modelin sonuçları kabul edilebilir bir uyum vermiştir. Diğer taraftan Levkovski (1991)’nin 20-28 MeV’lik enerji aralığında belirlediği tesir kesiti verilerinin TALYS 1.9 kodunun hesaplama sonuçları ile uyumu mükemmeldir. Navin vd., (2004)’in elde ettiği uyarılma fonksiyonu ile TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan tesir kesiti değerleri arasındaki uyum oldukça azdır.



Şekil 5.13. $^{63}\text{Cu}(\alpha, 2n)^{65}\text{Ga}$ reaksiyonunun TALYS 1.9 ve ALICE/ASH nükleer programları kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonlarının deneysel değerlerle karşılaştırılması.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, $^{51}\text{V}(\alpha, 3n)^{52}\text{Mn}$, $^{50}\text{Cr}(\alpha, n\alpha)^{49}\text{Cr}$, $^{52}\text{Cr}(\alpha, np)^{54}\text{Mn}$, $^{53}\text{Cr}(\alpha, p)^{56}\text{Mn}$, $^{55}\text{Mn}(\alpha, 3n)^{56}\text{Co}$, $^{54}\text{Fe}(\alpha, p)^{57}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(\alpha, n)^{62}\text{Cu}$, $^{59}\text{Co}(\alpha, n\alpha)^{58}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(\alpha, 2p)^{61}\text{Co}$, $^{58}\text{Ni}(\alpha, p)^{61}\text{Cu}$, $^{60}\text{Ni}(\alpha, n)^{63}\text{Zn}$, $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)^{66}\text{Ga}$ ve $^{63}\text{Cu}(\alpha, 2n)^{65}\text{Ga}$ nükleer reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamaları denge ve denge-öncesi modeller çerçevesinde araştırıldı. Hesaplamalar ALICE/ASH ve TALYS 1.9 nükleer reaksiyon kodları ile gerçekleştirildi.

Uyarılma fonksiyonlarının maksimum bölgesi ve daha düşük enerjiler için tesir kesiti hesaplamalarının, yüksek enerjilere göre deneysel değerlerle çoğunlukla daha uyumlu olduğu görülmüştür. Genel olarak uyarılma fonksiyonlarının maksimum verdiği değerlere kadar Weisskopf-Ewing model ile Geometri bağımlı hibrit model ve Hauser-Feshbach model ile İki bileşenli eksiton model hesaplamalarının yakın sonuçlar verdiği ancak artan enerjiyle aradaki büyüklük farkının da arttığı görülmüştür. Yani denge ve denge-öncesi etkilerin hissedilir etkileri alfa enerjilerinin büyük değerleri için daha yüksektir. Özellikle $^{54}\text{Fe}(\alpha, p)^{57}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(\alpha, n)^{62}\text{Cu}$, $^{58}\text{Ni}(\alpha, p)^{61}\text{Cu}$, $^{60}\text{Ni}(\alpha, n)^{63}\text{Zn}$, $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)^{66}\text{Ga}$ nükleer reaksiyonları için uyarılma fonksiyonlarının kuyruk bölgesinde ALICE/ASH ve TALYS 1.9 kodları ile elde edilen tesir kesiti hesaplama verilerinin deneysel değerin oldukça altında kaldıkları görülmüştür. Özellikle Hauser-Feshbach modelin yüksek enerjilerde tesir kesitlerinin elde edilmesinde diğer modellere göre daha az güvenilir olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak araştırdığımız alfa reaksiyonları için uyarılma fonksiyonlarının maksimumunda ve daha düşük enerjilerde; hiçbir deneysel değerin olmadığı ya da birbirleriyle çelişkili değerlerin mevcut olduğu durumlarda, tesir kesitlerinin çabuk ve başarılı bir tahminine ALICE/ASH ve TALYS 1.9 kodları ile ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

