

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Fe, Zr, Nb VE Ag FÜZYON REAKTÖRLERİ YAPISAL
ELEMENTLERİNİN TESİR KESİTLERİNİN NÜKLEER
REAKSİYON MODELLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ**

Hasan ÖZDOĞAN

**Danışman
Prof. Dr. Abdullah KAPLAN**

**DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018**



© 2018 [Hasan ÖZDOĞAN]

TEZ ONAYI

Hasan ÖZDOĞAN tarafından hazırlanan "Fe, Zr, Nb ve Ag Füzyon Reaktörleri Yapısal Elementlerinin Tesir Kesitlerinin Nükleer Reaksiyon Modelleri Kullanılarak İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman Prof. Dr. Abdullah KAPLAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



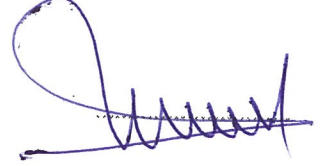
Jüri Üyesi Prof. Dr. Fatih UCUN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi Prof. Dr. Abdullah AYDIN
Kırıkkale Üniversitesi



Jüri Üyesi Prof. Dr. Bayram DEMİR
İstanbul Üniversitesi



Jüri Üyesi Doç. Dr. Tahir TILKI
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü Prof. Dr. Yasin TUNCER



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Hasan ÖZDOĞAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. KURAMSAL TEMELLER	7
3.1. Nükleer Reaksiyonlar	7
3.2. Nükleer Reaksiyonlarda Korunan Nicelikler	10
3.3. Nükleer Reaksiyon Kavramları	10
3.3.1. Tesir kesiti	10
3.3.2. Seviye yoğunluğu	12
3.3. Nükleer Enerji ve Enerji Üretiminde Kullanılabilecek Reaksiyon Türleri	14
3.3.1. Fisyon reaksiyonları.....	14
3.3.2. Füzyon reaksiyonu, füzyon reaktörleri yapısal malzemeleri	16
3.4. Fotonükleer Etkileşim	20
3.5. Nükleer Reaksiyon Mekanizmaları	23
3.5.1. Bileşik çekirdek reaksiyonları	24
3.5.2. Direkt nükleer reaksiyonlar	25
3.5.3. Denge-öncesi nükleer reaksiyonlar.....	26
3.6. Hesaplamalarda Kullanılan Teorik Modeller	28
3.6.1. Optiksel modeller.....	28
3.6.1.1. Watanabe düzeltmeli Koning Delaroche potansiyeli	28
3.6.1.2. McFadden ve Satchler optik potansiyeli	30
3.6.1.3. Demetriou, Grama, Goriely Potansiyeli.....	31
3.6.1.4. Avrigeanu optiksel model potansiyeli.....	32
3.6.2. Bileşik çekirdek (denge) modelleri.....	33
3.6.2.1. Weisskopf-Ewing teorisi	33
3.6.2.2. Hauser-Feshbach teorisi	36
3.6.3. Denge-öncesi modelleri	37
3.6.3.1. Griffin Eksiton ve İki Bileşenli Eksiton Model	37
3.6.3.1. Hibrit Model.....	42
3.6.3.2. Geometri Bağımlı Hibrit Model.....	44
3.6.4. Seviye yoğunluğu modelleri	45
3.6.4.1. Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTFGM)	45
3.6.4.1. Geri Kaydırmalı Fermi Gaz Modeli (BSFGM).....	46
3.6.4.2. Genelleştirilmiş Süperakışkan Model (GSM).....	48
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	50
4.1. TALYS Kodu	50
4.2. ALICE/ASH Kodu	51
4.3. EMPIRE Kodu	52
4.4. ALICE 2011 Kodu	53
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	54
5.1. Proton Girişli Reaksiyonlar İçin Tesir Kesiti Hesaplamaları	55
5.2. Nötron Girişli Reaksiyonlar İçin Tesir Kesiti Hesaplamaları	64

5.3. Alfa Girişli Reaksiyonlar İçin Tesir Kesiti Hesaplamaları.....	73
5.4. Döteron Girişli Reaksiyonlar İçin Tesir Kesiti Hesaplamaları	81
5.5. ⁵⁴ Fe İçin Seviye Yoğunluğu Modellerine Bağlı Tesir Kesiti Hesaplamaları ..	85
5.6. Alfa Optiksel Potansiyel Modellerine Bağlı Tesir Kesiti Hesaplamaları.....	90
5.7. Proton Girişli Reaksiyonlar İçin Yayınlanma Spektrumu Hesaplamaları.....	100
5.8. Nötron Girişli Reaksiyonlar İçin Yayınlanma Spektrumu Hesaplamaları	113
5.8. Alfa Girişli Reaksiyonlar İçin Yayınlanma Spektrumu Hesaplamaları	124
5.9. GDR (Dev Dipol Rezonans) Parametreleri ve Foto-nötron Tesir Kesiti Hesaplamaları	129
5.10. Yarı-ampirik Tesir Kesiti Hesaplamaları	141
6. TARTIŞMA ve SONUÇ	149
KAYNAKLAR	155
ÖZGEÇMİŞ	161



ÖZET

Doktora Tezi

Fe, Zr, Nb VE Ag FÜZYON REAKTÖRLERİ YAPISAL ELEMENTLERİNİN TESİR KESİTLERİNİN NÜKLEER REAKSİYON MODELLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

Hasan ÖZDOĞAN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdullah KAPLAN

Tesir kesiti verileri; nükleer fiziğin uygulamalı alanlarında kullanıldığı kadar nükleer reaksiyon mekanizmalarının anlaşılması, reaksiyon modellerinin geliştirilmesi ve var olan nükleer reaksiyon modellerin geçerliliğinin test edilmesi için de gerekmektedir. Bu çalışmada, füzyon reaktörlerinde yapı malzemesi olarak kullanılan materyallerden; Fe, Zr, Nb ve Ag elementlerinin farklı izotopları için oluşturulan reaksiyonlarda tesir kesiti hesaplamaları yapılmış ve parçacık yayınlanma spektrumları incelenmiştir. Hesaplamalar için; TALYS 1.6 ve 1.8, EMPIRE 3.1, ALICE/ASH ve ALICE 2011 bilgisayar programları kullanılmıştır. Bazı reaksiyonlar için farklı seviye yoğunluğu modelleri ve farklı optiksel model potansiyelleri kullanılarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Foton girişli reaksiyonlar için deneysel veriler kullanılarak yeni dev dipol rezonans (GDR) parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca, 19 ± 1 MeV alfa gelme enerjili (α, p) reaksiyonu için de yarı-ampirik tesir kesiti formülleri türetilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Uluslararası Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Tabanı (EXFOR)'dan alınan verilerle karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tesir kesiti, yayınlanma spektrumu, dev dipol rezonans, yarı-ampirik tesir kesiti formülü.

2018, 165 sayfa

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INVESTIGATION OF THE CROSS SECTIONS OF FUSION REACTORS STRUCTURAL ELEMENTS Fe, Zr, Nb AND Ag BY USING NUCLEAR REACTION MODELS

Hasan ÖZDOĞAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

Supervisor: Prof. Dr. Abdullah KAPLAN

The data of the cross section are required to understand nuclear reaction mechanism, to develop and to test validity of available nuclear reaction models as much as it has been used in the applied fields of nuclear physics. In this study, reaction cross section calculations have been carried out and particle emission spectra have been investigated for several elements which have been using as structural fusion material such as Fe, Zr, Nb and Ag. TALYS 1.6 and 1.8, ALICE/ASH, ALICE 2011 and EMPIRE 3.1 computer codes have been used for calculations. Reaction cross section calculations have been done by using different level density models and different optical model potentials for some reactions. New giant dipole resonance (GDR) parameters for photon induced reactions have been calculated by using experimental data. Also, semi-empirical cross section formulas for (α ,p) reactions at 19 ± 1 MeV alpha incident energy have been derived. The obtained results have been compared and analyzed with the data taken from International Experimental Nuclear Reaction Database (EXFOR).

Keywords: Cross section, emission spectra, giant dipole resonance, semi-empirical cross section formula.

2018, 165 pages

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitim boyunca fikirleriyle tez konusunun belirlenmesini ve yürütülmesini sağlayan, iyi bir akademisyen olmak bir için model olarak gördüğüm danışman hocam Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Abdullah KAPLAN'A teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince fikir ve tecrübelerini esirgemeyen tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Fatih UCUN (Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi) ve Doç. Dr. Tahir TILKI'ye (Süleyman Demirel Üniversitesi Kimya Bölümü Öğretim Üyesi) teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımızda kullandığımız bilgisayar programları ve teorik konular ile ilgili bilgi ve desteğini esirgemeyen, Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN (Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi), Uzman Dr. Veli ÇAPALI ve Arş. Gör. Mert ŞEKERCİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Tez savunmama gelerek beni dinleyen ve değerli fikirlerini paylaşan Prof. Dr. Abdullah AYDIN (Kırıkkale Üniversitesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi) ve Prof. Dr. Bayram DEMİR'e (İstanbul Üniversitesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi) en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen başta Prof. Dr. Nazmi YARAŞ ve çalışma arkadaşlarım Araştırma Görevlisi Yasin GÖKÇE, Araştırma Görevlisi Uğur DALAMAN, Araştırma Görevlisi Kamil SAVAŞ olmak üzere tüm Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı çalışanlarına ve Öğretim Görevlisi Yiğit Ali ÜNCÜ'ye (Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu) teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi olarak destekte bulunan, beni bugünlere getiren sevgili aileme ve arkadaşlarıma sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hasan ÖZDOĞAN
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Nükleer reaksiyon çalışmalarının deneysel düzeneği	9
Şekil 3.2. Tesir kesiti kavramı için reaksiyon kinematiği	11
Şekil 3.3. ^{235}U nötron bombardımanı sonrası fisyon süreci	15
Şekil 3.4. Farklı fisyon reaksiyonlarının tesir kesiti verilerinin gelen nötron enerjisi ile değişimi	16
Şekil 3.5. Bazı temel füzyon reaksiyon tesir kesitlerinin enerji bağımlılığı	18
Şekil 3.6. Fotonükleer reaksiyon toplam tesir kesiti	20
Şekil 3.7. Küresel simetrik çekirdek için tipik bir dev dipol rezonans tesir kesiti	21
Şekil 3.8. Deforme çekirdek için (γ, n) tesir kesiti enerji ilişkisi	22
Şekil 3.9. Enerji bölgelerinde çıkan parçacık spektrumuna mekanizmaların katkıları	23
Şekil 3.10. Bileşik çekirdek reaksiyonu	25
Şekil 3.11. Direkt reaksiyon geometrisi	26
Şekil 3.12. Proton (üstte) ve alfa (altta) parçacıkları için giricilik tesir kesitleri	34
Şekil 3.13. Eksiton modelde reaksiyon süreçleri	38
Şekil 5.1. $^{56}\text{Fe}(p, 2n)^{55}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	55
Şekil 5.2. $^{57}\text{Fe}(p, n)^{57}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	55
Şekil 5.3. $^{90}\text{Zr}(p, n)^{90}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	56
Şekil 5.4. $^{91}\text{Zr}(p, 2n)^{90}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	57
Şekil 5.5. $^{91}\text{Zr}(p, \alpha)^{88}\text{Y}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	58
Şekil 5.6. $^{92}\text{Zr}(p, n)^{92}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	58
Şekil 5.7. $^{92}\text{Zr}(p, 3n)^{90}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	59
Şekil 5.8. $^{93}\text{Nb}(p, n)^{93}\text{Mo}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	60
Şekil 5.9. $^{93}\text{Nb}(p, 4n)^{90}\text{Mo}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	60
Şekil 5.10. $^{96}\text{Zr}(p, n)^{96}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	61
Şekil 5.11. $^{96}\text{Zr}(p, x)^{95}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	62
Şekil 5.12. $^{107}\text{Ag}(p, n)^{107}\text{Cd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	62
Şekil 5.13. $^{109}\text{Ag}(p, n)^{109}\text{Cd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	63
Şekil 5.14. $^{56}\text{Fe}(n, 2n)^{55}\text{Fe}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	64
Şekil 5.15. $^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	65
Şekil 5.16. $^{57}\text{Fe}(n, p)^{57}\text{Mn}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	65

Şekil 5.17. $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.18. $^{92}\text{Zr}(n,p)^{92}\text{Y}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.19. $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	68
Şekil 5.20. $^{93}\text{Nb}(n,3n)^{91}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.21. $^{93}\text{Nb}(n,4n)^{89}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.22. $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90}\text{Y}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.23. $^{94}\text{Zr}(n,\alpha)^{91}\text{Sr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.24. $^{96}\text{Zr}(n,2n)^{95}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.25. $^{109}\text{Ag}(n,p)^{109}\text{Pd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	72
Şekil 5.26. $^{107}\text{Ag}(\alpha,n)^{110}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	73
Şekil 5.27. $^{107}\text{Ag}(\alpha,2n)^{109}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	74
Şekil 5.28. $^{107}\text{Ag}(\alpha,3n)^{108}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	74
Şekil 5.29. $^{107}\text{Ag}(\alpha,4n)^{107}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	76
Şekil 5.30. $^{107}\text{Ag}(\alpha,5n)^{107}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	76
Şekil 5.31. $^{109}\text{Ag}(\alpha,n)^{112}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	77
Şekil 5.32. $^{109}\text{Ag}(\alpha,2n)^{111}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	78
Şekil 5.33. $^{109}\text{Ag}(\alpha,3n)^{110}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	79
Şekil 5.34. $^{109}\text{Ag}(\alpha,4n)^{109}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	79
Şekil 5.35. $^{109}\text{Ag}(\alpha,5n)^{108}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	80
Şekil 5.36. $^{56}\text{Fe}(d,\alpha)^{54}\text{Mn}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	81
Şekil 5.37. $^{56}\text{Fe}(d,2n)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	82
Şekil 5.38. $^{58}\text{Fe}(d,p)^{59}\text{Fe}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	83
Şekil 5.39. $^{107}\text{Ag}(d,2n)^{107}\text{Cd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	83
Şekil 5.40. $^{109}\text{Ag}(d,2n)^{109}\text{Cd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.....	84

Şekil 5.41.	$^{54}\text{Fe}(\alpha, n)^{57}\text{Ni}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	85
Şekil 5.42.	$^{54}\text{Fe}(\alpha, 2n)^{56}\text{Ni}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	86
Şekil 5.43.	$^{54}\text{Fe}(n, 2n)^{53}\text{Fe}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	86
Şekil 5.44.	$^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	87
Şekil 5.45.	$^{54}\text{Fe}(n, \alpha)^{51}\text{Cr}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	88
Şekil 5.46.	$^{54}\text{Fe}(p, \alpha)^{51}\text{Mn}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	88
Şekil 5.47.	$^{54}\text{Fe}(d, n)^{55}\text{Co}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	89
Şekil 5.48.	$^{54}\text{Fe}(d, \alpha)^{52}\text{Mn}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	90
Şekil 5.49.	$^{54}\text{Fe}(\alpha, n)^{57}\text{Ni}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	91
Şekil 5.50.	$^{54}\text{Fe}(\alpha, 2n)^{56}\text{Ni}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	92
Şekil 5.51.	$^{54}\text{Fe}(\alpha, p)^{57}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	92
Şekil 5.52.	$^{54}\text{Fe}(\alpha, n+p)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	93
Şekil 5.53.	$^{56}\text{Fe}(\alpha, n+p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	94
Şekil 5.54.	$^{56}\text{Fe}(\alpha, 2n+p)^{57}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	95
Şekil 5.55.	$^{56}\text{Fe}(\alpha, 3n)^{57}\text{Ni}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	95
Şekil 5.56.	$^{56}\text{Fe}(\alpha, 3n+p)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	96
Şekil 5.57.	$^{56}\text{Fe}(\alpha, 4n)^{56}\text{Ni}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	97
Şekil 5.58.	$^{56}\text{Fe}(\alpha, 4n+p)^{55}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	97
Şekil 5.59.	$^{57}\text{Fe}(\alpha, p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	98
Şekil 5.60.	$^{57}\text{Fe}(\alpha, 2p)^{59}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	99
Şekil 5.61.	$^{57}\text{Fe}(\alpha, p+\alpha)^{56}\text{Mn}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	99
Şekil 5.62.	$^{58}\text{Fe}(\alpha, p)^{61}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ..	100
Şekil 5.63.	22,4 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması ..	101

Şekil 5.64. 14 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	101
Şekil 5.65. 29,9 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	102
Şekil 5.66. 61,5 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	103
Şekil 5.67. 14 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen alfa yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	104
Şekil 5.68. 61,5 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen alfa yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	105
Şekil 5.69. 61,5 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen döteron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	105
Şekil 5.70. 90 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{90}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	106
Şekil 5.71. 90 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{90}Zr için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	107
Şekil 5.72. 11,2 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{91}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	108
Şekil 5.73. 30,3 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{92}Zr için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	108
Şekil 5.74. 30,3 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{92}Zr için, elde edilen döteron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	109
Şekil 5.75. 11,2 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{94}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	110
Şekil 5.76. 22,4 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	111
Şekil 5.77. 18 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	112
Şekil 5.78. 26,5 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	112
Şekil 5.79. 14,8 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{54}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	114
Şekil 5.80. 14,8 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{54}Fe için, elde edilen döteron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	114

Şekil 5.81. 14,6 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	115
Şekil 5.82. 25,7 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	116
Şekil 5.83. 96 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	117
Şekil 5.84. 96 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	117
Şekil 5.85. 96 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen döteron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	118
Şekil 5.86. 7 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	119
Şekil 5.87. 9 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	120
Şekil 5.88. 14,1 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	120
Şekil 5.89. 20 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	122
Şekil 5.90. 25,7 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	122
Şekil 5.91. 14,1 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	123
Şekil 5.92. 26,5 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	124
Şekil 5.93. 45,2 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	125
Şekil 5.94. 30 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{57}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	126
Şekil 5.95. 26,8 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{90}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	126
Şekil 5.96. 45,2 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{90}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	127

Şekil 5.97. 26,8 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{94}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	128
Şekil 5.98. 45,2 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{94}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması	128
Şekil 5.99. $^{54}\text{Fe}(\gamma, n)^{53}\text{Fe}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	130
Şekil 5.100. $^{56}\text{Fe}(\gamma, n)^{55}\text{Fe}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	131
Şekil 5.101. $^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	132
Şekil 5.102. $^{90}\text{Zr}(\gamma, 2n)^{88}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	132
Şekil 5.103. $^{91}\text{Zr}(\gamma, n)^{90}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	133
Şekil 5.104. $^{91}\text{Zr}(\gamma, 2n)^{89}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	134
Şekil 5.105. $^{92}\text{Zr}(\gamma, n)^{91}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	134
Şekil 5.106. $^{92}\text{Zr}(\gamma, 2n)^{90}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	135
Şekil 5.107. $^{94}\text{Zr}(\gamma, n)^{93}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	136
Şekil 5.108. $^{94}\text{Zr}(\gamma, 2n)^{92}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	137
Şekil 5.109. $^{94}\text{Zr}(\gamma, 3n)^{91}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	137
Şekil 5.110. $^{93}\text{Nb}(\gamma, n)^{92}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	138
Şekil 5.111. $^{93}\text{Nb}(\gamma, 2n)^{91}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	139
Şekil 5.112. $^{107}\text{Ag}(\gamma, n)^{106}\text{Ag}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	140
Şekil 5.113. $^{109}\text{Ag}(\gamma, n)^{108}\text{Ag}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	140
Şekil 5.114. 19-20 MeV gelme enerjisi aralığındaki alfalarla bombardıman edilen tüm çekirdekler için inelastik tesir kesiti etkisi içeren (α, p) tesir kesiti sistematığı	143
Şekil 5.115. 19-20 MeV gelme enerjisi aralığındaki alfalarla bombardıman edilen Çift Z – Çift N sayısına sahip çekirdekler için inelastik tesir kesiti etkisi içeren (α, p) tesir kesiti sistematığı	143
Şekil 5.116. 19-20 MeV gelme enerjisi aralığındaki alfalarla bombardıman edilen tüm çekirdekler için Coloumb etkisi içeren (α, p) tesir kesiti sistematığı	144
Şekil 5.117. 19-20 MeV gelme enerjisi aralığındaki alfalarla bombardıman edilen, Çift Z – Çift N sayısına sahip çekirdekler için Coloumb etkisini içeren (α, p) tesir kesiti sistematığı	145

Şekil 5.118. 19-20 MeV gelme enerjisi aralığındaki alfalarla bombardıman edilen tüm çekirdekler için inelastik ve Coloumb etkisi içeren (α ,p) tesir kesiti sistematığı.....	146
Şekil 5.119. 19-20 MeV gelme enerjisi aralığındaki alfalarla bombardıman edilen Çift Z – Çift N sayısına sahip çekirdekler için inelastik ve Coloumb etkisi içeren (α ,p) tesir kesiti sistematığı.....	146



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünyada ve ülkemizde üretilen elektriğin kaynaklara göre dağılımı	1
Çizelge 3.1. Bölünme yapabilen izotoplar	15
Çizelge 3.2. İlk duvarda kullanılan malzemeler.....	19
Çizelge 5.1. TALYS 1.8 GDR parametreleri ile Standart Lorentz Model ile elde edilen GDR parametreleri	130
Çizelge 5.2. Nötron – proton sayılarına göre (α, p) reaksiyonu için üretilen, inelastik saçılma etkisini içeren yarı–ampirik tesir kesiti fonksiyonları	144
Çizelge 5.3. Nötron – proton sayılarına göre (α, p) reaksiyonu için üretilen, Coulomb etkisini içeren yarı–ampirik tesir kesiti fonksiyonları.....	145
Çizelge 5.4. Nötron – proton sayılarına göre (α, p) reaksiyonu için üretilen, Coulomb ve inelastik saçılma etkilerini içeren yarı–ampirik tesir kesiti fonksiyonları.....	147
Çizelge 5.5. Yarı-ampirik tesir kesiti hesaplamaları ile deneysel ve nükleer modellerle hesaplanan değerlerin karşılaştırılması	148

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Durum yoğunluğu parametresi, mermi parçacık
A	Kütle numarası, hedef çekirdek
A*	Uyarılmış çekirdek
B	Reaksiyon son ürünler kümesi, bağlanma enerjisi
b	Barn ($1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2$), iki küre merkezi arasındaki mesafe
c	Işık hızı
D	Döteron
dt	Kalınlık
E	Enerji
G	Tek parçacık durum yoğunluğu
GDR	Dev dipol rezonans
h	Planck sabiti, deşik sayısı
i	Spin
m	Kütle
MeV	Mega elektronvolt
N	Bir levhadan geçen parçacık sayısı
n	Nötron, eksiton sayısı
p	proton, momentum, parçacık sayısı
P	Olasılık
t	Trityum
R _C	Coloumb yarıçapı
T	Kinetik enerji, iletim katsayısı
U	Etkin uyarılma potansiyeli
TWh	Tetrawatt saat
s	Saniye
S	Yüzey alanı, giricilik tesir kesiti
Q	Reaksiyon enerjisi
nX_v	n eksiton durumundaki v tipli parçacıkların sayısı
v	Hız
V	Hacim
V _C	Coloumb potansiyeli
V _{V,SO}	Hacim potansiyeli
W	Fermi gaz durum yoğunluğu, bozunum ihtimali
W _{V,D,SO}	Yüzey ve spin potansiyeli
W _R	Optik potansiyelin sanal kısmı
Z	Atom numarası
α	Alfa, yarıçap, seviye yoğunluğu değişkeni, giriş kanalı
β	Reaksiyon kanalı
Γ	Rezonans genişliği
Γ_b	Bileşik çekirdekten birim zamanda yayımlanma olasılığı
γ	Foton
Δ	Enerji kayması
δ	Seviye yoğunluğu için ayarlama parametresi
Θ	Açı
λ	Dalga boyu
μ	İndirgenmiş kütle
η_b	Bileşik çekirdeğin b parçacığı yayımlamasının tesir kesiti

Σ	Makroskobik tesir kesiti
σ	Tesir kesiti
σ_{inv}	Ters tesir kesiti
σ^2	Spin kesme parametresi
ρ	Seviye yoğunluğu
u_{eff}	Nükleon-nükleon etkileşim potansiyeli



1. GİRİŞ

Modern dünyanın en önemli problemi ucuz, temiz ve güvenli bir şekilde enerji üretimini gerçekleştirmektir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler, ekonomisinin büyük bir bölümünü enerji ithalatına harcamaktadır. Enerjiyi üretildiği kaynağa bağlı olarak; yenilenebilir ve yenilenemez olarak ikiye ayırmak mümkündür. Yenilenebilir kaynaklara; güneş, rüzgâr, su ve jeotermal kaynaklar, yenilenemez kaynaklara ise; kömür, petrol, doğalgaz örnek olarak verilebilir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre dünyada elektrik üretiminde ilk sırada kömür bulunurken, ikinci sırada doğalgaz gelmektedir. Ülkemizde ise, ilk sırada doğalgaz, ikinci sırada kömür yer almaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2014). Çizelge 1.1’de elektrik üretiminin dünyada ve ülkemizde kaynaklara göre dağılımı görülmektedir.

Çizelge 1. 1. Dünyada ve ülkemizde üretilen elektriğin kaynaklara göre dağılımı (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2014)

Enerji Kaynakları	Dünya	Türkiye
Petrol	%4,6	%1,5
Doğalgaz	%22,2	%43,7
Kömür	%40,6	%27,5
Hidrolik	%16	%24,2
Nükleer	%13	%0
Yenilenebilir Enerji Kaynakları	%3,7	%3,1
TOPLAM	21.431 TWh	240 TWh

Çizelge 1.1’den görüldüğü gibi, dünya elektrik üretiminin %13’ü nükleer enerjiden sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımında ise, ülkemizin dünya ortalamasına yakın bir orana sahip olduğu görülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı’nın 2012 raporunda; 2035 yılına kadar elektrik ihtiyacının %70 artacağı öngörülmektedir (Uluslararası Enerji Ajansı, 2012).

Bu bilgiler ışığında, ülkemizde ve dünyada enerji ihtiyacının giderilmesi amacıyla çeşitli projeler geliştirilmektedir. Nükleer güç santrallerinin kurulması da bunlardan birisidir. Nükleer güç santralleri, fisyon reaksiyonlarını kullanarak enerji üretmektedirler.

Nükleer fizikteki problemlerin doğasındaki karmaşıklık; analitik çözüm yapmayı olanaksız kılmaktadır. Bilim ve teknolojiadaki ilerlemeler problemlerin doğasındaki karmaşıklığı arttırmaktadır. Teknoloji ve bilgisayar sistemlerinde gelişmeler, sanal olarak nükleer fizik laboratuvarlarının kurulmasını ve yapılmak istenen deney ve hesaplamaların bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır (Şarer, vd., 2005; Özdoğan, vd., 2015). Nükleer fizik araştırmaları için PCROSS, ALICE/ASH, CEM95, TALYS, EMPIRE, GEANT, FLUKA, MCNP ve GNASH gibi birçok bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu programlar vasıtasıyla uygun geometri ve laboratuvar sistemlerinde istenilen reaksiyonlar incelenebilmektedir. Bu programlar deneysel verilerin bulunmadığı veya deney yapma imkânı olmayan durumlarda araştırmacılara bir öngörü sağlarlar. Reaksiyon tesir kesiti verilerinin ve reaksiyon sonrası açığa çıkan parçacıkların enerji spektrumlarının ölçülmesi veya teorik olarak hesaplanması; temel nükleer fizik problemlerinin araştırılması, radyoizotop üretimi ve radyasyon zırhlama başta olmak üzere birçok alanda oldukça önemlidir. Bu yüzden; deney yapmanın mümkün olmadığı durumlarda, bu verilerin hesaplanması veya benzetim programları yardımıyla elde edilmesi gerekir.

TALYS 1.6 (Koning, vd., 2013) ve 1.8 (Koning, vd., 2015), EMPIRE 3.1 (Herman, vd., 2012), ALICE/ASH (Broeders, vd., 2006) ve ALICE 2011 (Blann, vd., 2008) deneysel verilerle uyumlu sonuçlar veren bilgisayar programlarıdır.

Bu çalışmada, TALYS 1.6 ve 1.8 sürümleri, EMPIRE 3.1, ALICE/ASH ve ALICE 2011 kodları yardımı ile farklı gelme enerjili parçacıklarla bombardıman edilen füzyon reaktörü yapısal malzeme olarak kullanılan Fe, Zr, Nb ve Ag elementlerinin farklı izotopları için reaksiyon tesir kesitleri hesaplanmış ve yayınlanma spektrumları incelenmiştir. Dev dipol rezonans (GDR) bölgesi için, literatürden alınan veriler kullanılarak parametreler oluşturulmuş, elde edilen parametreler yardımıyla TALYS 1.8 hesaplamalarının deneysel verilerle uyumluluğu incelenmiştir. Ayrıca (α, p) reaksiyonları için yarı-ampirik tesir kesiti formülleri türetilmiştir. Yapılan tesir kesiti ve yayınlanma spektrumu hesaplamaları; Deneysel Nükleer Reaksiyon Data (EXFOR, 2017) kütüphanesinden alınan verilerle karşılaştırılarak, analiz edilmiştir.

Bu çalışma, ülkemizde kurulan ve kurulmakta olan hızlandırıcı tesisleri (TAEK, DPT YUUP Projesi) için yapılacak olan çalışmalara, nükleer reaksiyon modellerine dayanan tesir kesiti hesaplarına radyoizotop üretim programları için gerekli veri tabanının güçlendirilmesine, üretim teknolojisinin geliştirilmesine ve yapılacak deneysel çalışmalara ışık tutması bakımından önemli olacaktır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Belgaid ve Ashgar; 14,5 MeV enerjisine sahip nötronlar için, α çıkış kanalı için yarı-ampirik tesir kesiti formülü önermişlerdir (Belgaid ve Ashgar, 1999).

Tel ve arkadaşları; 14 MeV enerjili nötronlarla oluşturulan (n,t) reaksiyonu için yarı-ampirik tesir kesiti formülü önermişlerdir. Elde edilen formülü, deneysel verilerle ve teorik hesaplamalarla karşılaştırılarak yorumlamışlardır (Tel, vd., 2009).

Denge-öncesi modeli hesaplamalarına başlangıç eksiton sayısının etkisi $^{54}\text{Fe}(p, xp)$ reaksiyonu için, Bölükdemir ve arkadaşları tarafından Skryme–Hartree–Fock metodu kullanılarak incelenmiştir (Bölükdemir, vd., 2011).

Plujko ve arkadaşları; teorik hesaplamaları, deneysel verilere en küçük kareler yöntemi ile fit ederek, yeni GDR parametreleri elde etmişlerdir (Plujko, vd., 2011).

Tel ve arkadaşları; demir ve nikel hedef çekirdekleri için (p, α) reaksiyonu yarı-ampirik tesir kesiti formülü türetmişlerdir (Tel, vd., 2013).

Kaplan ve arkadaşları; bazı füzyon reaktörü yapısal materyalleri için, ALICE/ASH kodu ile döteron girişli reaksiyonları incelemiş, reaksiyon tesir kesitlerini hesaplamışlardır (Kaplan, vd., 2013a).

Kaplan ve arkadaşları yaptıkları bir dizi çalışmada; füzyon reaktörü yapısal materyalleri için foto-nötron reaksiyonlarını incelemişlerdir. (γ, n), ($\gamma, 2n$) ve ($\gamma, 3n$) reaksiyon tesir kesitlerini TALYS 1.2 ve PCROSS bilgisayar programları ile hesaplayarak, deneysel verilerle karşılaştırmışlardır (Kaplan vd., 2013b; Kaplan, vd., 2013c; Kaplan ve Çapalı, 2014).

Akça ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; (α, n) reaksiyonları için yeni katsayılar geliştirmişlerdir (Akça, vd., 2015).

$^{58,60}\text{Ni}$ yapısal füzyon materyali için çift katlı diferansiyel tesir kesitleri ve durdurma gücü hesaplamaları Sarpün ve arkadaşları tarafından TALYS ve GEANT4 kodları yardımıyla hesaplanarak, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır (Sarpün, vd., 2015).

Demir ve arkadaşları; füzyon reaktörü yapısal malzemesi $^{50,52}\text{Cr}$ izotopları için TALYS 1.6 kodu ile çift katlı diferansiyel tesir kesitlerini hesaplamışlardır. Ayrıca; durdurma gücü hesaplamalarını GEANT4 kodu ile simüle ederek, analiz etmişlerdir (Demir, vd., 2015).

Sahan ve arkadaşları; 14,2 MeV enerjili nötronlar için çift katlı diferansiyel tesir kesitlerini hesaplamış ve yarı-ampirik tesir kesiti formülü önermişlerdir (Sahan, vd., 2015).

Aydın ve arkadaşları; 5-30 MeV enerji aralığındaki protonlarla bombardıman edilen $^{60,61,62,64}\text{Ni}$ izotopları için farklı seviye yoğunluğu modellerinin (p,n) reaksiyon tesir kesiti verilerine etkisini, TALYS 1.6 kodu ile hesaplayarak deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Yaptıkları analiz sonucunda, denge-öncesi etkilerin bu tesir kesiti verilerine büyük bir katkısı olduğunu gözlemlemişlerdir (Aydın, vd., 2015).

Çapalı doktora tezinde, fisyon reaktörü yapısal malzemelerinin, farklı nükleer reaksiyonlardaki tesir kesitlerini hesaplamış ve yayınlanma spektrumlarını incelemiştir. Ayrıca; 10–11 MeV, 18–19 MeV ve 22–23 MeV gelme enerjili protonların (p,n) reaksiyonu için yarı-ampirik tesir kesiti formülleri önermiştir (Çapalı, 2015).

Şekerci ve arkadaşları; LiH reaktör moderatör malzemesi için hadronik etkileri GEANT4 benzetim programı kullanarak incelemişlerdir (Şekerci, vd., 2016). BeO reaktör moderatör malzemesi için nötron girişli reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları ve hadronik etkilerin incelenmesi ise, Çapalı ve arkadaşları tarafından GEANT4 kodu yardımıyla araştırılmıştır (Çapalı, vd., 2016).

Yukarıda anlatılan literatür ışığında; bu çalışmada Fe, Zr, Nb ve Ag füzyon reaktörü yapısal materyallerinin farklı gelme enerjili parçacıklarla oluşturulan reaksiyonlarında, parçacık yayınlanma spektrumları ve reaksiyon tesir kesitleri

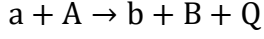
TALYS 1.6 ve 1.8, EMPIRE 3.1, ALICE/ASH ve ALICE 2011 kodları kullanılarak, farklı nükleer modeller ile hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Teorik hesaplamalar, EXFOR'dan alınan verilere fit edilerek yeni GDR parametreleri elde edilmiş, oluşturulan parametreler TALYS 1.8 GDR kütüphanesindeki varsayılan değerlerle değiştirilmiştir. Yeni GDR parametrelerini içeren TALYS 1.8 hesaplamaları EXFOR kütüphanesinden alınan verilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, (α ,p) reaksiyonu için yarı-ampirik tesir kesiti formülü türetilmiş; bu formülle hesaplanan sonuçlar, teorik hesaplamalar ve deneysel verilerle karşılaştırılarak yorumlanmıştır.



3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Nükleer Reaksiyonlar

Bir nükleer reaksiyon genel olarak;

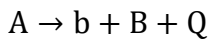


veya daha kısa bir gösterimle $A(a,b)B$ şeklinde ifade edilir. Burada; a mermi parçacık, A hedef çekirdek, b ve B reaksiyon son ürünler kümesi, Q ise reaksiyon sonrası açığa çıkan ya da reaksiyonun başlaması için gereken enerjidir. Bilindiği üzere bir atom; çekirdeğinde pozitif yüklü proton, yüksüz nötronlar ve çekirdek etrafında elektron yükleri bulunduran bir yapıdır. Dolayısıyla; eğer gelen parçacık yüklüyse nükleer reaksiyonun meydana gelebilmesi için, mermi parçacıkların hedefin Coloumb duvarını aşmaları gerekir. Bunu sağlamak için parçacıklar, parçacık hızlandırıcıları ile hızlandırılabilir. Parçacık hızlandırıcısı kullanılarak oluşturulan ilk nükleer reaksiyon,



reaksiyonunu gözlemleyen Cockcroft ve Walton tarafından yapılmıştır (Cockcroft ve Walton, 1930).

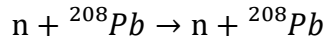
Nükleer reaksiyonları iki gruba ayırabiliriz. Bunlardan ilki yukarıda anlattığımız, iki parçacığın etkileşimi ile bir son ürünler kümesi oluşturmastır. İkinci tür nükleer reaksiyonlar ise; bir atomun kendiliğinden parçalanarak bir veya birden fazla parçacık yayınladığı olaydır. Bu tür nükleer reaksiyonlara, radyoaktif bozunma adı verilir ve şu şekilde ifade edilir.



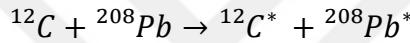
Burada A, radyoaktif parçacığı bozunarak b ve B son ürünler kümesini meydana getirmektedir. Radyoaktif bozunma sonucu ısı açığa çıkar. Bu tip reaksiyonlar, yokuş aşağı yani ekzotermik reaksiyonlardır.

Bir hedef çekirdek, mermi parçacıkla bombardıman edildiğinde oluşabilecek etkileşme çeşitleri şu şekilde özetlenebilir.

- 1) Esnek saçılma: Bu etkileşme türünde, reaksiyona giren parçacık enerjisi değişmeden hedeften saçılır. Örnek olarak aşağıdaki reaksiyon gösterilebilir.

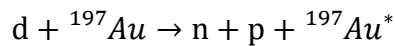


- 2) Esnek olmayan saçılma: Mermi parçacığının enerjisi, hedef çekirdeğin Coloumb potansiyelini aşabilecek kadar güçlüyse, hem hedef çekirdek hem de mermi parçacık uyarılabilir. Gelen parçacığın enerjisinin bir kısmı, hedef çekirdeğin uyarılmış durumlarına aktarılır. Bu reaksiyon türüne örnek olarak;

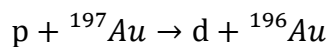


saçılması verilebilir.

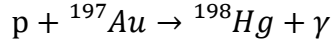
- 3) Parçalanma reaksiyonları: Eğer mermi çekirdek kompleks bir çekirdekse, reaksiyon sırasında iki veya daha fazla bileşene ayrılabilir. Yani, mermi çekirdek $a=x+y$ şeklinde iki parçacığa bölünebilir. Bu tür reaksiyonlar, $A(a,xy)A$ veya hedef parçacık uyarılırsa $A(a,xy)A^*$ şeklinde yazılabilir.



- 4) Transfer reaksiyonları: Mermi parçacıktan hedefe veya hedeften mermi çekirdeğe nükleon transferi olan reaksiyonlar transfer reaksiyonları olarak adlandırılırlar. Örneğin; döteron soyma reaksiyonu olarak bilinen $A(d,p)B$ reaksiyonunda, mermi çekirdekten bir nükleon hedef çekirdeğe aktarılmıştır. Örnek olarak aşağıdaki reaksiyon gösterilebilir.

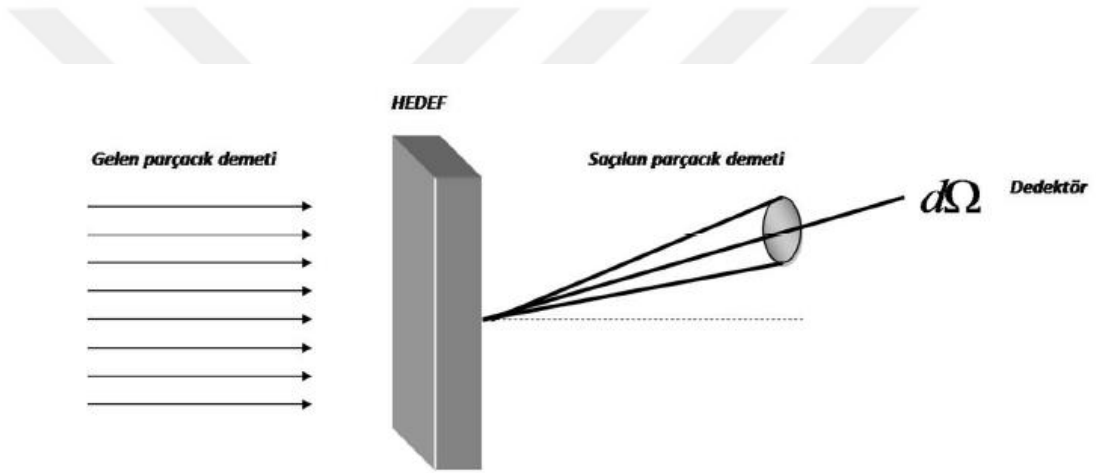


- 5) Yakalama reaksiyonları: Yakalama reaksiyonlarında, mermi çekirdek hedefle birleşerek uyarılmış yeni bir çekirdek oluşturur. Oluşan yeni çekirdek, γ ışını yayınlarak kararlı hale geçer. Örnek olarak,



reaksiyonu verilebilir (Satchler, 1990).

Nükleer reaksiyon çalışmalarının deneysel düzeneği; gelen parçacık demeti, hedef çekirdek ve reaksiyon son ürünler kümesini tespit edecek detektörden oluşur (Krane, 2002). Böyle bir deneysel düzeneğin şematize edilmiş hali Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Nükleer reaksiyon çalışmalarının şematik gösterimi (Krane, 2002)

Nükleer reaksiyon çalışmalarının odaklandığı başlıca iki önemli nokta bulunmaktadır. Bunlardan ilki; farklı nükleer reaksiyonların meydana geldiği koşullardır. Bir nükleer reaksiyon sonrası açığa çıkacak parçacıklar ve etkileşimler genellikle tahmin edilebilir ancak nükleer reaksiyonun meydana gelmesi için gereken şartların dikkate alınması gereklidir. İkinci önemli nokta ise; mermi parçacığının hedef tarafından soğurulma ihtimalinin belirlenmesidir. Bu, reaksiyonun gerçekleşme olasılığını ifade eder ve tesir kesiti olarak adlandırılır (Arya, 1983).

3.2. Nükleer Reaksiyonlarda Korunan Nicelikler

Toplam enerji ve lineer momentumun korunumu: Nükleer reaksiyonlarda toplam enerji ve lineer momentum korunur.

Proton ve nötron sayısının korunumu: Yüksek enerjilerde toplam nükleon sayısı, düşük enerjilerde ise proton ve nötron sayıları ayrı ayrı korunur.

Yük korunumu: Bir nükleer reaksiyonda reaksiyona giren tüm ürünlerin yük sayılarının toplamı ile reaksiyon sonrası çıkan tüm ürünlerin yük sayılarının toplamı birbirine eşit olmalıdır.

İstatistik korunum: Bir nükleer reaksiyondaki; hadron sayısı, lepton sayısı, spin açısai momentumunun sayılarının korunumunu içermektedir.

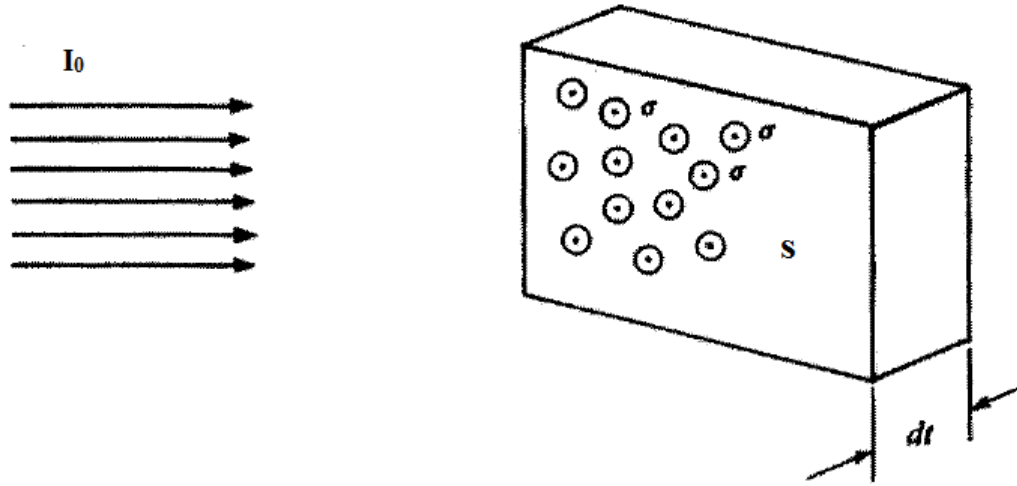
İzospin: Nükleer kuvvetin yükten bağımsız ve yük simetrisine bağıli olmasından dolayı izospin tüm nükleer reaksiyonlarda korunmalıdır.