- Akça, S., 2018. Yarı-deneyssel (a,n) reaksiyon tesir kesiti formüllerinin önerilmesi ve nükleer data değerlendirmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ansari, M.A., Alslam, M.A.A., Sathik, N.P.M., Ismail, M., ve Rashid, M.H., 2004. Excitation functions of alpha-induced reaction in cobalt and pre-equilibrium effects, *Int. Journal of Modern Physics E*, 13, 585.
- Blann, M., ve Vonach, H.K., 1983. Global test of modified pre-compound decay models, *Physical Review C*, 28, 1475–1492.
- Broeders, C.H.M., Konobeyev, A.Y., Korovin, Y.A., Lunev, V.P., ve Blann, M., 2006. ALICE/ASH—pre-compound and evaporation model code system for calculation of excitation functions, energy and angular distributions of emitted particles in nuclear reactions at intermediate energies, *FZK*, 7183.
- Bryant, E.A., Cochran, D.R.F., ve Knight, J.D., 1963. Excitation functions of reactions of 7 to 24 MeV He-3 ions with Cu-63 and Cu-65, *Physical Review*, 130, 1512.
- Buckby, M.A., ve King, J.D., 1984. Cross sections and thermonuclear reaction rates for the $^{28}\text{Si}(\alpha, p)^{31}\text{P}$ and $^{54}\text{Fe}(\alpha, p)^{57}\text{Co}$ reactions, *Canadian Journal of Physics*, 62, 134.
- Büyükuslu, H., 2008. Nükleon girişli reaksiyonlarda deforme olan ve deforme olmayan hedef çekirdekler için denge ve denge-öncesi etkilerin incelenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Carlson, B.V., 2001. A brief overview of models of nucleon-induced reactions, Workshop on Nuclear Data for Science & Technology: Accelerator Driven Waste Incineration, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, 10-21 September 2001, Miramare - Trieste, Italy, 185-239.
- Chowdhury, D.P., Pal, S., Saha, S.K., ve Gangadharan, S., 1995. Determination of cross section of alpha-induced nuclear reaction on natural Cr and Zr by stacked foil activation for thin layer activation analysis, *Nucl. Instrum. Methods in Physics Res. B*, 103, 261.
- Cline, C.K., ve Blann, M., 1971. The pre-equilibrium statistical model: description of the nuclear equilibration process and parameterization of the model, *Nuclear Physics A*, 172, 2, 225-259.
- Cole, A.J., 2000. Statistical models for nuclear decay: from evaporation to vaporization, IOP Publishing Ltd., Bristol and Philadelphia, USA.
- Dauria, J.M., Fluss, M.J., Kowalski, L., ve Miller, J.M., 1968. Reaction cross section for low-energy alpha particles on ^{59}Co , *Physical Review*, 168, 1224.

- Dmitriev, P.P., Konstantinov, I.O., ve Krasnov, N.N., 1969. Methods for producing the Mn-52 isotope, *Atomnaya Energiya*, 26, 467.
- Durgu, C., 2010. Optik model kullanarak 14-15 MeV'lik nötronlarla oluşturulan trityum üretim reaksiyonları için yeni tesir kesiti formüllerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- EXFOR (Experimental Nuclear Reaction Data), 2018. EXFOR Data Files, Database Version of November 21, Brookhaven National Laboratory National Nuclear Data Centre, <<http://www.nndc.bnl.gov/exfor/exfor.htm>>.
- Gadioli, E., ve Hodgson, P.E., 1992. Pre-equilibrium nuclear reactions, Clarendon Press, Oxford, U.K.
- Ghoshal, S.N., 1950. An experimental verification of the theory of compound nucleus, *Physical Review*, 80, 939.
- Griffin, J.J., 1966. Statistical model of intermediate structure, *Phys. Rev. Lett.*, 17, 478.
- Gökçe, A.A., 2013. Alfalarla oluşturulan ve alfa yayımlanan nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin ve uygulama alanlarının araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Hauser, W., ve Feshbach, H., 1952. The inelastic scattering of neutrons, *Physical Review*, 87, 366-373.
- Hodgson, P.E., Gadioli, E., Gadioli-Erba, E., 1997. Introductory nuclear physics, Oxford Science Publications, Oxford, U.K.
- Houck, F.S., ve Miller, J.M., 1961. Reactions of alpha particles with Iron-54 and Nickel-58. *Physical Review*, 123, 231.
- Iwata, S.J., 1962. Isomeric cross section ratios in alpha-particle reactions, *Journal of the Physical Society of Japan*, 17, 1323.
- James, M.F., 2013. Radyasyon ve radyasyondan korunma fiziği, Çev. A.G. Tanır, Palme Yayıncılık.
- Kalbach, C., 1986. Two-component exciton model: Basic formalism away from shell closures, *Physical Review C*, 33, 818-833.
- Kumar, B.B., Mukherjee, S., ve Singh, N.L., 1998. Pre-equilibrium model analysis of alpha particle induced reactions up to 80 MeV, *Physica Scripta*, 57, 201.
- Koning, A.J., ve Duijvestijn, M.C., 2004. A global pre-equilibrium analysis from 7 to 200 MeV based on the optical model potential, *Nuclear Physics A*, 774, 15-76.