Parite korunumu: Bir nükleer reaksiyon sonrası çıkan parçacığın açısai momentumu bilinirse, uyarılmış durumlara dair bilinmeyen paritelerin bulunması kolaylaşır (Krane, 2002).

3.3. Nükleer Reaksiyon Kavramları

3.3.1. Tesir kesiti

Farklı nükleer reaksiyonların gerçekleşme olasılığının deneysel olarak ölçülmesi veya teorik modeller kullanılarak hesaplanması, radyoizotop üretimi ve radyasyon zırlama gibi alanlarda reaksiyon sonrasında oluşabilecek olayları ortaya koyması bakımından önemlidir. $A(a,b)B$ gibi bir nükleer reaksiyonu göz önüne alalım. Mermi parçacık a 'nın hedef çekirdek A ile etkileşime girdikten sonra b ve B son ürünler kümesini oluşturma ihtimali tesir kesiti kavramı ile ifade edilir. Daha yalın bir ifade ile tesir kesiti reaksiyonun gerçekleşme ihtimalini belirten kavramdır. Her hedef parçacığın, gelen parçacıklara tesir kesiti (σ) adı verilen bir alanını gösterdiğini düşünürüz. (Krane, 2002).



Şekil 3. 2. Tesir kesiti kavramı için reaksiyon kinematiği (Arya, 1983)

dt kalınlığındaki bir levha ile I_0 şiddetinde gelen parçacık demetinin etkileştiğini düşünelim. Gelen parçacık demetinin içerisindeki parçacıklar, levhadaki çekirdekler ile etkileşimi sonucunda saçılma ve/veya soğrulma meydana gelir. Levhanın birim hacmindeki parçacık sayısını n kabul edelim ve levhamız o kadar ince olsun ki, çekirdek parçacık etkileşimi için hiçbir çekirdek diğer bir çekirdeğin önüne geçmesin. Bu durumda; $n \cdot dt$ birim yüzey başına düşen çekirdek sayısı, $S \cdot n \cdot dt$ ise S alanındaki toplam çekirdek sayısıdır. Bu kabullenimlerden sonra; I levhadan geçen parçacık şiddetini göstermek üzere;

$$I = I_0 \cdot e^{-\sigma n t} \quad (3.1)$$

olarak bulunur. Gelen demetteki parçacık sayısı ve etkileşim sonrası çıkan parçacık sayısı demet şiddeti ile orantılıdır. Böyle bir durumda;

$$N = N_0 \cdot e^{-\sigma n t} \quad (3.2)$$

yazılabilir. Burada; N_0 gelen parçacık sayısını, N ise levhadan geçen parçacık sayısını ifade etmektedir. Tesir kesiti, σ ile gösterilir ve birimi barn'dır ($1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ m}^2$). n ile σ 'nın çarpımına ise makroskobik tesir kesiti (Σ) adı verilir (Arya, 1983).

$$\Sigma = n \sigma \quad (3.3)$$

3.3.2. Seviye yoğunluğu

Seviye yoğunluğu, MeV başına düşen nükleer enerji seviyelerinin sayısı olarak tanımlanabilir ve ρ ile gösterilir. Optiksel model potansiyeli ile birlikte; seviye yoğunluğu bilgisi, tesir kesiti, enerji spektrumu ve diğer gözlenebilir nükleer reaksiyon değerlerinin güvenilir teorik analizi için belki de en önemli bileşendir. İlk geliştirilen seviye yoğunluğu modeli, Bethe tarafından ortaya konulan Fermi Gaz Modelidir (Bethe, 1937). Bu model, çekirdeğin uyarılmış seviyelerinin eşit aralıklı olduğu ve kolektif seviyelerinin bulunmadığı tek parçacık durumu varsayımına dayanmaktadır. İki fermiyon sistemi; örneğin uyarılmış nötron ve proton arasında ayırım için, toplam Fermi gaz durum yoğunluğu

$$w_F^{tot}(E_x) = \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp(2\sqrt{aU})}{a^{1/4}U^{5/4}} \quad (3.4)$$

olarak verilir. Burada, U etkin uyarılma potansiyeli, a ise seviye yoğunluğu parametresidir. Teorik olarak a ,

$$a = \frac{\pi^2}{6} (g_\pi + g_\nu) \quad (3.5)$$

ifadesi ile verilirken buradaki g_π ve g_ν ; sırasıyla, Fermi enerjisi yakınlarında proton ve nötron tek parçacık durumlarının varlığını göstermektedir. Etkin uyarılma potansiyeli U ise;

$$U = E_x - \Delta \quad (3.6)$$

formülü ile verilir. E_x uyarılma enerjisi, Δ ise enerji kaymasını ifade eder. Δ ; çekirdek içindeki bilinen tek-çift etkileşimlerini simüle etmek amacıyla dahil edilen eşleme enerjisine bazı modeller için oldukça yakın veya eşit olan ampirik bir parametredir.

Toplam açısal momentum projeksiyonlarının rastgele birleştiği varsayımı altında, Fermi gaz seviyesinin yoğunluğu

$$\rho_F(E_x, J, \Pi) = \frac{1}{2} \frac{2J+1}{2\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp \left[-\frac{\left(J+\frac{1}{2}\right)^2}{2\sigma^2} \right] \frac{\sqrt{\pi} \exp(2\sqrt{aU})}{12 a^{1/4} U^{5/4}} \quad (3.7)$$

olarak bulunur (Bethe, 1937; Gilbert ve Cameron 1965).

Burada; ilk 1/2 faktörü yukarıda bahsedilen söz konusu eş parite dağılımını temsil eder, σ^2 açısal momentum dağılım genişliğini temsil eden spin kesme parametresidir ve uyarım enerjisine bağlıdır. Yukarıdaki bağıntının, çarpanlara ayrılmış özel bir ifadesi olan Fermi gaz spin dağılımı,

$$R_F(E_x, J) = \frac{2J+1}{2\sigma^2} \exp \left[-\frac{\left(J+\frac{1}{2}\right)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (3.8)$$

olarak verilir.

Burada; $\rho_F(E_x, J, \Pi)$ ' nin tüm spin ve pariteler üzerinde toplanmasıyla, toplam Fermi gazı seviyesi yoğunluğu şu şekilde elde edilir,

$$\rho_F^{tot}(E_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \frac{\sqrt{\pi} \exp(2\sqrt{aU})}{12 a^{1/4} U^{5/4}} \quad (3.9)$$

ki, bu durum Denklem 3.9' dan toplam Fermi gaz durum yoğunluğu ile Denklem 3.10'da gösterilmiştir.

$$\rho_F^{tot}(E_x) = \frac{w_F^{tot}(E_x)}{\sqrt{2\pi}\sigma} \quad (3.10)$$

Yukarıdaki ifadeler incelendiğinde; açıkça görüleceği üzere, ρ_F^{tot} ve ρ_F , üç değişkene (a , σ ve Δ) bağlı olarak hesaplanmaktadır (Koning, vd., 2008; Canbula, 2012).

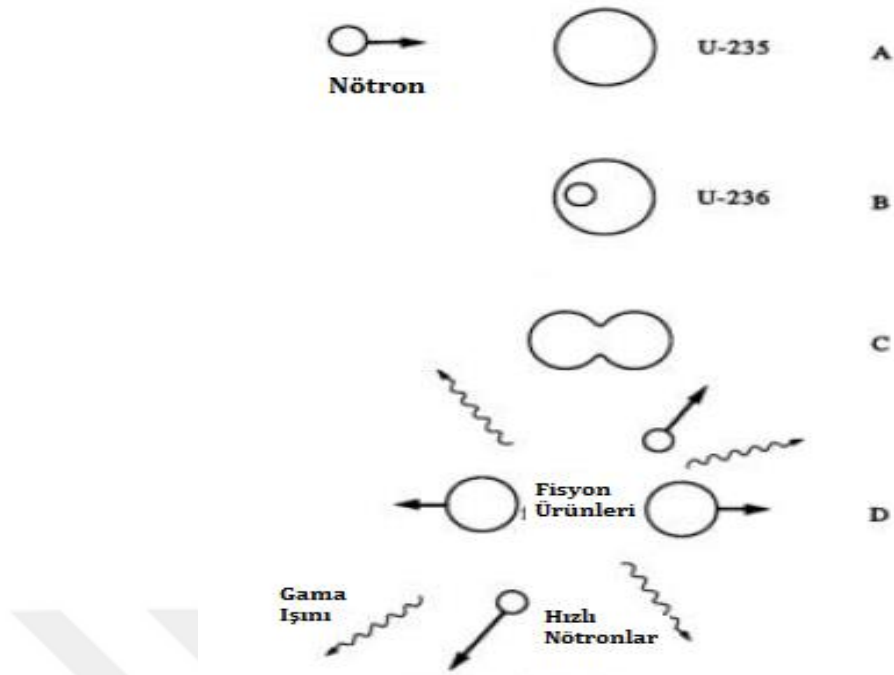
Seviye yoğunluğu için, fermi gaz modelini temel alan birçok model geliştirilmiştir. Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (Constant Temperature Fermi Gas Model - CTFGM), Geri Kaydırmalı Fermi Gaz Model (Back Shifted Fermi Gas Model - BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süper Akışkan Modeli (Generalized Superfluid Model - GSM) bunlardan başlıcalarıdır. Bu modellere, Bölüm 3.6.4'de ayrıntılı olarak değinilmiştir.

3.3. Nükleer Enerji ve Enerji Üretiminde Kullanılabilecek Reaksiyon Türleri

1896 yılında Henri Becquerel tarafından radyoaktivitenin keşfi ve 1911’de Ernest Rutherford tarafından çekirdek hipotezinin ortaya atılması ile birlikte nükleer fizik çalışmalarının başladığı söylenebilir. Bu keşiflerden sonra hız kazanan çalışmalar; Bothe ve Becker (Bothe ve Becker, 1930) tarafından γ ışını sayılan ancak Chadwick (Chadwick, 1932) tarafından çekirdek içerisinde yüksüz bir parçacık olduğu ortaya konan nötron ile birlikte farklı bir boyuta taşınmıştır. Nötronun keşfi ile birlikte, bu parçacıkların yüksüz olmaları sayesinde çekirdek içine kolaylıkla girebildiği gözlenmiştir. Hahn ve Strassmann (Hahn ve Strassmann, 1939) yavaş nötronlarla bombardıman edilen uranyum bileşiklerinin baryum ve kriptonu dönüştüklerini gözlemlemiş ve bu olaya daha sonradan fisyon adı verilmiştir. Sonraki yıllarda yapılan çalışmalarla birlikte, fisyon reaksiyonunda nötronlarında salındığı ve zincirleme reaksiyonlarla birlikte büyük bir miktarda enerji açığa çıktığı gözlemlenmiştir. Atom çekirdeğinden enerji üretmenin fisyondan başka bir yolu füzyon reaksiyonlarıdır. Füzyon reaksiyonlarında, fisyonun aksine hafif çekirdekler kullanılmaktadır. Bu reaksiyonlarda, iki hafif çekirdek bir araya gelerek, daha ağır bir çekirdek oluştururlar.

3.3.1. Fisyon reaksiyonları

Fisyon reaksiyonu yardımıyla enerji üretiminin altında yatan temel mekanizma, nötronlarla bombardıman edilen bir parçacığın çekirdeğinden salınan nötronların bağ enerjisinin kullanılmasıdır. Nükleer güç santralleri, fisyon reaktörlerinde meydana gelen fisyon reaksiyonları ile enerji üretimini gerçekleştirmektedir.



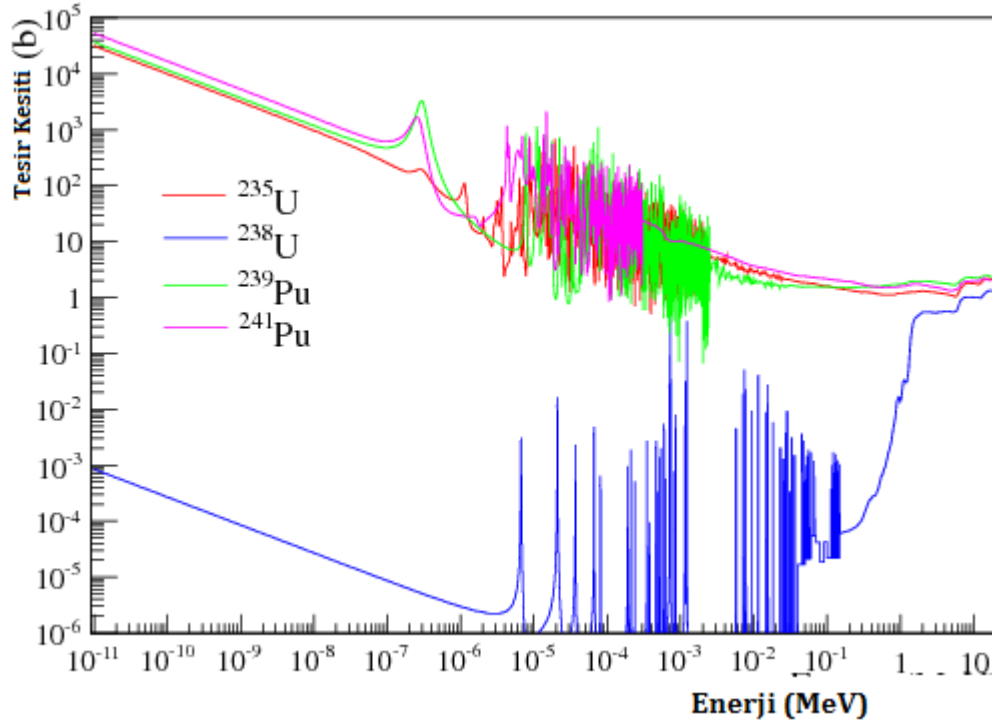
Şekil 3. 3. ^{235}U nötron bombardımanı sonrası fisyon süreci (Murray ve Holbert, 2014)

Şekil 3.3.'de ^{235}U izotopunun fisyon süreci gösterilmiştir. A; reaksiyon başlangıç durumunu ifade etmektedir. Çekirdeğe yaklaşan nötron B aşamasında gösterildiği üzere, uyarılmış durumdaki ^{236}U bileşik çekirdeğini oluşturur. Fazla enerji bazı durumlarda γ ışını olarak yayımlanabilir ancak, çoğu zaman C ve D aşamasında gösterildiği gibi çekirdeğin şeklinin bozulmasıyla birlikte çekirdek bölünür. Reaksiyon sonrası serbest hale geçen 200 MeV'lık toplam enerjinin 166 MeV'lık kısmı fisyon parçalarının kinetik enerjisi olarak ortaya çıkar. Parçalanabilir izotopların çekirdekleri kendiliğinden fisyonla uğrarken; bölünebilir malzemeler yavaş (termal) nötronlar ile kolayca parçalanırlar. Bölünme yapabilen izotoplar Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 Bölünme yapabilen izotoplar (Yılmaz, 1998)

İzotop	Bileşik Çekirdek	Uyartılma Enerjisi (MeV)	Bölünme Aktivasyon Enerjisi (MeV)	Bölünme
^{232}Th	^{233}Th	5,1	6,5	–
^{233}U	^{234}U	6,6	4,6	+
^{235}U	^{236}U	6,4	5,3	+
^{238}U	^{239}U	4,9	5,5	–
^{239}Pu	^{240}Pu	6,4	4,0	+

^{235}U , ^{238}U ve ^{239}Pu tesir kesitlerinin nötron enerjisiyle değişimi Şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3. 4. Farklı fisyon reaksiyonlarının tesir kesiti verilerinin gelen nötron enerjisi ile değişimi (Asner, vd., 2015)

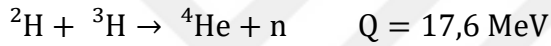
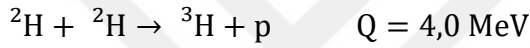
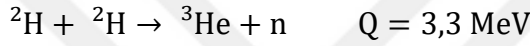
Şekil 3.4. incelendiğinde; ^{238}U izotopunun termal enerjilerde, 7 kat daha düşük fisyon tesir kesiti verisine sahip olduğu görülmektedir.

3.3.2. Füzyon reaksiyonu, füzyon reaktörleri yapısal malzemeleri

Enerji kaynağı olarak füzyonun fisyonu göre birkaç avantajı vardır. Bunlardan biri, hafif çekirdeklerin bol miktarda bulunmaları ve kolaylıkla elde edilebilmeleri, diğeri ise füzyon ürünlerinin kararlı olmalarıdır. Hafif çekirdeklerin birleşmesi için, coulomb potansiyelini aşmaları gerekir. Fisyon reaksiyonunda, nötronlar yüksüz olduklarından dolayı herhangi bir engelle karşılaşmazlar. ^{40}Ca çekirdeğini oluşturmak için, iki ^{20}Ne çekirdeğinin füzyon yaptığını varsayalım. Reaksiyonun Q değeri yaklaşık olarak, 20,7 MeV'dir. Bu fisyonla açığa çıkan enerjiyle kıyaslanabilir büyüklüktedir. Ancak, iki ^{20}Ne çekirdeğinin füzyon reaksiyonu gerçekleşebilmesi için,

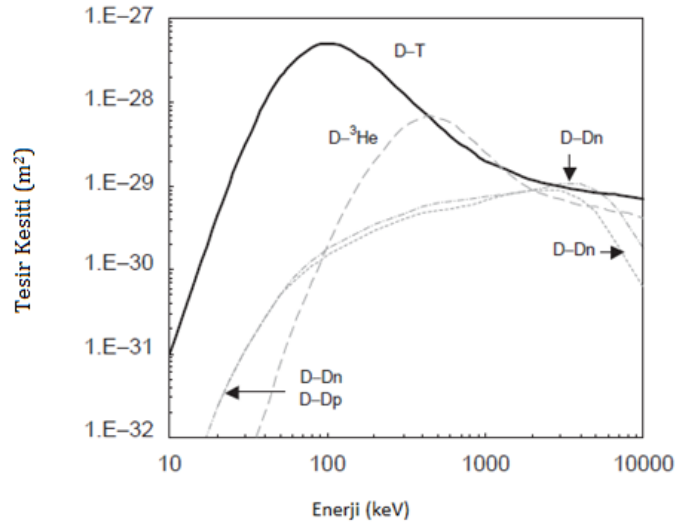
bu çekirdekleri birbirine nükleer dağılımları üst üste binecek şekilde yaklaştırmak gerekir. Çekirdek yüzeylerinin birbiri ile ilk temas ettiği yerde Coloumb potansiyeli 21,2 MeV'dir. Yani; füzyon reaksiyonun meydana gelebilmesi için, çekirdeklerin toplam kinetik enerjileri 21,2 MeV olmalıdır. Reaksiyon sonucunda, açığa çıkan sistemin enerjisi 41,9 MeV olur. Coloumb engelini aşılabilmesi için, durgun ^{20}Ne hedefi üzerine 21,2 MeV enerjisine kadar hızlandırılmış ^{20}Ne mermi parçacığı gönderilebilir. Termonükleer füzyon adı verilen diğer bir yöntem ise; neon gazı ile dolu bir kabı, iki çekirdeğin birbiri ile 21,2 MeV enerji ile çarpışabilecekleri kadar büyük bir sıcaklığa kadar ısıtmaktır (Krane, 2002).

Bazı temel füzyon reaksiyonları;



yukarıdaki gibidir. İlk iki reaksiyon döteron-döteron (D-D), son reaksiyon ise döteron-trityum (D-T) reaksiyonu olarak adlandırılır.

Coloumb engelini aşılabilmesi olasılığı, reaksiyon tesir kesiti kavramı ile incelenebilir. Füzyon reaksiyon tesir kesitleri, ^{235}U fisyon tesir kesitinden yaklaşık olarak 600 kat daha düşüktür. Şekil 3.5.'de bazı temel füzyon reaksiyonları için, tesir kesiti verilerinin enerji bağımlılıkları görülmektedir (Magaud ve Marbach, 2004).



Şekil 3. 5. Bazı temel füzyon reaksiyon tesir kesitlerinin enerji bağımlılığı (Magaud ve Marbach, 2004).

Şekil 3.5’de açıkça görüleceği üzere, en olası füzyon reaksiyonu D-T reaksiyonudur. Bu sebeble, füzyon araştırmaları genellikle bu reaksiyon üzerine odaklanmıştır. D-T reaksiyonu sonucunda 14,1 MeV enerjisine sahip nötron açığa çıkmaktadır.

Bir füzyon reaktörünün yapısal bileşenleri için mevcut malzeme seçiminde, yalnızca mekanik özellikler veya diğer malzemelerle ve soğutucu ortamlarla uyumluluk değil, aynı zamanda; aktivite, bozunma ısısı, radyotoksisite özelliklerine de dikkat etmek gerekir. Bu özellikler dikkate alındığında, kullanılabilecek malzeme sayısı düşük aktivasyon malzemeleri olarak bilinen birkaç alaya indirgenir. Uygun yapısal malzemelerin geliştirilmesi, füzyon reaktörlerini doğru ve etkili bir enerji kaynağı olarak kullanabilmek için atılması gereken önemli adımlardan biridir. İlk duvar, divertor, sınırlayıcılar ve örtü; yalnızca füzyon reaksiyonlarından kaynaklanan yüksek enerjili nötron ortamına değil, aynı zamanda güçlü mekanik, ısı ve elektromagnetik yüklemelere de maruz kalırlar. Bu yüzden, bu malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Materyal geliştirme programı; temel olarak, düşük aktivasyona sahip malzemelerinin geliştirilmesine odaklanır.

D-T füzyon reaksiyonu tarafından salınan enerjinin % 80’i, 14 MeV enerjili nötronlar tarafından ilk duvara ve örtüye aktarılır. Geriye kalan % 20’lik kısım, aynı

reaksiyondan çıkan α -parçacıkları tarafından taşınır. Nötronlar, alfa parçacıkları ve ikincil parçacıklar plazma kaplama malzemelerinde yapısal kusurlara sebep olurlar. D-T reaksiyonu sonrası açığa çıkan nötron enerjisinin yaklaşık % 10'u (1,4 MeV) ilk duvarda soğurulmaktadır. Geriye kalan enerji çoğunlukla örtüye aktarılmaktadır. Reaktör yapısına girdikçe nötronlar yavaşlar. Dolayısıyla; nötron spektrumu, giricilik mesafesi ile değişir. Bu ise; enerji spektrumlarını ve dönüştürme oranlarını değiştirecek, radyasyonun etkileri ilk duvarda ve örtüde farklı olacaktır (Harries, 1983; Victoria, vd., 2002).

İlk duvar ve ayırıcılarda kullanılacak malzemeler, ısı emici veya ısı aktarımını sağlayacak şekilde, aşırı ısınmayı önleyecek materyallerden seçilmelidir. Bunun için genellikle, Zr ve Cr ile güçlendirilmiş, oksijensiz bakır alaşımları kullanılmaktadır. İlk duvarda kullanılan malzemelerin listesi Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3. 2. İlk duvarda kullanılan malzemeler (Suri, vd., 2010)

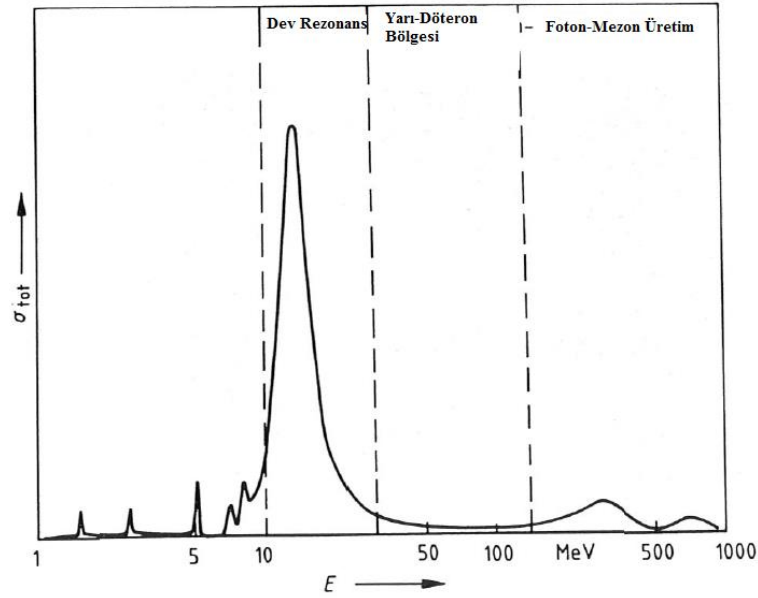
Plazma Hapsetme için Kullanılan Malzemeler • Düşük atom numarasına sahip malzemeler: Be, C-C kompozitleri • Yüksek atom numarasına sahip malzemeler: W, Mo alaşımları
İlk Duvar Isınma Önleyici Malzemeler • Cu, Cr, Zr alaşımları • Al ile güçlendirilmiş Cu alaşımları
İlk Duvar Yapısal Malzemeler • Çelik • Vanadyum alaşımları • SiC fiber, SiC kompozitleri

İlk duvar yapısal malzemesi olarak kullanılan çelik alaşımlarında değişik oranlarda Cr, W, Mn, V, Si, C, Ta, N, Fe, P, S, B, O, Nb, Mo, Ni, Cu, Al, Ti elementleri bulunmaktadır. Reaksiyonun meydana gelmesi için gereken yüksek sıcaklıktan ve radyasyondan kaynaklanan aşınma etkilerin azaltılması için, elektriksel aksamalar kaplama malzemeleri ile kaplanmaktadır. Gümüş en yüksek elektriksel ve termal iletkenliğe sahip metal olduğu için kaplama malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Hillairet, vd., 2017).

Yapısal füzyon materyallerini inceleyebilmek için; tesir kesiti, bozunma ve aktivasyon veri kütüphaneleri geliştirilmiştir. Oluşturulan kütüphaneler ve gerçekleştirilen araştırmalar neticesinde birkaç ana elementin uygun olduğu gözlemlenmiştir (Victroia vd., 2002). Bu tez çalışmasında kullanılan Fe, Nb, Zr ve Ag elementleri, füzyon reaktörü için malzeme geliştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kaplan vd., 2013a; Gökçe, 2013; Demir, vd., 2015; Aydın, vd., 2015; Kaplan, vd., 2016).

3.4. Fotonükleer Etkileşim

Yüksek enerjili fotonlar atom çekirdeği ile etkileşime girerek; çekirdekten proton, nötron gibi taneciklerin salınmasına dolayısıyla yeni çekirdek oluşumlarına sebep olurlar. Gelen fotonun hedef çekirdek tarafından soğurulması çekirdeğin uyarılmış duruma geçmesine neden olur. Bu uyarılma enerjisi; çekirdekten proton, nötron veya diğer yüklü parçacıkların salınmasını sağlar. Fotonükleer reaksiyonun toplam tesir kesiti-enerji ilişkisi aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 3. 6. Fotonükleer reaksiyon toplam tesir kesiti (Segebade vd., 1987)

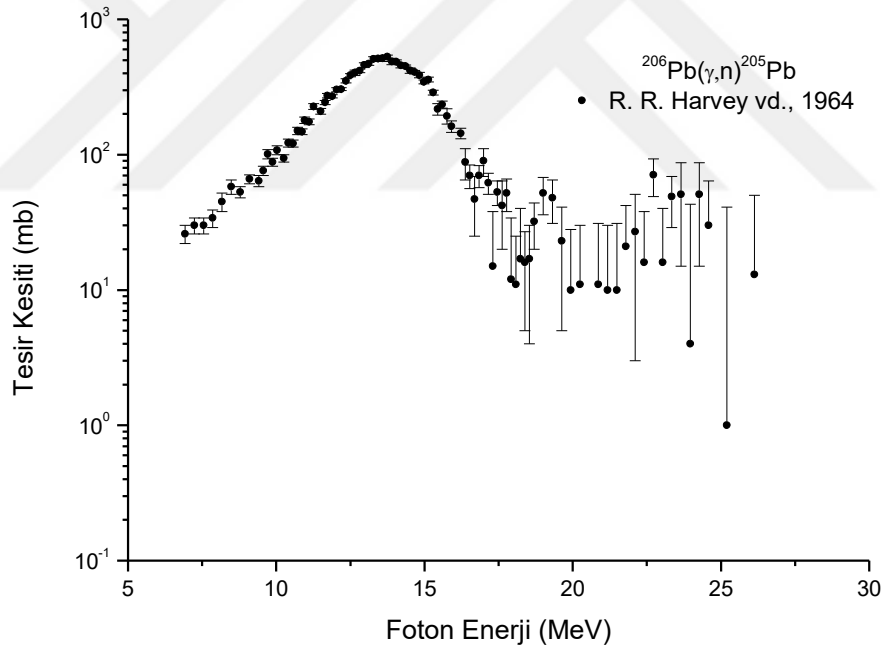
Toplam tesir kesiti;

$$\sigma_{top} = \sigma_{GDR} + \sigma_{QD} + \sigma_{foton-mezon} \quad (3.11)$$

olarak ifade edilebilir.

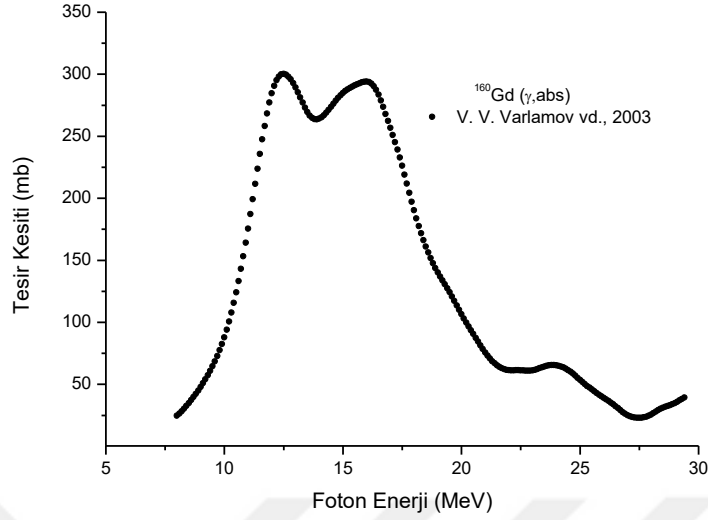
Nötron ayrılma enerjisinin altındaki gelme enerjilerinde; gelen fotonun enerjisi tek bir nükleer seviyeyi uyarabilecek enerjiye sahipse, tesir kesiti ince bir rezonans piki verir.

Nötron ayrılma enerjisinin üzerindeki gelme enerjilerinde ise toplam tesir kesiti çok geniş bir maksimum rezonans piki verir. Bu pikin sebebinin bütün nükleonların kolektif olarak titreşimsel hareketleri olduğu düşünülmektedir. Bu bölgeye GDR adı verilir. Küresel çekirdeklerde, tesir kesiti-enerji ilişkisi tek pike sahip bir grafik vermektedir.



Şekil 3. 7. Küresel simetrik çekirdek için tipik bir dev dipol rezonans tesir kesiti (Harvey, vd., 1964)

Eğer; hedef çekirdek bir deformasyona sahipse, protonların nötronlara karşı gösterdiği kolektif hareketlerinde koordinat eksenlerinin katkısı ortaya çıkar. Dolayısıyla, tesir kesiti-enerji grafiğinde birden fazla pik ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3. 8. Deforme çekirdek için GDR bölgesi tesir kesiti enerji ilişkisi (EXFOR, 2017)

GDR bölgesi için; tesir kesiti-enerji grafiği yukarıdaki şekillerden de görüleceği üzere, lorentz fonksiyonuna uyan bir durum sergilemektedir. Yapılan deneylerin ışığında bu bölge için tesir kesiti ifadesinin;

$$\sigma_{GDR} = \sum_{i=1,2} \sigma_{E,i} \frac{E_{\gamma}^2 \Gamma_{E1,i}^2}{(E_{\gamma}^2 - \Gamma_{E1,i}^2)^2 + E_{\gamma}^2 + \Gamma_{E1,i}^2} \quad (3.12)$$

olarak hesaplanabileceği ifade edilmiştir. Burada; $\sigma_{E,i}, E_{i,1}$ ve $\Gamma_{E,i}$ sırasıyla pik tesir kesiti, maksimum tesir kesitine karşılık gelen enerjiyi ve rezonans genişliği değerlerini ifade etmektedir. Küresel çekirdekler için bu ifade sadece tek bileşenli olacaktır.

GDR bölgesi için, toplam tesir kesiti ifadesi aşağıdaki şekilde olmaktadır.

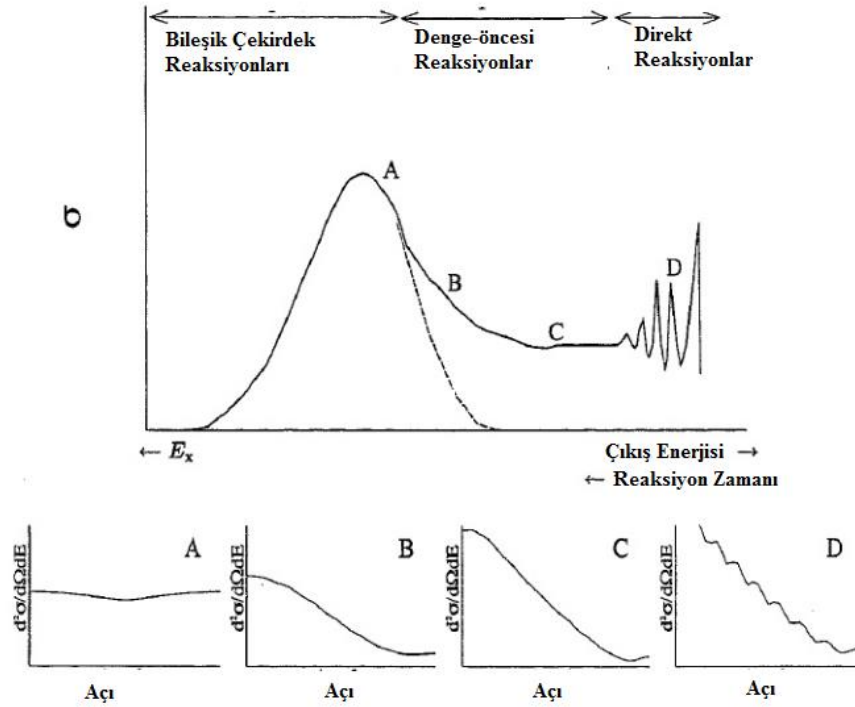
$$\sigma_{GDR} = \sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, np) + \sigma(\gamma, 2n) + \sigma(\gamma, 2np) + \dots \quad (3.13)$$

Orta ve ağır çekirdekler için GDR bölgesinde, proton yayınlanması coloumb bariyeri sebebiyle mümkün olmamaktadır. O halde; GDR tesir kesitine en büyük katkısı (γ, n) tesir kesitleri yapacaktır.

GDR bölgesi enerji aralığından daha yüksek enerjilerde bütün nükleonların kolektif hareketi yerine bireysel hareketler gözlenmektedir. Gelen foton, doğrudan proton-nötron çifti ile etkileşime girerek nükleon yayınlanmasına sebep olmaktadır. Yüksek enerjili fotonların düşük sayıdaki nükleonlar ile etkileşimi, nedeniyle tesir kesiti GDR bölgesinden daha düşük olacaktır (Koning, vd., 2013).

3.5. Nükleer Reaksiyon Mekanizmaları

Nükleer reaksiyonları gerçekleştikleri zaman ölçeğine göre direkt, bileşik çekirdek ve denge-öncesi reaksiyonları olarak üç kategoride incelemek mümkündür. Şekil 3.9'da bu reaksiyon türlerinin, tesir kesiti verilerinin reaksiyon zamanına ve enerji spektrumlarının açığa bağımlılıkları görülmektedir.



Şekil 3. 9. Enerji bölgelerinde çıkan parçacık spektrumuna mekanizmaların katkıları (Koning ve Akkermans, 1998)

Direkt reaksiyonlar 10^{-22} saniye mertebesinde gerçekleşen, diğer reaksiyon mekanizmalarına kıyasla oldukça hızlı reaksiyon türüdür. Bu süre yaklaşık olarak mermi çekirdeğin hedef çekirdeği geçmesi için gereken süredir. Mermi ve hedef çekirdek etkileşime girerek şiddetli bir absorpsiyon meydana getirirler. Şekil 3.19'da

görülebileceği gibi, tesir kesitleri küçük açılarda pik yaparken büyük açılarda şiddetleri düşmektedir. Bileşik çekirdek reaksiyonları ise, 10^{-18} saniye mertebesinde gerçekleşen nükleer reaksiyon mekanizmalarıdır. Bileşik çekirdek reaksiyonları, hafif çarpışmaya ihtiyaç duyduğu için 10 MeV gelme enerjisinin altındaki nükleer reaksiyonlarda baskın olarak görülür. Tesir kesitleri, Şekil 3.19’da görüldüğü gibi direkt reaksiyonlara göre oldukça büyüktür ve açıyla pek değişim göstermez. Denge-öncesi nükleer reaksiyonlar ise, direkt ve bileşik çekirdek reaksiyonları arasındaki zaman diliminde gerçekleşirler. Bu reaksiyon türleri bileşik çekirdek ve direkt reaksiyon mekanizmalarının özelliklerini taşırlar. 10-200 MeV enerji aralığında gerçekleşen nükleer reaksiyonlarda baskın olan mekanizma denge-öncesi ya da kuantum mekaniksel ifadesiyle çok adımlı süreç olarak adlandırılır (Koning ve Akkermans, 1998).

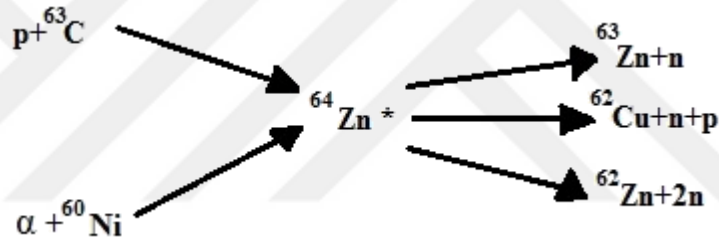
3.5.1. Bileşik çekirdek reaksiyonları

Bileşik çekirdek teorisi, ilk olarak 1936’da Bohr tarafından ortaya konmuştur (Bohr, 1936). Bohr bileşik çekirdek reaksiyonlarını, ilk olarak reaksiyona giren parçacıkların birleşerek bileşik çekirdeği oluşturduğu sonrasında ise oluşan bileşik çekirdeğin bozunarak son ürünler kümesini meydana getirdiği iki aşamada gerçekleştiğini öne sürmüştür (Gadioli ve Hodgson, 1992).

Bileşik çekirdek reaksiyonlarında gelen parçacık, çekirdek yarıçapına göre küçük bir çarpışma parametresi ile hedef çekirdeğe girer. Bu parçacığın muhtemelen basit bir saçılmayla, hedef nükleonlardan biri ile etkileşme ihtimali çok yüksektir. Geri tepen nükleon ve gelen parçacık diğer nükleonlarla ardışık çarpışmalar yapabilir ve böyle birkaç etkileşmeden sonra gelme enerjisi, hedef parçacık ile hedef bileşik sistemin nükleonları arasında paylaşılır (Krane, 2002).

Bileşik çekirdek reaksiyonları, $a + A \rightarrow C^* \rightarrow b + B$ şeklinde bir ara duruma sahiplerdir. Bu ara duruma bileşik çekirdek adı verilir. Bileşik çekirdek reaksiyonlarının meydana gelme süresi bir ara durum içerdiklerinden dolayı diğer reaksiyonlardan daha uzundur (10^{-18} s’den büyüktür). Bileşik çekirdek modeli, gelen parçacığın çekirdekten kaçma şansının küçük olduğu düşük geliş enerjileri (10-20 MeV) için iyi işler.

Bileşik çekirdek reaksiyonlarının temelindeki fikir, nükleer kuvvetlerin çok güçlü olduğu ilkesine dayanmaktadır. Nükleer kuvvetler o kadar güçlüdür ki; mermi parçacığının, enerjisi hedef çekirdeğin nükleonları arasında paylaşılmadan kaçabilme ihtimali yoktur. Mermi parçacığının enerjisi tamamen hedef çekirdeğin nükleonları arasında paylaşılır ve bileşik çekirdek nasıl oluştuğuna bağlı olmaksızın bozunur. Buna, Bohr Bağımsızlık Hipotezi adı verilir. Daha açık bir ifadeyle, Bohr Bağımsızlık Hipotezi bileşik çekirdeğin bozunmasının bileşik çekirdeğin nasıl oluştuğuna değil, yalnızca bileşik çekirdeğin enerjisine, açısal momentumuna ve paritesine bağlı olduğunu ifade eder (Gadioli ve Hodgson, 1992). Yani, bileşik çekirdeğin hafızası yoktur. Daha açık ifade etmek gerekirse; bileşik çekirdek nasıl oluştuğunu unuttur ve öncelikle istatistik kurallara göre bozunur (Krane, 2002). Yani; oluşan bileşik çekirdek, farklı parçacıklara bozunabilir. Bileşik çekirdeğin farklı parçacıklara bozunması ile ilgili bir örnek Şekil 3.10'de verilmiştir.



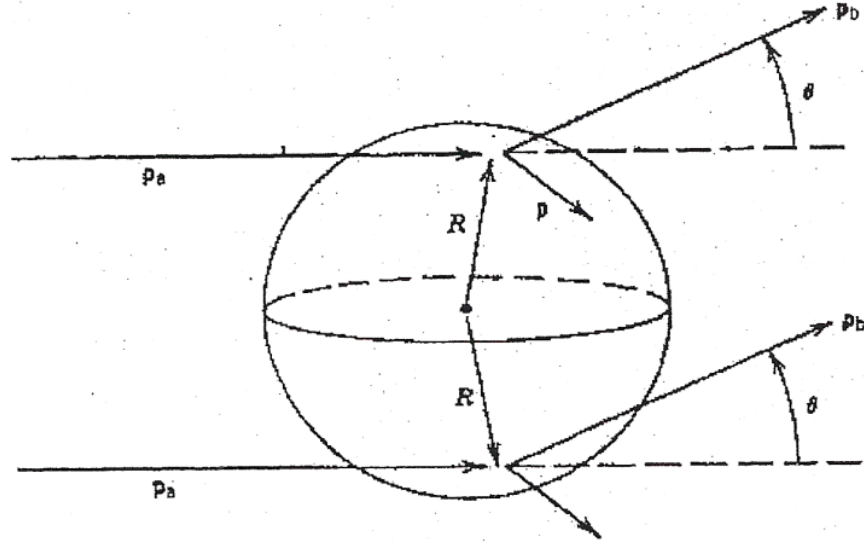
Şekil 3. 10. Bileşik çekirdek reaksiyonu (Krane, 2002)

Bileşik çekirdeğin parçacık emisyonu Weisskopf ve Ewing tarafından hesaplanmıştır (Weisskopf ve Ewing, 1940). Hauser ve Feshbach; Weisskopf ve Ewing'in ortaya attığı teoriye kuantum mekaniksel düzeltmeler getirmişlerdir (Hauser ve Feshbach, 1952).