- Koning, A.J., Hilaire, S., ve Goriely, S., 2015. TALYS–1.8 A Nuclear Reaction Program. Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), User Manual, Hollanda.
- Koning, A., Hilaire, S., ve Goriely, S., 2017. TALYS 1.9. A nuclear reaction program. <http://www.talys.eu/>.
- Krane, K.S., 2001. Nükleer Fizik-II, Çev. Başar Şarer, Palme Yayıncılık.
- Levkovski, V.N., 1991. Cross sections of medium mass nuclide activation ($A=40-100$) by medium energy protons and alpha-particles ($E=10-50$ MeV), Act. Cs. By Protons and Alphas, Moscow.
- Meyerhof, W.E., 1967. Elements of Nuclear Physics. McGraw-Hill series, New York, USA.
- Michel, R., Brinkmann, G., ve Stuck, R., 1982. Measurement and hybrid model analysis of integral excitation functions for alpha-particle reactions on vanadium and manganese, Conf. on Nucl. Data for Sci. and Technol., Antwerp, 599-603.
- Navin, A., Tripathi, V., Blumenfeld, Y., Nanal, V., ve Simenel, C., 2004. Direct and compound reactions induced by unstable helium beams near the Coulomb barrier, Physical Review C, 70, 4, 044601.
- Qaim, S.M., 2010. Radiochemical determination of nuclear data for theory and applications, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 284, 489-505.
- Reshid, T.S. 2009. Ta, Pb, Bi, W, Th, Pa, U ve Pu elementlerinin 0–20 MeV enerji aralığındaki nötronla oluşturulan reaksiyon tesir kesitlerinin hesaplanması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Rizvi, I.A., Bhardwaj, M.K., Ansari, M.A., ve Chaubey, A.K., 1989. Preequilibrium emission of multiparticles in alpha induced reactions with 55-Mn nucleus, Canadian Journal of Physics, 67, 1091.
- Singh, B.P., Bhardwaj, H.D., ve Prasad, R., 1991. Exciton model analysis of alpha-induced reactions on manganese, Nuovo Cimento A, 104, 4, 475.
- Singh, N.L., Patel, B.J., Somayajulu, D.R.S., ve Chintalapudi, S.N., 1994. Analysis of the excitation functions of (a,xnyp) reactions on natural copper, Pramana, 42, 349.
- Skulski, W., Fornal, B., Broda, R., Jastrzebski, J. Koczon, P., vd., 1992. Mass and charge release by the evaporation of particles from compound nuclei around mass 60, Zeitschrift fuer Physik A, 342, 61.
- Sterns, C.M., 1962. Columbia Univ. report series, New York, 34-63.

- Szelecsenyi, F., Suzuki, K., Kovacs, Z., Takei, M., ve Okada, K., 2002. Production possibility of ^{60}Cu , ^{61}Cu and ^{62}Cu radioisotopes by alpha induced reactions on cobalt for PET studies, Nucl. Instrum. Methods in Physics Res. B, 187, 2, 153.
- Şekerci, M., 2018. Nükleer reaktör kontrol çubuklarında kullanılan bazı malzemeler için farklı reaksiyon ve enerjilerde parçacık yayınlanma spektrumu, durdurma gücü, giricilik mesafesi ve tesir kesiti hesaplamaları, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Tanaka, S., Furukawa, M., Mikumo, T., Iwata, S., Yagi, M., ve Amano, H., 1960. Excitation functions for alpha-induced reactions on Manganese-55, Journal of the Physical Society of Japan, 15, 545.
- Tel, E., 2000. Denge ve denge öncesi reaksiyon modelleri kullanılarak uyarılma fonksiyonlarının ve diferansiyel tesir kesitlerinin hesaplanması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tel, E., 2010. Study on some structural fusion materials for (n,p) reactions up to 30 MeV Energy, Journal of Fusion Energy, 29, 4, 332-336.
- Trkov, A., 2005. Status and perspective of nuclear data production, evaluation and validation, Nuclear Engineering and Technology, 37, 11-24.
- Vlieks, A.E., Morgan, J.F., ve Blatt, S.L., 1974. Total cross sections for some (a,n) and (a,p) reactions in medium-weight nuclei, Nuclear Physics A, 224, 492.
- Weisskopf, V.F., 1937. Statistics and nuclear reactions. Physical Review, 52, 4, 295-303.
- Weisskopf, V.F., ve Ewing, D.H., 1940. On the yield of nuclear reactions with heavy elements. Physical Review, 57, 472.
- Yadav, A., Singh, P.P., Sharma, M.K., Singh, D.P., Unnati, Singh, B.P., Prasad, R., ve Musthafa, M.M., 2008. Large pre-equilibrium contribution in $A+\text{nat.Ni}$ interactions at $\sim 8\text{-}40$ MeV, Physical Review C, 78, 044606.
- Yalçiner, E.G., 2008. Proton hızlandırıcılarının nükleer uygulama alanları ile protonlarla oluşturulan nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yiğit, M., 2014. Döteronla oluşturulan nükleer reaksiyonlar için ampirik ve yarı-ampirik tesir kesiti formüllerinin araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yiğit, M., Tel, E., ve Sarpün, I.H., 2016. Excitation function calculations for $\alpha+^{93}\text{Nb}$ nuclear reactions, Nucl. Instrum. Methods in Physics Res. B, 385, 59-64.
- Yiğit, M., ve Korkmaz, M.E., 2018. On the behavior of cross-sections of charged particle-induced reactions of ^{181}Ta target, Modern Physics Letters A 33,26, 1850155.

Zhukova, O.A., Kanashevich, V.I., Laptev, S.V., ve Chursin, G.P., 1972. Nuclear reactions produced γ alpha particles on Co-59 nuclei, *Yadernaya Fizika*, 16, 242.

Zweit, J., Sharma, H., ve Downey, S., 1987. Production of Gallium-66, a short-lived, positron emitting radionuclide, *Applied Radiation and Isotopes*, 38, 499.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Nur Betül YİĞİT

Doğum Tarihi ve Yeri : 28.01.1991 AKSARAY

E-posta adresi : betul_kilic@hotmail.de

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lise : Aksaray Lisesi 2007

Lisans : Aksaray Üniversitesi/Fizik 2014