3.5.2. Direkt nükleer reaksiyonlar

Direkt reaksiyonlarda mermi çekirdek, öncelikle çekirdeğin yüzeyinde etkileşir. Mermi parçacığının enerjisi arttıkça, dalga boyu çekirdek mertebesinde nükleon mertebesine kadar küçülür. Bu nedenle; düşük enerjilerde bileşik çekirdek reaksiyonları, yüksek enerjilerde ise, direkt reaksiyonları gözlemlemek daha olasıdır.

Direkt reaksiyonların iki karakteristik özelliği bulunmaktadır. Bunlardan ilki reaksiyon zamanıdır. Direkt reaksiyonlar bileşik çekirdek reaksiyonlarının aksine çok hızlı meydana gelirler (10^{-22} s). İkinci özelliği ise, parçacıklarının açısal dağılımlarının keskin pikler vermesidir. Direkt reaksiyon geometrisi Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3. 11. Direkt reaksiyon geometrisi (Krane, 2002)

En basit direkt reaksiyon süreci, parçacığın hareket yönü ve kutuplaşma durumu değişirken, enerjisinin değişmediği esnek saçılma türüdür. Esnek saçılma gelen parçacığın çekirdeğin tamamı ile etkileşime girdiğinde gerçekleşir. Transfer reaksiyonları ve koparma reaksiyonları da direkt süreçlere örnek olarak verilebilir. Bir başka direkt reaksiyon örneği ise döteron soyma (d,p) reaksiyonudur.

3.5.3. Denge-öncesi nükleer reaksiyonlar

Denge-öncesi nükleer reaksiyon mekanizmasında parçacıklar; iki nükleer sistemin çarpışarak bir bileşik sistem oluşturmasıyla, bu sistemin tam bir termal veya istatistik dengeye ulaşması arasında geçen süre içerisinde yayınlanırlar (Holub, vd., 1980). Reaksiyon süreleri direkt reaksiyonlar ile bileşik çekirdek reaksiyonları arasındadır. Denge-öncesi nükleer reaksiyonlar özellikle 10 MeV üzeri gelme enerjilerinde baskın rol oynamaktadır. Bu yüzden, temel çekirdek fiziği problemlerinin araştırılması için

denge-öncesi reaksiyonların tesir kesitlerinin deneysel veya teorik yöntemlerle hesaplanması gerekmektedir (Yalçiner, 2008).

Denge-öncesi nükleer reaksiyonları genellikle fenomenolojik modeller yardımıyla incelenir (Gruppelaar, vd., 1986). Çekirdekle etkileşen parçacık enerjisini ilk olarak bir veya iki hedef nükleonuna aktarır. Enerji aktarımı, nükleon-nükleon etkileşimleri vasıtasıyla sürer. Bu süreç, seri aşaması olarak ele alınabilir. Fenomenolojik modeller parçacık-deşik çiftlerinin adım adım oluşturulmasını ve yok oluşlarını kapsamaktadır. Parçacık durumu; Fermi enerjisinin üzerinde olan parçacıkları ifade ederken, deşik durumu; Fermi enerjisi altında uyarılan tek parçacığın, uyarıldıktan sonra maksimum Fermi enerjisi seviyesi üzerine geçişi sebebiyle oluşan ayrılmış nükleon durumuna karşılık gelmektedir. Bu modellerde sistemin içerisinde bulunduğu durum, p parçacık sayısını h deşik sayısını ifade etmek üzere, iki durumun toplamı olan eksiton sayısı ($n=p+h$) ile ifade edilir. Seri aşamaların her birinde parçacık (denge-öncesi parçacıkları olarak adlandırılır) yayınlanması mümkündür. Uyarılma enerjisi her yeni aşamada aynı biçimde nükleonlar arasında dağıldığından, kimi parçacık yayınlanma olasılığı aşamadan aşamaya düşmektedir. Nihayetinde, bileşik çekirdek istatistiksel denge durumuna gelir. Eğer mümkünse, temel duruma geçinceye kadar parçacık yayınlayabilir. Parçacık gelme enerjisi ne kadar küçük ise, denge-öncesi parçacıkların yayınlanma olasılığı da o kadar küçük olur. Fenomenolojik modellerde zamana bağımlı bir master denklem nükleer durumun daha kompleks veya daha az karmaşık eksiton durumlarına geçişinin olasılığını hesaplar. Fenomenolojik modellerin en göze çarpan özelliği, eksiton durumları arasındaki geçişlerde enerjinin korunduğunu kabul etmesidir. Bu modellerin bazılarında hesaplamalarda kullanılan teorik modeller kısmında ayrıntılı olarak değinilmiştir.

Denge-öncesi süreci 10-200 MeV enerji aralığında nükleer reaksiyonlara büyük katkıda bulunur. Yaklaşık 150-200 MeV üzerindeki enerjilerde, nükleer verilerin tahmini için intranükleer kaskad modelleri muhtemelen yeterli olacaktır. Bununla birlikte, bu enerjinin altında, denge-öncesi süreçleri açıklayan fenomenolojik modeller hala bu reaksiyonların doğru bir analizi için gereklidir (Gadioli ve Hodgson, 1992).

3.6. Hesaplamalarda Kullanılan Teorik Modeller

Teorik nükleer modeller, deneysel verilerin olmadığı durumlarda araştırmacılara yön göstermesi açısından oldukça önemlidir. Deneysel verilerle uyumlu bir modelin geliştirilmesi, temel nükleer fizik problemlerinin çözümü için büyük bir önem taşımaktadır.

3.6.1. Optiksel modeller

Nükleer reaksiyonları açıklamak için geliştirilen modellerden birisi optiksel modeldir. Soğurma etkilerinin var olması halinde elastik saçılmayı genel bir yolla inceleyebilmemizi sağlar. Optiksel modelde toplam etkileşim potansiyeli komplekstir. Optiksel model adı verilmesinin sebebi, hesaplamanın yarı saydam cam küre üzerine gelen ışığına benzemesidir (Krane, 2002).

Optiksel model potansiyeli; bileşik ve denge-öncesi nükleer reaksiyonların tesir kesitlerinin açılan reaksiyon kanallarına nasıl dağılacakını belirlediğinden dolayı, nükleer reaksiyonlar için oldukça önemlidir.

3.6.1.1. Watanabe düzeltmeli Koning Delaroche potansiyeli

Nükleon çekirdek saçılması için fenomenolojik optiksel model potansiyeli U ;

$$U(r, E) = -V_v(r, E) - iW_v(r, E) - iW_D(r, E) + V_{SO}(r, E) \cdot 1. \sigma + iW_{SO}(r, E) \cdot 1. \sigma + V_C(r, E) \quad (3.14)$$

olarak verilir. Burada; $V_{V,SO}$ ve $W_{V,D,SO}$ hacim, yüzey ve spin potansiyellerinin gerçek ve sanal kısımlarını, E ise laboratuvar sistemindeki parçacık enerjisi ifade etmektedir. Bütün parametreler, enerji bağımlı ve enerji bağımsız radyal potansiyel kuyularında bulunmaktadır. Radyal bileşenler f ile gösterilmek üzere bileşenler için;

$$V_V(r, E) = V_V(E)f(r, R_V, a_V), \quad (3.15)$$

$$W_V(r, E) = W_V(E)f(r, R_V, a_V) \quad (3.16)$$

$$W_D(r, E) = -4a_D W_D(E) \frac{d}{dr} f(r, R_D, a_D) \quad (3.17)$$

$$V_{SO}(r, E) = V_{SO}(E) \left(\frac{\hbar}{m_\pi c} \right)^2 \frac{1}{r} \frac{d}{dr} f(r, R_{SO}, a_{SO}) \quad (3.18)$$

$$W_{SO}(r, E) = W_{SO}(E) \left(\frac{\hbar}{m_\pi c} \right)^2 \frac{1}{r} \frac{d}{dr} f(r, R_{SO}, a_{SO}) \quad (3.19)$$

olarak ifade edilir. Biçim katsayısı $f(r, R_{SO}, a_{SO})$ Wood-Saxon geometrisine sahiptir.

$$f(r, R_{SO}, a_{SO}) = (1 + \exp[(r - R_i)/a_i])^{-1} \quad (3.20)$$

A kütle numarası, a_i difüzyon parametresi olmak üzere yarıçap, $R_i = r_i A^{1/3}$ olarak verilir. Yüklü mermi çekirdekler için, coloumb terimi V_C ;

$$V_C(r) = \begin{cases} \frac{Zze^2}{2R_C} \left(3 - \frac{r^2}{R_C^2} \right), & r \leq R_C \\ \frac{Zze^2}{r}, & r \geq R_C \end{cases} \quad (3.21)$$

olarak hesaplanır. Burada; $R_C = r_C A^{-1/3}$ coloumb yarıçapını, Z hedefin, z ise mermi parçacığının yükünü göstermektedir.

Potansiyel kuyusunun derinliği, E_f fermi enerjisini ifade etmek üzere, $(E - E_f)$ değerine bağlıdır.

Alfa parçacığı için, Koning-Delaroche optik potansiyeline Watanabe yaklaşımı uygulanırsa;

$$V_V^{alfa}(E) = 2V_V^{nötron}(E/4) + 2V_V^{proton}(E/4) \quad (3.22)$$

$$W_V^{alfa}(E) = 2W_V^{nötron}(E/4) + 2W_V^{proton}(E/4) \quad (3.23)$$

$$W_D^{alfa}(E) = 2W_D^{nötron}(E/4) + 2W_D^{proton}(E/4) \quad (3.24)$$

$$V_{SO}^{alfa}(E) = W_{SO}^{alfa}(E) = 0 \quad (3.25)$$

ifadeleri elde edilir. Reel potansiyel için, yarıçap ve difüzyon parametreleri ise;

$$r_V^{alfa} = (r_V^{nötron} + r_V^{proton})/2 \quad (3.26)$$

$$a_V^{alfa} = (a_V^{nötron} + a_V^{proton})/2 \quad (3.27)$$

şeklinde bulunur (Watanabe, 1958 ve Koning, vd., 2015).

3.6.1.2. McFadden ve Satchler optik potansiyeli

Genel olarak, geliştirilen alfa optiksel model potansiyelleri 50 MeV derinliğindeki potansiyel kuyularına odaklanmıştır. Ancak, alfa saçılmasının dört tane nükleon çekirdek etkileşiminin üst üste binmesi olarak yorumlayabileceği böylece potansiyel kuyusunun derinliğinin yaklaşık olarak 200 MeV olacağını düşünen McFadden ve Satchler, 24,7 MeV enerjili alfa parçacığının esnek saçılmasını inceleyerek optiksel model geliştirmişlerdir (McFadden ve Satchler, 1966). Optiksel model potansiyelini;

$$U(r) = -V(e^x + 1)^{-1} - iW(e^{x'} + 1)^{-1} \quad (3.28)$$

olarak tanımlamışlardır. Burada x ve x' ;

$$x = \frac{(r-r_0A^{1/3})}{a} \quad (3.29)$$

$$x' = \frac{(r-r'_0A^{1/3})}{a'} \quad (3.30)$$

olarak verilir.

3.6.1.3. Demetriou, Grama, Goriely Potansiyeli

Çoğu nükleer astrofizik uygulaması, radyoaktif α -parçacık yakalamaları, α bozunumları ve α -parçacık aktarım reaksiyonlarını içerir. Hauser-Feshbach'ın istatistiksel modelinin teorik tahminleri, özellikle Coulomb bariyerinin çok altındaki düşük enerjilerdeki α -çekirdek optiksel model potansiyelinin yetersiz bilgisinden dolayı, belirsizliğini korumaktadır. Demetriou ve arkadaşları; α çekirdek etkileşimini karakterize eden güçlü enerji bağımlılığını ve nükleer yapı etkilerini hesaba katan yeni bir küresel α -optik potansiyeli ortaya koymuşlardır (Demetriou, vd., 2002). Optik potansiyel; $V_C(r)$ coulomb potansiyeli, $V(r)$ ve $W(r)$ reel ve sanal bileşenler olmak üzere,

$$U(r) = V_C(r) + V(r) + iW(r) \quad (3.31)$$

olarak tanımlanmıştır. Optik potansiyelin reel kısmı;

$$V(r) = \lambda \iint \rho_p(r_p) \rho_T(r_T) \times v_{eff}(E, \rho = \rho_p + \rho_T, s = |\vec{R} + \vec{r}_p - \vec{r}_T|) d^3r_p d^3r_T \quad (3.32)$$

olarak verilir. Burada; λ deneysel verilerden elde edilen parametre, $\rho_p(r_p)$ ve $\rho_T(r_T)$ sırasıyla mermi ve hedef çekirdeklerin yoğunluklarını, $\vec{R}$ mermi ve hedef çekirdeğin kütle merkezleri arasındaki vektör; v_{eff} ise, nükleon-nükleon etkileşimi potansiyelidir.

Sanal kısım ise, sadece hacim terimi içerir ve şu şekilde verilir.

$$W(r; E) = W_{0,v} F(E) f_v(r) \quad (3.33)$$

$$f_v(r) = \frac{1}{1 + \exp((r - r_v A^{1/3})/a_v)} \quad (3.34)$$

$F(E)$ enerji bağımlılığını ifade ederken, hacim teriminin geometrik parametreleri a_v ve r_v A kütle numarasını belirtmek üzere,

$$r_v = B_0 + B_1A + B_2A^2 + B_3A^3 + B_4A^4 \quad (3.35)$$

$$a_v = C_0 + C_1A + C_2A^2 + C_3A^3 + C_4A^4 \quad (3.36)$$

olarak hesaplanır. Burada, B ve C katsayıları deneysel verilere fit edilerek bulunur (Demetriou, vd., 2002).

3.6.1.4. Avriganu optiksel model potansiyeli

Avriganu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, $121 \leq A \leq 197$ kütle numarası aralığındaki çekirdekler üzerinde Coloumb engeli altında gelme enerjisine sahip (α, x) reaksiyonları için mevcut tüm reaksiyon kanallarını ait tesir kesitlerinin analizi yapmışlardır. Analiz sonucunda, optiksel model hesaplamalarını $45 \leq A \leq 124$ aralığında düşük enerjilerde esnek saçılma ve deneysel tesir kesiti verileriyle uyum sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca; yüzeysel sanal potansiyel derinliğinin enerji bağımlılığının, coulomb engelinin altındaki α parçacık etkileşim davranışının anlaşılması için gerekli olduğunu ortaya koymuşlardır. Optik potansiyel denklemleri;

$$V_R = 165 + 0,733 Z/A^{\frac{1}{3}} - 2,64E, \quad E \leq E_3 \quad (3.37)$$

$$V_R = 116,5 + 0,337 Z/A^{\frac{1}{3}} - 0,453E, \quad E > E_3 \quad (3.38)$$

$$W_V = 2,73 - 2,88A^{\frac{1}{3}} + 1,11E \quad (3.39)$$

$$W_D = \begin{cases} 2.5 \pm 1.0, & E \leq E_1 \\ 22,2 + 4,57A^{\frac{1}{3}} - 7,446E_2 + 6E, & E_1 < E \leq E_2 \\ 22,2 + 4,57A^{\frac{1}{3}} - 1,446E, & E > E_2 \end{cases} \quad (3.40)$$

olarak verilir. Burada;

$$E_1 = -3,28 - 0,762A^{1/3} + 1,24E_2 \quad (3.41)$$

$$E_2 = (2,59 + 10,4/A)Z / (2,66 + 1,36A^{1/3}) \quad (3.42)$$

$$E_3 = 22,2 + 0,181 Z / A^{1/3} \quad (3.43)$$

olarak verilmiştir (Avriganu ve Avriganu, 2010).

3.6.2. Bileşik çekirdek (denge) modelleri

Bileşik çekirdek reaksiyonları iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk olarak; reaksiyona giren parçacıklar, birleşerek bileşik çekirdek oluştururlar. Bunu takip eden süreçte, oluşan bileşik çekirdek nasıl oluştuğundan bağımsız olarak bozunarak son ürünler kümesinin oluşturur. Bileşik çekirdek reaksiyonlarını açıklamak için geliştirilen modellerden başlıcaları Weisskopf-Ewing ve Hauser-Feshbach modelleridir.

3.6.2.1. Weisskopf-Ewing teorisi

Bileşik çekirdek reaksiyon mekanizmasının başarılı bir modellemesi Weisskopf ve Ewing tarafından 1940 yılında ortaya konulmuştur. $X(a,b)Y$ gibi bir nükleer reaksiyon düşünelim. Bu reaksiyon için tesir kesiti ifadesi,

$$\sigma(a, b) = \sigma_a(\epsilon)\eta_b(E) \quad (3.44)$$

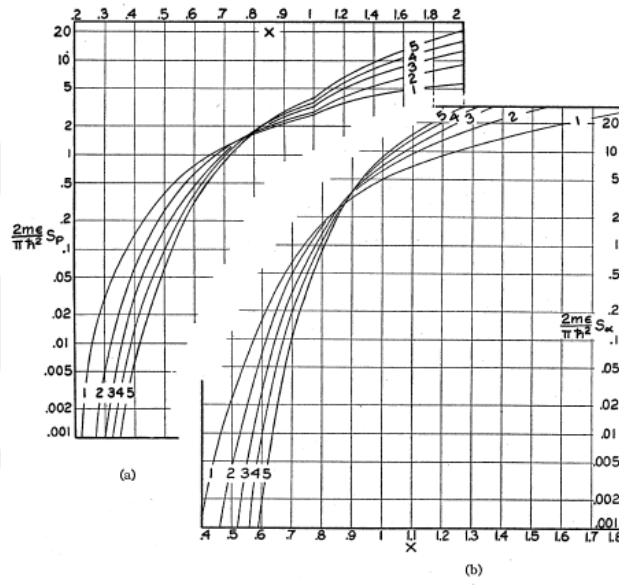
ile verilir. Burada; $\sigma_a(\epsilon)$, ϵ enerjili a parçacığı ile bombardıman sonucu bileşik çekirdeğin oluşma tesir kesitini, $\eta_b(E)$ ise E enerjisiyle uyarılmış bileşik çekirdeğin bozunarak b parçacığı yayımlamasının tesir kesitini ifade etmektedir. E_a mermi çekirdek a 'nın, $X+a$ bileşik çekirdeğine bağlanma enerjisi olmak üzere;

$$E = \epsilon + E_a \quad (3.45)$$

olur. $\sigma_a(\epsilon)$ tesir kesiti, $S_a(\epsilon)$ mermi çekirdeğin hedef çekirdeğin yüzeyine ulaşması tesir kesitini ve $\xi_a(\epsilon)$ ise a mermi çekirdeğinin hedef çekirdekle etkileşerek bileşik çekirdek oluşturma ihtimalini göstermek üzere;

$$\sigma_a(\epsilon) = S_a(\epsilon)\xi_a(\epsilon) \quad (3.46)$$

olarak verilir. λ parçacığın dalga boyu olmak üzere; $\lambda/2\pi$, nükleer yarıçaptan çok küçük ise, nötron gibi yüksüz parçacıklar için, giricilik tesir kesiti S_a , parçacık Coloumb engeli ile karşılaşmayacağı için geometrik tesir kesiti değeri olan πR^2 'ye eşit olacaktır. Yüklü parçacıklar için ise, giricilik tesir kesiti; parçacık Coloumb engeli ile karşılaşacağından dolayı, daha düşük olacaktır. Şekil 3.12'de proton (S_p) ve alfa parçacığı (S_α) için giricilik tesir kesitlerinin enerjiyle değişimi verilmiştir.



Şekil 3. 12. Proton (üstte) ve alfa (altta) parçacıkları için giricilik tesir kesitleri (Weisskopf ve Ewing, 1940)

Bileşik çekirdeğin b parçacığını yayımlayarak bozunma olasılığı η_b ; bileşik çekirdeğin oluşma mekanizmasından bağımsız olacağından,

$$\eta_b = \frac{\Gamma_b}{\sum_{b'} \Gamma_{b'}} \quad (3.47)$$

olarak hesaplanır. Burada; Γ_b , b parçacığının bileşik çekirdekten birim zamanda yayınlanma olasılığıdır, toplam yayınlanan tüm b' parçacıkları üzerinden alınır. Γ_b ; b yayınlanması için bileşik çekirdeğin seviye genişliğine karşılık gelmektedir.

α giriş kanalı ve β reaksiyon kanalı olmak üzere; $\sigma(\alpha \rightarrow \beta)$ reaksiyona ait toplam tesir kesiti ile $\sigma(\beta \rightarrow \alpha)$ ters reaksiyona ait tesir kesiti arasındaki genel bağıntı, iç açısal momentumlar dahil edilmeden,

$$k_\alpha^2 \sigma(\alpha \rightarrow \beta) = k_\beta^2 \sigma(\beta \rightarrow \alpha) \quad (3.48)$$

şeklinde verilebilir. İkinci haldeki giriş kanalı α ve reaksiyon kanalı β 'dır. Bu denklem düzenlenip indislerine göre ayrılırsa;

$$\frac{k_\alpha^2 \sigma_C(\alpha)}{\Gamma_\alpha(E_C)} = \frac{k_\beta^2 \sigma_C(\beta)}{\Gamma_\beta(E_C)} = U(E_C) \quad (3.49)$$

elde edilir. Burada; $U(E_C)$ yalnız bileşik çekirdeğin enerjisine bağlı olan, fakat kanallardan hiç birine bağlı olmayan bir fonksiyondur. Denklemler sadeleştirilirse, Denklem 3.50 elde edilir.

$$\eta_C(\beta) = \frac{k_\beta^2 \sigma_C(\beta)}{\sum_\gamma k_\gamma^2 \sigma_C(\gamma)} \quad (3.50)$$

ε_β ' dan $\varepsilon_\beta + d\varepsilon_\beta$ enerji aralıklı çıkan parçacık, U_β 'dan $U_\beta + dU_\beta$ enerji aralıklı kalan çekirdekten ayrılır. Burada, $U_\beta = E_C - B_\beta - \varepsilon_\beta$, E_C ; bileşik çekirdeğin enerjisi ve B_β 'da çıkan parçacığın bağlanma enerjisidir.

Açı integralli tesir kesiti ifadesi, kalan parçacığın seviye yoğunluğu $w(U_\beta)$, i_α ve i_β ; giren ve çıkan parçacıkların spinleri, μ ; çıkan parçacığın indirgenmiş kütlesi olmak üzere;

$$\sigma(\alpha, \beta) d\varepsilon_\beta = \frac{\sigma(\gamma)(2i_\beta + 1)\mu_\beta \varepsilon_\beta \sigma(\beta) w(U_\beta) dU_\beta}{\sum_\gamma \int_0^{\varepsilon_{\max}} (2i_\gamma + 1)\mu_\gamma \varepsilon_\gamma \sigma(\gamma) w(U_\gamma) dU_\gamma} \quad (3.51)$$

şeklini alır.

3.6.2.2. Hauser-Feshbach teorisi

Bohr bağımsızlık hipotezi, bileşik çekirdek reaksiyonları için toplam tesir kesitlerini hesaplamak için kullanılabilir. Sadece, bileşik çekirdek süreçlerinin oluştuğunu varsayalım. Açısal momentum korunumunu hesaplamalara dahil etmek için, giriş ve çıkış kanallarında spinleri ihmal ederek sadece tek bir açısal momentum durumunu göz önüne alalım. Temel olarak, bileşik çekirdek oluşma kanalı α , bozunma kanalı β , σ_α bileşik çekirdek oluşum tesir kesiti ve P_β ; β kanalında bozulma olasılığı olmak üzere, tesir kesiti ifadesi

$$\sigma_{\alpha\beta} = \sigma_\alpha P_\beta \quad (3.52)$$

olarak verilir. Bileşik çekirdek oluşma tesir kesiti yörüngesel açısal momentum cinsinden,

$$\sigma_\alpha = \frac{1}{2} \lambda_\alpha^2 (2L + 1) T_\alpha \quad (3.53)$$

yazılabilir. Burada; T_α , α kanalındaki iletim katsayısıdır. Karşılıklı teoremine göre ters tesir kesiti;

$$\lambda_\beta^2 \sigma_{\alpha\beta} = \lambda_\alpha^2 \sigma_{\hat{\beta}\hat{\alpha}} \quad (3.54)$$

olarak ifade edilir. Burada, $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ ters durumları ifade ederler. Yukarıdaki üç denklem ele alındığında;

$$T_\alpha P_\beta = T_{\hat{\beta}} P_{\hat{\alpha}} \quad (3.55)$$

$$\frac{P_{\hat{\alpha}}}{T_\alpha} = \frac{P_\beta}{T_{\hat{\beta}}} = \zeta \quad (3.56)$$

ifadesi bulunur. Burada; ζ bir sabittir. P ; olasılığı ifade ettiği için, toplamı bir olacağı göz önüne alınırsa;

$$P_{\beta} = \zeta T_{\beta} = T_{\hat{\beta}} / \sum_{\alpha} T_{\alpha} \quad (3.57)$$

bulunur. Sonuç olarak tesir kesiti ifadesi;

$$\sigma_{\alpha\beta} = \pi \lambda_{\alpha}^2 (2L + 1) T_{\alpha} T_{\hat{\beta}} / \sum_i T_i \quad (3.58)$$

olarak elde edilir. T_{α} , optiksel model potansiyeli kullanılarak hesaplanabilir. Bu ifade, Hauser-Feshbach formülünün en yalın halidir ve α ; giriş, β çıkış kanalı olmak üzere, spin olmadığı durumda, L açısal momentumu için bileşik çekirdek tesir kesitini verir. Ancak; etkileşen parçacıklar spine sahipse, tesir kesiti ifadesi spin ağırlık faktörleri içermelidir. Hauser Feshbach teorisi, çok sayıda bileşik çekirdek durumları için ortalama tesir kesitlerini hesaplamıza olanak sağlar (Hauser ve Feshbach, 1952).

3.6.3. Denge-öncesi modelleri

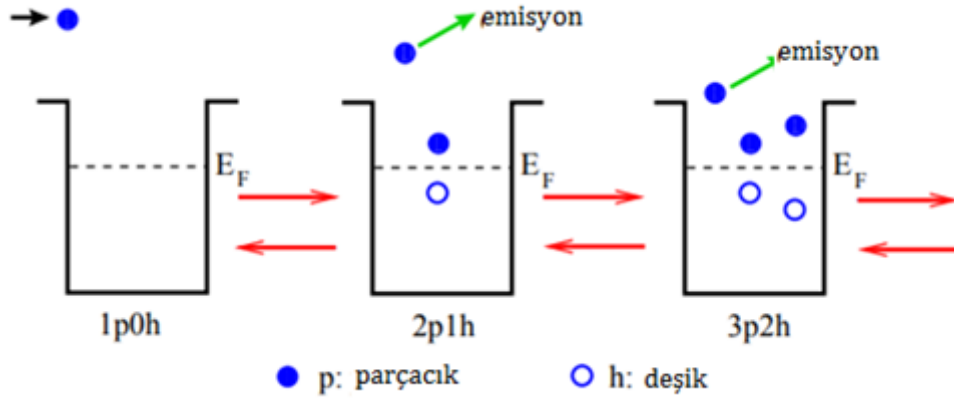
Bileşik çekirdek reaksiyonları ile direkt reaksiyonlar arası sürede gerçekleşen denge-öncesi nükleer reaksiyonları açıklamak için; Griffin eksiton model, İki bileşenli eksiton model, hibrit model, geometri bağımlı hibrit model gibi reaksiyon modelleri önerilmiştir.

3.6.3.1. Griffin Eksiton ve İki Bileşenli Eksiton Model

Denge-öncesi sürecin ilk başarılı teorisi, verilen parçacık ve enerji ile oluşan tüm reaksiyonların açı integralli tesir kesitleri ve yayınlanan parçacık enerji dağılımını oldukça iyi hesaplayabilen eksiton modeldir (Griffin, 1966). Bu yarı klasik model, yayınlanan parçacığın açısal dağılımının ana hatlarını da tahmin edebilmektedir ancak; açısal dağılımın daha kesin tahminleri için kuantum mekanik teorisi kullanılması gerekmektedir (Hodgson, vd., 1986). Griffin model; nükleer potansiyeli, eşit aralıklı tek parçacık durumları olarak kabul eder.

Griffin eksiton modelinde nükleer durum; reaksiyon esnasında herhangi bir andaki toplam enerji ve Fermi yüzeyinin üzerindeki parçacık, altındaki boşluk sayılarının

toplamı ile karakterize edilir. Parçacık (p) ve deşik (h) durumları eksiton olarak adlandırılır. Bu modelde, uyarılma enerjisinin aynı eksiton sayısına ($n=p+h$) sahip farklı parçacık-deşik durumları arasında paylaşılması için mümkün olan tüm yolların, eşit olasılığa sahip olduğu kabul edilmektedir. Saçılma sürecinin gelişimini takip etmek için, intranükleer iki cisim çarpışmalarının sonucunda zamanla değişen eksiton sayısının zamansal gelişimini izlemek yeterlidir. Eksiton modelinin temel başlangıç noktası zaman bağımlı master denklemdir. Bu denklem, daha fazla ve daha az kompleks parçacık deşik durumuna geçişlerin ve emisyonun olasılığını tanımlamaktadır. Zaman üzerinden integral alınarak, enerji ortalama emisyon spektrumu elde edilir. Bu varsayımlar eksiton modelini pratik hesaplamalar için kullanışlı hale getirir. Bununla birlikte, iki eksiton durumu arasındaki geçiş oranlarının belirlenmesi için serbest parametrelerin ortaya konması gerekmektedir. Bu serbest parametreler matris elemanı olarak adlandırılır. Bu matris elemanı doğru parametrelendirildiğinde, deneysel verilerle uyumlu çok güçlü bir model elde edilir. Uyarılmış bir çekirdeğin dengeye geçiş süreci Şekil 3.13’de görülmektedir (Koning, vd., 2015).



Şekil 3. 13. Eksiton modelde reaksiyon süreçleri (Koning, vd., 2015)

Mermi parçacık hedef çekirdeğe girdikten sonra, fermi nükleonlarından biriyle çarpışır. Nükleon girişli reaksiyonlarda, $n=3$ ($2p1h$) durumu parçacık yayınlanmasının gerçekleştiği ilk durumdur. Sonraki durumlar, eksiton sayısındaki değişiklikler ile ifade edilir. $\Delta n = 2$; yeni bir parçacık deşik çiftinin oluşumunu, $\Delta n = -2$; bir parçacık deşik çiftinin yok oluşunu ve $\Delta n = 0$; aynı eksiton sayısına sahip farklı konfigürasyonların oluştuğunu ifade eder. Sürecin ilk aşamasında, düşük eksiton

sayılarına karşılık gelen, $\Delta n = +2$ geçişleri hakimdir. Daha karmaşık veya basit eksiton durumlarına geçiş dışındaki herhangi bir aşamada parçacık yayınlanma olasılığı sıfırdır. Parçacık yayımlanması erken bir aşamada gerçekleşirse; yayımlanan parçacık Bohr bağımsızlık hipotezine aykırı olarak, reaksiyon başlangıcındaki enerji ve yön bilgisini muhafaza etmektedir. Bu faza denge-öncesi süreç denir ve deneysel olarak gözlemlenen yüksek enerjili kuyruklar ile açısal dağılımlardan sorumludur. Emisyon erken bir aşamada ortaya çıkmazsa, sistem sonuçta bir yarı denge seviyesine ulaşır. Yüksek eksiton sayılarına karşılık gelen denge durumu, çok sayıda etkileşim sonrasında, yani uzun süre sonra ortaya çıkmaktadır. Bu durumda sistem, başlangıç durumuna ait bilgileri unutarak nasıl oluştuğundan bağımsız olarak parçacık yayımlamaktadır. Bu sürece bileşik çekirdek veya buharlaşma süreci adı verilmektedir.

Eksiton modeli, denge ve denge-öncesi katkıları arasında ayırım yapmadan, parçacık yayımlanması tesir kesitlerini bileşik bir şekilde hesaplamayı mümkün kılar. Bununla birlikte, pratik durumlarda bir denge-öncesi ve bir denge fazı arasında ayırım yapmak ve bunları normal Hauser-Feshbach biçimciliği ile yerine getirmenin daha basit ve daha doğru olduğu ortaya çıkmaktadır (Gruppelaar, vd., 1986, Hodgson ve Gadioli, 1992).

Eksiton model, gelen parçacık ile hedef çekirdek arasındaki ilk etkileşmeden sonra uyarılmış sistemin giderek artan karmaşıklıkta bir dizi basamaktan geçtikten sonra dengeye ulaşılabilirliğini varsayar. Bu basamakların her birinden de yayınlanma mümkün olabilir. Farklı karmaşıklıkta uyarılmış parçacık ve deşik sayılarına göre sınıflandırılır. Sistemin durumu, parçacık ve deşik derecelerine göre sınıflandırılır. Denge süreci; çeşitli tek parçacık durumlarından ziyade, farklı nükleer durum gruplarının yerleşme ihtimallerinin hesaplanması ile takip edilir. Nükleer durumların her biri için parçacık yayınlanması yapabilen bağlı olmayan durumlar oluşacaktır. Bu modele göre; her bir duruma ait parçacık yayınlanma hızı hesaplanabilir ve bu bilgiler, denge-öncesi yayınlanma spektrumunu elde etmek için bulunma ihtimalleri ile birleştirilebilir. Eksiton model, master denklemlerinin çözümüne dayanır.

$$\begin{aligned}
-q(n, t=0) &= \lambda^+(E, n+2)\tau(n+2) + \lambda^-(E, n-2)\tau(n-2) \\
&\quad - [\lambda^+(E, n) + \lambda^-(E, n) + W_l(E, n)]\tau(n)
\end{aligned} \tag{3.59}$$

Burada; $q(n, t=0)$ başlangıç şartıdır, $\tau(n)$; sistemin $n=p+h$ eksitonlu bir durumda kalma zamanı, W_l ; n eksitonlu durumun birim zamandaki toplam bozunum ihtimali, E ; bileşik çekirdeğin uyarılma enerjisi, λ^+ ve λ^- sırasıyla; $n \rightarrow n+2$ ve $n \rightarrow n-2$ durumları için geçiş ihtimalleridir. Nükleonlarla oluşturulan reaksiyonlar için başlangıç parçacık sayısı $p_0 = 2$, başlangıç deşik sayısı $h_0 = 1$ dir. (Aydın, 1989).

Eksiton model, iki temel varsayımı kullanmıştır. Bu varsayımlar; kaskatın büyük eksiton sayılarında yaklaşık olarak doğru iken, birkaç eksitonun uyarıldığı kaskatın başlangıcında, varsayımların geçerliliğinde başarısızlık olasılığı vardır.

İlk varsayım, eksitonların enerji dağılımını verir. $dN_p(p, h, E, \varepsilon)$, ε ile $\varepsilon + d\varepsilon$ arasındaki E toplam enerjili p ve h yapılanmış eksitonların sayısı (enerji dağılımı), ε ile $\varepsilon + d\varepsilon$ arasında enerjisi bulunan bir parçacık ve geriye kalan $E - \varepsilon$ enerjiye sahip $p-1$ ve h durum sayısı ile E enerjili p, h yapılanmalı durum sayılarının arasındaki oranı ile verilir. Eğer; E enerjili p ve h yapılanmalarının durum yoğunluğu $\rho_{p,h}(E)$, $E - \varepsilon$ enerjili $p-1$ ve h yapılanmalarının durum yoğunluğu $\rho_{p-1,h}(E - \varepsilon)$ ve $g = 1/d$ tek parçacık durum yoğunluğu (Fermi gaz model yaklaşımı; $g = 3A/2\varepsilon_F$) ise,

$$dN_p(p, h, E, \varepsilon) = P_p(p, h, E, \varepsilon) = \frac{\rho_{p-1,h}(E - \varepsilon)gd\varepsilon}{\rho_{p,h}(E)} \tag{3.60}$$

olur. Burada; çekirdeğin E enerjili p ve h yapılanmalarının durum yoğunluğu $\rho_{p,h}(E)$ üstteki denklemde verilen ifadedir.

Eksiton modelin ikinci varsayımı, çeşitli reaksiyonların tesir kesitinin ve verilen bir aşamadaki eksitonların olası enerjideki geçiş hızlarının değerlerinin tahminini kolaylaştırmaktadır. Dağılım olasılığından yola çıkarak; parçacık yayılımı için bozunma hızı hesaplanabilir. p ve h yapılanmalı bir durumdan, $\varepsilon_v = \varepsilon - E_B$ (E_B

parçacığın bileşik çekirdekteki bağlanma enerjisi) enerjili sürekli bölgedeki bir parçacık durumuna yayılım için bozunma hızı $\lambda_{p,h,v}(E, \varepsilon_v)$,

$$\Gamma_{p,h,v}^{\uparrow}(E, \varepsilon_v) d\varepsilon_v = \lambda_{p,h,v}(E, \varepsilon_v) d\varepsilon_v = P_p(p, h, E, \varepsilon) d\varepsilon_v \left(\frac{\sigma_{inv}(\varepsilon_v) v \rho_v(\varepsilon_v)}{gV} \right) \quad (3.61)$$

ile verilir. Burada, $\sigma_{inv}(\varepsilon_v)$; parçacık ters tesir kesiti, v ; parçacığın çekirdek dışındaki hızı, g ; çekirdekteki tek parçacık durum yoğunluğu, V ; hacim, $\rho_v(\varepsilon_v)$ yayınlanan parçacığın sürekli durumlarının yoğunluğudur ve Fermi Gaz Modeli ile

$$\rho_v(\varepsilon_v) = \frac{1}{\pi^2 \hbar^3} \frac{(s_v + 1) m_v \varepsilon_v V}{v} \quad (3.62)$$

şeklinde verilmektedir. Griffin tarafından ortaya konulan Eksiton Model’de, parçacık ve deşik çiftleri hesaba katılırken nükleon türleri arasında ayrıma gidilmez (Griffin, 1966). İki bileşenli Eksiton Modelde ise, parçacık ve deşik çiftlerinin hangi nükleona ait olduğu göz önünde bulundurulur. Protonlar için; parçacık sayısı p_π , deşik sayısı h_π ile gösterilirse, eksiton sayısı $n_\pi = p_\pi + h_\pi$ olarak bulunur. Aynı notasyonu kullanarak, nötron için v indisini kullanalım. Bu durumda nötron için eksiton sayısı; parçacık (p_v) ve deşik (h_v) sayılarının toplamı olan $n_v = p_v + h_v$ ile verilir. Denge-öncesi nükleer reaksiyon diferansiyel tesir kesiti için k ’ya bağlı yayınlanma enerjisi E_k ile ifade edilir. Bileşik çekirdek reaksiyonları için tesir kesiti σ^{CF} ve yayınlanma oranı W_k , ile belirtilmek üzere, master denklem;

$$\frac{d\sigma_k^{PE}}{dE_k} = \sigma^{CF} \sum_{p_\pi=p_\pi^0}^{p_\pi^{max}} \sum_{p_v=p_v^0}^{p_v^{max}} W_k(p_\pi, h_\pi, p_v, h_v, E_k) \tau(p_\pi, h_\pi, p_v, h_v) x P(p_\pi, h_\pi, p_v, h_v) \quad (3.63)$$

olarak ifade edilir. P faktörü, önceki süreçlerde emisyonundan kurtulmuş ve yeni parçacık deşik konfigürasyonlarından geçen, denge-öncesi popülasyonun bir parçasını temsil eder. Burada, ilk proton ve nötron parçacık numaraları $p_\pi^0 = Z_p$, ve $p_v^0 = N_p$, olarak ifade edilir. Reaksiyon sürecinde herhangi bir uyarım durumu için $h_\pi = p_\pi - p_\pi^0$ ve $h_v = p_v - p_v^0$ birincil denge-öncesi nükleer reaksiyon başlangıcındaki deşik numarası $h_\pi^0 = h_v^0 = 0$ dır. Nötron girişli reaksiyon örneğinde, başlangıçtaki eksiton numarası $n^0 = n_v^0 = 1$ ($0p_\pi 0h_\pi 1p_v 0h_v$) iken, denge-öncesi nükleer reaksiyonlar

için gama yayılımı bu durumda (nükleon emisyonları temel olarak elastik saçılma durumundandır ve zaten optiksel model ile kaplıdır) meydana gelebilir. Parçacık yayınlanması sadece $n = 3$ ($2p1h$)’de oluşur. (Koning, vd., 2015).

Ana denklemdaki bileşik çekirdek tesir kesiti,

$$\sigma^{CF} = \sigma_{reak} - \sigma_{direkt} \quad (3.64)$$

olarak verilir. Burada; σ_{reak} optiksel modelden elde edilen reaksiyon tesir kesitine, σ_{direkt} ise, direkt reaksiyonlar ve dev rezonanslar için ayrı durumların toplam tesir kesitine karşılık gelir.

3.6.3.1. Hibrit Model

Orta enerjili nükleer reaksiyonlarda dengeye ulaşma sorunu istatistiksel modeller açısından oldukça önemlidir. Eksiton modelin, kaskat ve diğer modellere göre temel eksiği mutlak diferansiyel tesir kesiti yerine sadece bağlı spektrum şekillerinin hesaplanabilmesiydi. Blann 1971 yılında, eksiton modeli ile Harp ve arkadaşlarının (Harp, vd., 1968; Harp ve Miller, 1971) çalışmalarının temel fikirlerini birleştirerek yeni bir model ortaya koymuştur. Hibrit Model; Griffin modelinde olduğu gibi tek parçacık durumlarını eşit aralıklı bir yerleşim olarak kabul eder. Çekirdek durumlarını, uyarılmış parçacık ve deşikleri içerecek şekilde sınıflandırır (Blann, 1971 ve Cline, 1972).

Hibrit modelde gelen nükleon, hedef çekirdekle $1p-0h$ durumu oluşturur. Sonra $2p-1h$ durumu oluşturmak için hedef nükleonla etkileşme yapar. Böylece; iki-cisim etkileşmeleri, daha fazla parçacık-deşik çifti oluşumuna sebebiyet verirler. Bu model, her bir nükleer durum için uyarılmış parçacıkların uyarılma enerjilerinin dağılımını hesaplar. Her parçacık uyarılma enerjisi için, yeni parçacık-deşik oluşumuna bağlı olarak kısmi parçacık yayınlanma oranları hesaplanır. İlk olarak; $2p-1h$ gösterimi ile başlanırken, sıra ile bütün durumlar düşünülür. Parçacık yayınlanmasını tüm süreçler denge-öncesi spektrumuna katkıda bulunur. Bu süreç, denge sistemindeki en muhtemel eksiton sayısına ulaşılan kadar devam eder. Daha sonra, reaksiyonun denge kısmı için standart bir bileşik çekirdek modeli hesabına devam edilir. Bunu takiben

nükleer dengede, sadece uyarılmış parçacıklar vedeşikler önemlidir. Parçacık yayınlanma oranlarını incelerken tek tek parçacıkların uyarılma enerjileri önem kazanır. Bu, sadece kapalı tip hesaplamalar için geçerlidir. Griffin modelinde olduğu gibi, hibrit modelinde de mermi olarak kompleks parçacıklar kullanılabilir. Ancak; parçacık yayınlanması Fermi Gaz Denge Model'indeki gibi ele alındığında; nükleonların yayınlanma hesabı mümkün olur.

Hibrit Model; E enerjili $n = p + h$ eksiton yapılanmalı bileşik çekirdekten ε_v kanal enerjili v tipi bir parçacığın (bir proton ya da bir nötron) yayınlanma olasılığını vermektedir. İfade; $\varepsilon = \varepsilon_v + E_B$ uyarılma enerjili bir parçacığın bileşik çekirdekte bulunma olasılığına bağlı olarak parçacığın sürekli bölgeye bozunma hızı $\lambda_v(\varepsilon)$ 'nın, birim zamandaki çarpışma olasılığı $\lambda_{1v}(\varepsilon)$ ve $\lambda_v(\varepsilon)$ toplamı olan toplam parçacık bozunma hızına oranı ile verilmiştir. Eksiton modelde olduğu gibi; nükleon-nükleon etkileşim kaskatında, bileşik çekirdek giderek artan eksiton sayısı ile birlikte karmaşık bir aşamadan diğer bir aşamaya geçtiğini varsayar. Denge-öncesi bozunum için hibrit model,

$$\sigma(\varepsilon_v)d\varepsilon_v = \sigma_R P_v(\varepsilon_v)d\varepsilon_v \quad (3.65)$$

$$P_v(\varepsilon_v)d\varepsilon_v = \sum_{\substack{n=n_0 \\ \Delta n=+2}}^{\bar{n}} \left[{}_nX_v N_n(\varepsilon, U) / N_n(E) \right] g d\varepsilon_v \left(\frac{\lambda_v(\varepsilon)}{\lambda_v(\varepsilon) + \lambda_{1p}(\varepsilon)} \right) D_n^h \quad (3.66)$$

ile verilir. Burada, σ_R ; reaksiyon tesir kesiti, ${}_nX_v$; n eksiton durumundaki v tipli parçacıkların (proton veya nötron) sayısı, $P_v(\varepsilon_v)d\varepsilon_v$; enerjisi ε ile $\varepsilon + d\varepsilon$ arasında sürekli bölgeye yayınlanan v tipli parçacıkların (proton veya nötron) sayısını gösterir. Ayrıca, E bileşik sisteminin uyarılma enerjisi ve U kalan çekirdek uyarılma enerjisi olmak üzere, $N_n(\varepsilon, U)$; $\varepsilon = \varepsilon_v + E_B$ enerjili yayınlanan bir parçacık ve $U = E - \varepsilon_v - E_B$ enerjili kalan $n-1$ eksiton durumları sayısı, $N_n(E)$; E toplam uyarılma enerjisindeki n eksiton durumlarının toplam sayısıdır. D_n^h (azaltma faktörü); bir n - eksiton zincirindeki başlangıç popülasyon kesiti, g ; tek-parçacık durum yoğunluğudur. Denklem 3.66'daki köşeli parantez içindeki nicelik, sürekli bölgede enerjisi ε ile $\varepsilon + d\varepsilon$ arasında olan parçacık sayısını verir.

3.6.3.2. Geometri Bağımlı Hibrit Model

Hibrit model, orta enerjili nükleonlarla oluşturulmuş reaksiyonlarda deneysel verilerle uyumsuzluk göstermektedir (Harp ve Miller, 1971). Blann 1972’de yaptığı çalışmada bu tutarsızlıkların çözümü için nükleer yoğunluk dağılımlarının önemi olduğunu ortaya koymuştur. Hibrit modeli, reaksiyonu başlatan kısmi dalgaların etki parametrelerine dayanan bir geometri bağımlılığı ile yeniden formüle etmiştir. Kısmi dalga tarafından başlatılan reaksiyonun; $\lambda/2$ kalınlığında, yarıçapı başlangıç çarpma parametresi tarafından tanımlanan küresel kabuk şeklindeki bölgede ilerlediği varsayılmaktadır. Bu varsayım, küresel geometriyi ve denge süreci boyunca parçacık ve deşiklerin difüze olmasından kaynaklı etkileri ihmal eder. Geometri bağımlı hibrit model (GBH)’de yayınlanma spektrumu;

$$\sigma(E)d\varepsilon = \pi \left(\frac{\lambda}{2\pi} \right) \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) T_l P(\varepsilon) d\varepsilon \quad (3.67)$$

ifadesi ile verilir. T_l ; l . parçacık için geçiş katsayısını ifade etmektedir. Geometride bağımlı (yüzey) etkileri, GBH modelinin formülasyonunda iki ayrı biçimde ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi, difüzyon yüzeyinde nükleonlar için tahmin edilenden daha büyük ortalama serbest yol parametresidir. İkinci, deşik derinliğinin her yörünge için yerel yoğunluk yaklaştırmasında hesaplanan Fermi enerjisinin değeri ile sınırlı olduğu varsayımdır. GBH model hesaplamalarında, Fermi yoğunluk dağılımı fonksiyonunu kullanır.

$$d(R_l) = d_s ([\exp(R_l - C) / (0.55 \text{ fm}) + 1])^{-1} \quad (3.68)$$

Bu ifadede, R_l ; l . parçacık yarıçapı olmak üzere;

$$R_l = \frac{\lambda}{2\pi} \left(l + \frac{1}{2} \right) \quad (3.69)$$

olarak hesaplanır. Elektron saçılması incelendiğinde, $C = 1,07 A^{1/3} \text{ fm}$ olarak bulunur (Hofstadter, 1957).

3.6.4. Seviye yoğunluğu modelleri

En iyi bilinen seviye yoğunluğu ifadesi Bethe tarafından ortaya koyulan Fermi Gaz Modeli (FGM)'dir. Yaygın olarak kullanılan birçok seviye yoğunluğu modeli FGM modelinin temel olarak oluşturulmuştur (Canbula, 2012). Bu model, çekirdeğin uyarılmış seviyelerinin eşit aralıklı olduğu ve kolektif seviyelerinin bulunmadığı tek parçacık durumu varsayımına dayanmaktadır

Bu çalışmada, FGM'yi temel alan CTFGM, BSFGM ve GSM kullanılmıştır.

3.6.4.1. Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTFGM)

Gilbert ve Cameron tarafından ortaya konulan bu model, Birleşik Gilbert Cameron Modeli olarak da bilinir. Bu modelde, uyarılma enerjisi ikiye ayrılmıştır. Birinci aralık; sabit sıcaklık yasalarının geçerli olduğu, 0 MeV ile eşleşme enerjisi E_M ' ye kadar olan düşük enerji bölgesidir. E_M ' nin üstünde kalan daha yüksek enerji bölgesinde ise FGM uygulanır. Bu nedenle; elde edeceğimiz toplam seviye yoğunluğu,

$$\rho^{tot}(E_x) = \begin{cases} \rho_T^{tot}(E_x), & E_x \leq E_M \\ \rho_F^{tot}(E_x), & E_x \geq E_M \end{cases} \quad (3.70)$$

şeklinde olacaktır. Denklem 3.70'den yola çıkarak, seviye yoğunluğu ifadesi Denklem 3.71 ile hesaplanır.

$$\rho(E_x, J, \Pi) = \begin{cases} \frac{1}{2} R_F(E_x, J) \rho_T^{tot}(E_x), & E_x \leq E_M \\ \rho_F(E_x, J, \Pi), & E_x \geq E_M \end{cases} \quad (3.71)$$

Spin dağılımı, Denklem 3.71'de açıklanan spin kesme parametreleri için düşük enerji davranışını içeren sabit sıcaklık bölgesinde de kullanılmıştır. Fermi gaz açıklaması için, efektif uyarılma enerjisi

$$U = E_x - \Delta^{SSFGM} \quad (3.72)$$

kullanılır ve bu eşitlikteki enerji kayması şu şekildedir.

$$\Delta^{SSFGM} = x \frac{12}{\sqrt{A}} \quad (3.73)$$

Burada x değeri;

$$x = \begin{cases} 0, & \text{tek} - \text{tek} \\ 1, & \text{tek} - \text{çift} \\ 2, & \text{çift} - \text{çift} \end{cases} \quad (3.74)$$

ile verilir. Düşük uyarılma enerjisi için sabit sıcaklık modeli; Denklem 3.75’de eksponansiyel kuralıyla yeniden ifade edilebilen ilk ayırık seviyeye sahip kümülatif histogramların deneysel kanıtlarına dayandırılarak yeniden ifade edilmiştir.

$$N(E_x) = \exp\left(\frac{E_x - E_0}{T}\right) \quad (3.75)$$

Bu denklem, sabit sıcaklık kanunu olarak isimlendirilir. T nükleer sıcaklık ve E_0 , deneysel ayırık seviye formülünü elde etmek için gerekli parametrelerdir. Buna göre, toplam seviye yoğunluğunun sabit sıcaklık kısmı,

$$\rho_T^{tot}(E_x) = \frac{dN(E_x)}{dE_x} = \frac{1}{T} \exp\left(\frac{E_x - E_0}{T}\right) \quad (3.76)$$

ile ifade edilir (Koning, vd., 2008).

3.6.4.1. Geri Kaydırmalı Fermi Gaz Modeli (BSFGM)

BSFGM’de, eşleşme enerjisi ayarlanabilir parametre gibi davranır. Fermi Gaz ifadesi 0 MeV’e kadar olan tüm yol boyunca kullanılır. Bu yüzden toplam seviye yoğunluğu için

$$\rho_F^{tot}(E_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp(2\sqrt{aU})}{a^{1/4} U^{5/4}} \quad (3.77)$$

ve seviye yoğunluğu için

$$\rho_F(E_x, J, \Pi) = \frac{1}{2} \frac{2J+1}{2\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp \left[-\frac{\left(J+\frac{1}{2}\right)^2}{2\sigma^2} \right] \frac{\sqrt{\pi} \exp(2\sqrt{aU})}{12 a^{1/4} U^{5/4}} \quad (3.78)$$

denklemleri kullanılır. a ve σ^2 için enerji-bağımlı ifadeleri içerdiği gibi bu denklemler de

$$U = E_x - \Delta^{GKFGM} \quad (3.79)$$

efektif uyarılma enerjisi ifadesini içerir. Burada enerji kayması;

$$\Delta^{GKFGM} = x \frac{12}{\sqrt{A}} + \delta \quad (3.80)$$

x değeri ise;

$$x = \begin{cases} 0, & \text{tek} - \text{tek} \\ 1, & \text{tek} - \text{çift} \\ 2, & \text{çift} - \text{çift} \end{cases} \quad (3.81)$$

olarak verilir. δ çekirdek başına deneysel veriyi uydurmak için kullanılan ayarlama parametresidir. Model ilk ortaya konulduğunda; U sıfıra giderken Denklem 3.77 ve 3.78'in ıraksanması bu modelin nükleer model analizlerinde ilk tercih edilen model olmasını engellemiştir. Bu sorun Grossjean ve Feldmeier (Grossjean ve Feldmeier, 1985) tarafından çözülerek, Demetriou ve Goriely (Demetriou ve Goriely, 2001) tarafından sadeleştirilmiş ve sonuç olarak Denklem 3.82'deki ifade ortaya konmuştur.

$$\rho_{GKFGM}^{tot}(E_x) = \left[\frac{1}{\rho_F^{tot}(E_x)} + \frac{1}{\rho_0(t)} \right]^{-1} \quad (3.82)$$

Burada $a_n = a_p = a/2$ ve $t = \sqrt{U/a}$ ile verilir. ρ_0 ise Denklem 3.83 ile verilir.

$$\rho_0(t) = \frac{\exp(1) (a_n + a_p)^2}{24\sigma \sqrt{a_n a_p}} \quad (3.83)$$

Genel spin dağılımı ile, seviye yoğunluğu

$$\rho_F(E_x, J, \Pi) = \frac{1}{2} \frac{2J+1}{2\sigma^2} \exp \left[-\frac{\left(J+\frac{1}{2}\right)^2}{2\sigma^2} \right] \rho_{GKFGM}^{tot}(E_x) \quad (3.84)$$

ile belirlenir (Koning, vd., 2015).

3.6.4.2. Genelleştirilmiş Süperakışkan Model (GSM)

GSM; Bardeen–Cooper–Schrieffer teorisine göre süperiletken eşleşme bağıntılarını dikkate alır. Modelin fenomenolojik versiyonu, süper akışkan davranışı gösteren düşük enerjili bölgeden, BSFGM tarafından tanımlanan yüksek enerji bölgesine faz geçişleri ile karakterize edilir. GSM, CTFGM'deki gibi uyarılma enerjisini düşük ve yüksek enerji bölgesine ayırmasına rağmen, CTFGM gibi spesifik ayrık seviyelerden gelen eşleştirme enerjisi bulmayı gerektirmez. Aslında GSM, düşük sıcaklıklarda sabit sıcaklık davranışı sergilemektedir. Toplam seviye yoğunluğu formülü Denklem 3.85 ile verilmiştir.

$$\rho^{tot}(E_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \frac{e^S}{\sqrt{D}} \quad (3.85)$$

Burada, S entropi ve D eyer noktası yaklaşımı ile ilişkili determinanttır. GSM için bu ifade biri kritik enerji U_c 'nin altında biri ise üstünde olmak üzere iki şekilde verilir. U_c 'nin altındaki enerjiler için seviye yoğunluğu U_c 'de tanımlanan termodinamik fonksiyonlar cinsinden ifade edilir.

$$U_c = a_c T_c^2 + E_{yoğunlaşma} \quad (3.86)$$

ile verilir. Burada T_c kritik sıcaklık

$$T_c = 0,567\Delta_0 \quad (3.87)$$

olup eşleşme bağıntı fonksiyonu ise,

$$\Delta_0 = \frac{12}{\sqrt{A}} \quad (3.88)$$

ile verilir. Bu bağıntı fonksiyonu Fermi gaz fazı ile ilişkili süper akışkan fazının azalışını karakterize eden $E_{yoğunlaşma}$ yoğunlaşma enerjisini belirler. Bu;

$$E_{yoğunlaşma} = \frac{3}{2\pi^2} a_c \Delta_0^2 \quad (3.89)$$

ifadesi ile verilir. Burada a_c , Denklem 3.90 ile verilir.

$$a_c = \tilde{a} \left[1 + \delta W \frac{1 - \exp(-\gamma a_c T_c^2)}{a_c T_c^2} \right] \quad (3.90)$$

Bu denklem $\tilde{a}$, δW ve γ bilindiğinde kolaylıkla hesaplanabilir (Koning, vd., 2008).

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, TALYS 1.6 ve 1.8, EMPIRE 3.1, ALICE/ASH ve ALICE 2011 kodları yardımı ile farklı gelme enerjili parçacıklarla bombardıman edilen füzyon reaktörü yapısal materyalleri olan; Fe, Zr, Nb ve Ag elementlerinin farklı izotopları için reaksiyon tesir kesitleri hesaplanmış ve yayınlanma spektrumları incelemiştir. Hesaplamalarda; denge-öncesi bileşen için; İki Bileşenli Eksiton, GBH, Hibrit, PCROSS Eksiton, Hibrit Monte Carlo (HMS), ALICE 2011 Monte Carlo Modelleri, denge hesaplamaları için ise, Weisskopf-Ewing ve Hauser-Feshbach Modelleri kullanılmıştır. Seviye yoğunluğu hesaplamaları için; CTFGM, BSFGM VE GSM seçilmiştir. Optiksel model hesaplamaları için ise, Watanabe düzeltmeli Koning Delaroche, Mc Fadden Satchler, Demetriou, Grama ve Goriely, Avrigeanu potansiyelleri kullanılmıştır.

GDR bölgesi için, EXFOR'dan alınan veriler kullanılarak GDR parametreleri hesaplanmış, elde edilen parametreler TALYS 1.8 kütüphanesindeki değerlerle değiştirilerek bulunan parametreler için tesir kesitleri hesaplanmıştır. Ayrıca; 19 ± 1 MeV enerjisi için (α, p) reaksiyonuna ait tesir kesiti formülleri yarı-ampirik sistematik kullanılarak elde edilmiştir.

Yapılan tesir kesiti ve yayınlanma spektrumu hesaplamaları; EXFOR'dan alınan verilerle karşılaştırılarak, yorumlanmıştır.

4.1. TALYS Kodu

TALYS 1998 yılında; güvenilir nükleer modeller kullanarak nükleer reaksiyonların eksiksiz ve doğru bir simülasyonunu sağlamak amacıyla, NRG (Hollanda) ve CEA'da (Fransa) Koning ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş bir bilgisayar kodudur. Geçen yıllar içerisinde, bütün simülasyon kodları gibi TALYS de güncellenmiş ve günümüzdeki versiyonu olan TALYS 1.8 haline gelmiştir. TALYS, temel bilimsel deneylerin analizi için veya uygulamaları için nükleer veri üretmek amacıyla kullanılmaktadır.

TALYS fortran dilinde yazılmış, açık kaynak kodlu bir programdır. Bu programla çalışanlar; kendi geliştirdikleri parametreleri TALYS kodunun varsayılan değerleri ile değiştirerek kendi verilerini elde edebilirler. TALYS kodunun güncel versiyonu olan TALYS 1.8'de; 1 keV–1 GeV gelme enerjisi aralıklarında nötron, proton, döteron, triton, alfa, ^3He parçacıkları ve gama ışınları ile kütle numarası 12 ve daha ağır hedef çekirdekler için nükleer reaksiyon modellerine bağlı nükleer hesaplamalar gerçekleştirilebilmektedir. TALYS; hesaplamalarında optiksel modeller, seviye yoğunluğu modelleri, fisyon reaksiyon modelleri, direkt reaksiyon modelleri, bileşik çekirdek reaksiyon modelleri ve denge–öncesi reaksiyon modellerini kullanmaktadır. Bu modellere bağlı olarak;

- Toplam ve kısmi tesir kesiti,
- Açığa bağlı çift katlı tesir kesiti,
- Elastik ve İnelastik saçılma tesir kesiti,
- Gama ve Fisyon yayınlanma tesir kesiti,
- Üretim tesir kesitleri,
- Yayınlanma spektrumu,
- Radyoizotop üretimi,
- Bolluk oranları analizi,
- Yarıömür
- Astrofizik reaksiyon hızları,
- Reaksiyonlar üzerine seviye yoğunluğu parametrelerinin etkisi
- Açığa bağlı yayınlanma spektrumu vb. hesaplamaları

TALYS ile yapmak mümkündür (Koning, vd., 2015).

TALYS; denge–öncesi hesaplamalarında iki bileşenli eksiton, bileşik çekirdek reaksiyonlarında Hauser-Feshbach, seviye yoğunluğu için CTFGM modellerini varsayılan model olarak kullanmaktadır.

4.2. ALICE/ASH Kodu

ALICE kodlarının geliştirilmiş ve değiştirilmiş bir sürümü olan ALICE/ASH kodu; 300 MeV lik gelme enerjisine kadar, uyarılma fonksiyonu, ikincil parçacıkların açılmal

dağılımı ve enerji hesaplamaları için uygulanabilir. ALICE/ASH kodu; proton, nötron, alfa, döteron ve ^3He mermi çekirdekleri için hesaplama yapabilmektedir. ALICE/ASH kodu; denge-öncesi hesaplamalar için GBH ve Hibrit, bileşik çekirdek reaksiyonları için ise, Weisskopf-Ewing modellerini kullanmaktadır (Broeders, vd., 2006).

4.3. EMPIRE Kodu

EMPIRE; geniş bir enerji aralığında gelme enerjisine sahip mermi çekirdekler için, nükleer modeller kullanarak hesaplama yapabilen bir nükleer hesaplama ve analiz programıdır. Bu yazılım nükleer reaksiyonların teorik araştırmalarının yanı sıra, EXFOR veri tabanını kullanarak veri değerlendirme ve analiz işlemlerini de gerçekleştirmektedir. Nötron, proton, döteron, triton, alfa, ^3He parçacıkları, foton, ağır ve/veya hafif iyonlar mermi çekirdek olarak seçilebilir. Enerji aralığı mermi çekirdeğe bağlı olarak rezonans bölgesinin hemen üzerinde başlar ve birkaç yüz MeV' lik enerjiye kadar uzanır.

EMPIRE; nükleer reaksiyon hesaplamalarında, optiksel modeller, seviye yoğunluğu modelleri, çok adımlı direkt reaksiyon modelleri, çiftlenimli kanallar ve DWBA (ECIS06 ve OPTMNA), çok adımlı bileşik çekirdek reaksiyon modelleri ve eksiton model (PCROSS), HMS ve tam özellikli Hauser–Feshbach modelleri kullanmaktadır. Bu modellerin yanı sıra, ağır iyon girişli füzyon reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları basitleştirilmiş birleşik kanallar modeli kullanmaktadır. Nükleer reaksiyon modellerine bağlı olarak; toplam ve/veya parçacık bazlı tesir kesiti, açığa bağlı çift katlı tesir kesiti, elastik ve İnelastik saçılma tesir kesiti, gama ve fisyon ve füzyon yayınlanma tesir kesiti, yayınlanma spektrumu, açığa bağlı yayınlanma spektrumu vb. hesaplamaları EMPIRE ile yapmak mümkündür.

EMPIRE diğer nükleer yazılım programlarına göre kullanması çok kolay bir programdır. Bir kullanıcı grafik ara yüzü aracılığıyla, çok rahat bir şekilde girdi dosyası oluşturulup istenen analizler gerçekleştirilebilir. EMPIRE hesaplamalarında varsayılan denge-öncesi modeli olarak, eksiton modeli kullanmaktadır (Herman, vd., 2012)

Bu çalışmadaki tesir kesiti ve yayınlanma spektrumu hesaplamalarında, PCROSS eksiton model ve hibrit monte carlo (HMS) modelleri seviye yoğunluğu hesaplamalarında ise, varsayılan model (GSM) kullanılmıştır.

4.4. ALICE 2011 Kodu

ALICE 2011, ALICE kodlarının monte carlo simülasyonu yapabilen geliştirilmiş bir sürümüdür. Monte carlo simülasyonu yardımıyla, denge-öncesi süreçte çok parçacık yayınlanması hesaplanabilmekte, yayımlanan parçacıkların ise her bir olay için enerji ve aı gibi bilgileri depolanabilmektedir. Hesaplamalarında HMS Model kullanılmaktadır (Blann, vd., 2008).



5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada; Bölüm 5.1’de; protonlarla bombardıman edilen; $^{56,57}\text{Fe}$, $^{90,91,92,96}\text{Zr}$, ^{93}Nb ve $^{107,109}\text{Ag}$ için, Bölüm 5.2’de; nötronlarla bombardıman edilen; $^{56,57}\text{Fe}$, $^{90,92,94,96}\text{Zr}$, ^{93}Nb ve ^{109}Ag için, Bölüm 5.3’de; alfalarla bombardıman edilen, $^{107,109}\text{Ag}$ için, Bölüm 5.4’de de; döteronlarla bombardıman edilen; $^{56,58}\text{Fe}$, $^{107,109}\text{Ag}$ için hesaplanan reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Ayrıca; ^{54}Fe için farklı seviye yoğunluğu modelleri ve $^{54,56,57,58}\text{Fe}$ için farklı optiksel model yaklaşımları kullanılarak hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması, sırasıyla Bölüm 5.5 ve Bölüm 5.6’da verilmiştir.

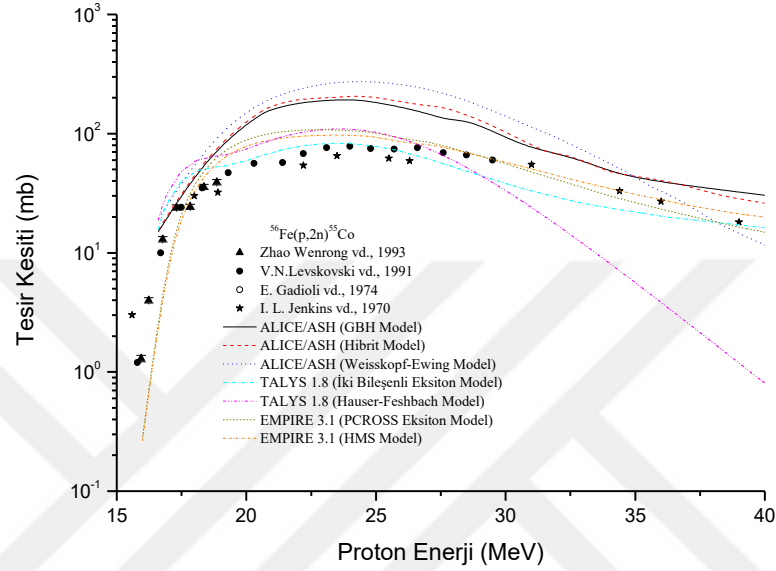
Tesir kesiti hesaplamalarına ek olarak; ^{56}Fe , $^{90,91,92,94}\text{Zr}$, ^{93}Nb için proton girişli reaksiyonlar sonucu yayınlanan parçacıkların enerji spektrumları Bölüm 5.7’de, $^{54,56}\text{Fe}$ ve ^{93}Nb için nötron girişli reaksiyonlar sonucu yayınlanan parçacıkların enerji spektrumları Bölüm 5.8’de ve $^{56,57}\text{Fe}$ ile $^{90,94}\text{Zr}$ için alfa girişli reaksiyonlar sonucu yayınlanan parçacıkların enerji spektrumları da Bölüm 5.9’da incelenmiştir.

Bölüm 5.10’da; $^{54,56}\text{Fe}$, $^{90,91,92,94}\text{Zr}$, ^{93}Nb ve $^{107,109}\text{Ag}$ için, EXFOR’dan alınan verilere optimizasyon yapılarak yeni GDR parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen GDR parametreleri ve nükleer modeller kullanılarak yapılan hesaplamalar EXFOR verileriyle karşılaştırılmıştır.

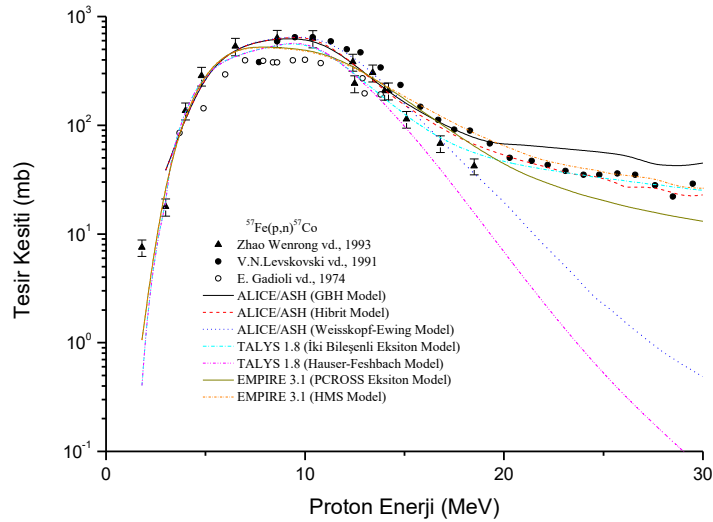
Son olarak, Bölüm 5.11’de ise; 19 ± 1 MeV alfa gelme enerjisinde, (α, p) reaksiyonu için yarı-ampirik tesir kesiti formülü türetilmiştir.

5.1. Proton Girişli Reaksiyonlar İçin Tesir Kesiti Hesaplamaları

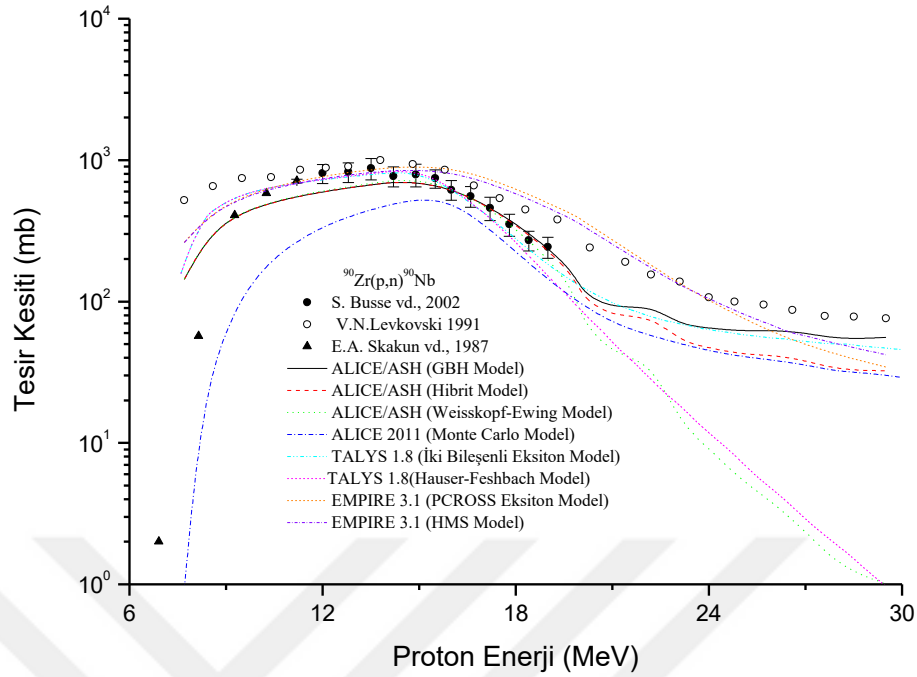
$^{54,57}\text{Fe}$, $^{90,91,92,96}\text{Zr}$, ^{93}Nb ve $^{107,109}\text{Ag}$ izotoplarının proton girişli reaksiyonları için hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.1-5.13’de verilmiştir.



Şekil 5. 1. $^{56}\text{Fe}(p,2n)^{55}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 2. $^{57}\text{Fe}(p,n)^{57}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

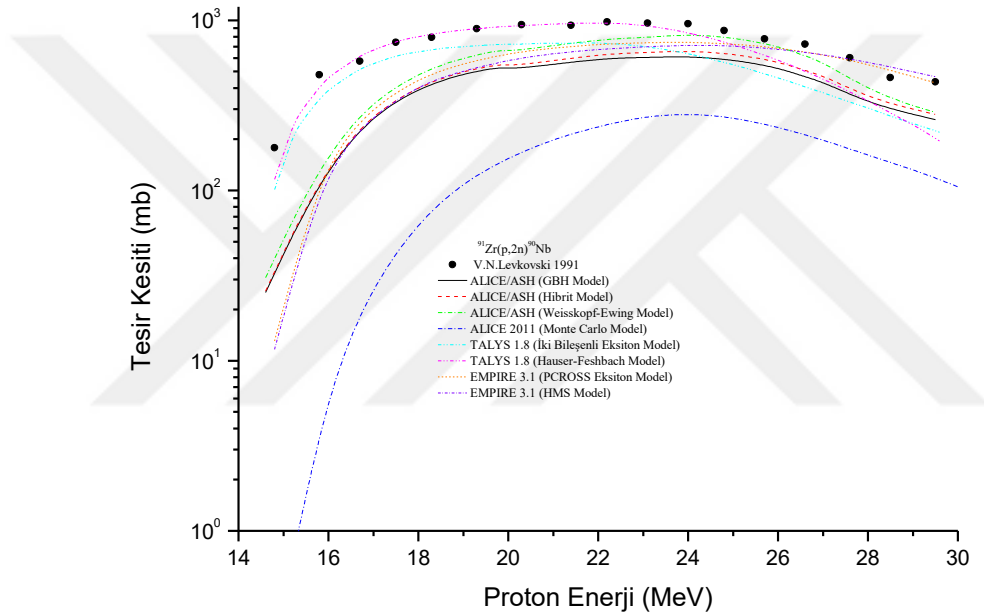


Şekil 5. 3. $^{90}\text{Zr}(p,n)^{90}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.

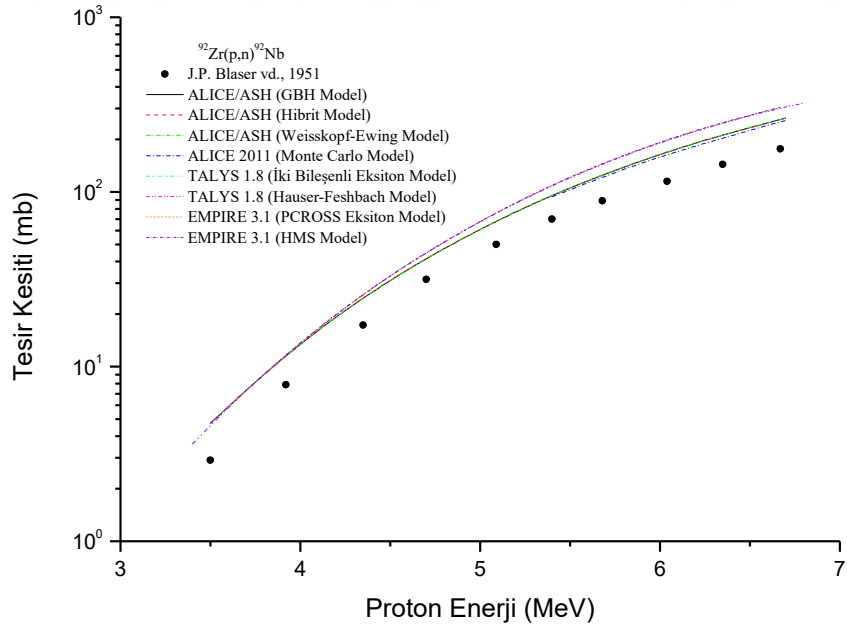
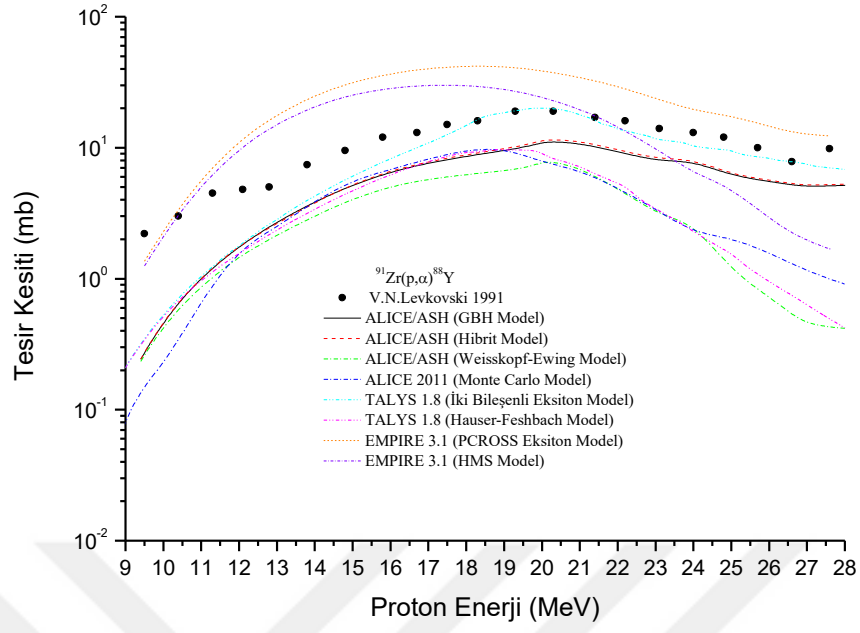
Şekil 5.1’de; $^{56}\text{Fe}(p,2n)^{55}\text{Co}$ reaksiyonu için Hauser-Feshbach Modeli dışındaki tüm modellerin deneysel verilerin geometrisini yakaladığı görülmüştür. Hauser-Feshbach modeli ise, 28 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum sağlamış, bu enerjiden sonra deneysel verilerden düşük değerler alarak uyumunu kaybetmiştir. Denge-öncesi modellerin tümü, deneysel verilerle uyum sağlasa da, İki Bileşenli Eksiton, PCROSS Eksiton ve HMS Modelleri deneysel verilerle en uyumlu modeller olarak görülmüştür. Weisskopf-Ewing Model, diğer denge modeli olan Hauser-Feshbach Modeli’nin aksine 39 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum göstermiştir.

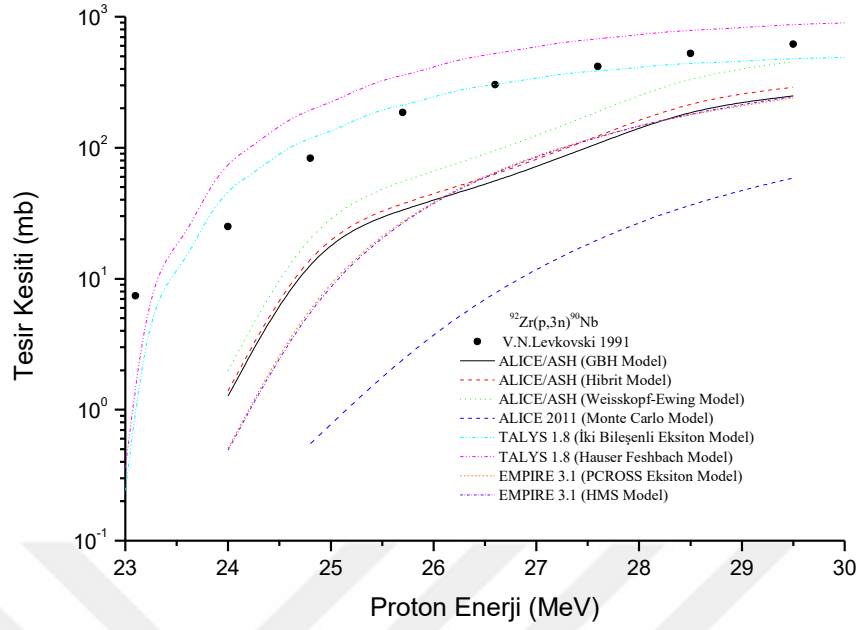
$^{57}\text{Fe}(p,n)^{57}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesiti değerlerinin, deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Bileşik çekirdek modelini esas alan Weisskopf-Ewing ve Hauser Feshbach hesaplamaları deneysel verilerle 20 MeV enerjisine kadar uyum sağlasa da, Weisskopf-Ewing model hesaplamalarının daha başarılı olduğu görülmüştür. Diğer tüm modeller deneysel verilerle aynı harmoniği sergilemişlerdir. İki Bileşenli Eksiton, Hibrit ve HMS modellerinin deneysel verileri açıklamada en başarılı modeller oldukları gözlenmiştir.

Şekil 5.3’de $^{90}\text{Zr}(p,n)^{90}\text{Nb}$ reaksiyonu için, reaksiyonun denge bileşenine ait hesaplamaların 19 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yakaladığı görülmüştür. ALICE 2011 hesaplamaları deneysel verilerle geometrik uyum gösterse de, daha düşük sonuçlar vermiştir. EMPIRE 3.1 kodu hesaplamaları dışındaki, diğer modeller 19 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yakalamış, bu değerden sonra aşağıdan takip etmişlerdir. PCROSS Eksiton ve HMS Modelleri bu reaksiyon için en başarılı modellerdir.



Şekil 5. 4. $^{91}\text{Zr}(p,2n)^{90}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

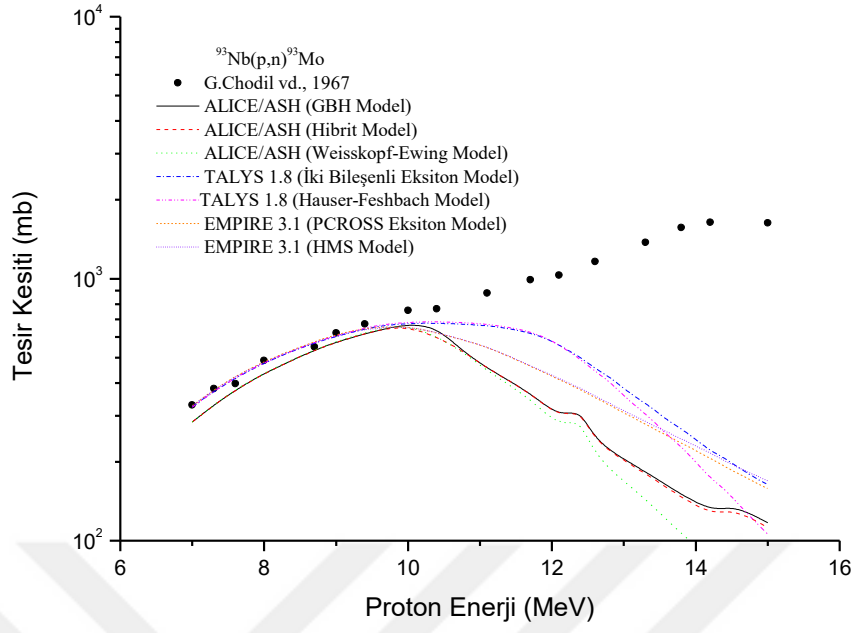




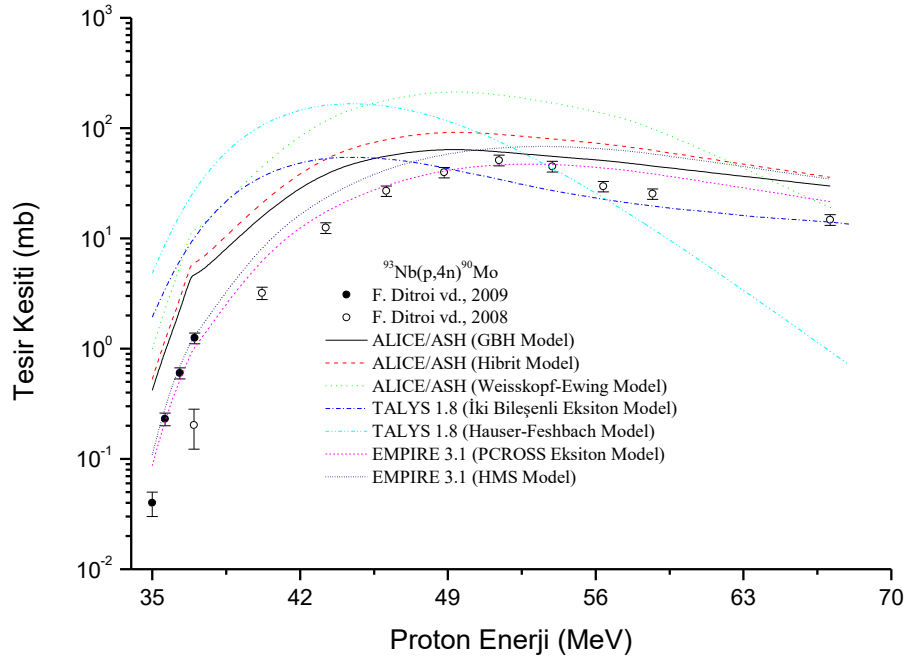
Şekil 5. 7. $^{92}\text{Zr}(p,3n)^{90}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

$p+^{91}\text{Zr}$ giriş kanalı için hesaplanan tesis kesiti değerlerinin, deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de verilmiştir. (2n) ve (α) çıkış kanalları için, tüm hesaplamaların deneysel verilerle aynı geometriye sahip oldukları ancak, deneysel verileri aşağıdan veya yukarıdan takip ettikleri görülmüştür. (2n) çıkış kanalı için; Hauser Feshbach, α çıkış kanalı için ise iki bileşenli eksiton model en uyumlu modellerdir.

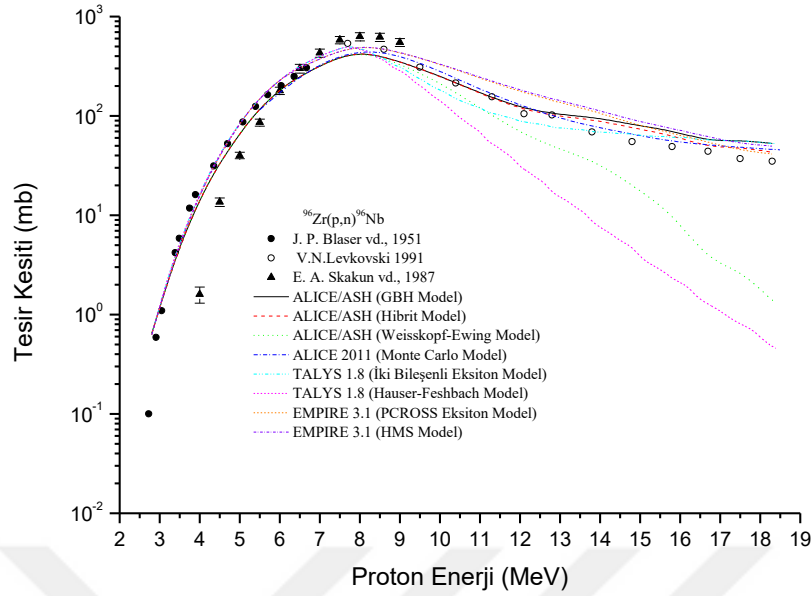
Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de $^{92}\text{Zr}(p,n)^{92}\text{Nb}$ ve $^{92}\text{Zr}(p,3n)^{90}\text{Nb}$ reaksiyonları için hesaplanan tesis kesiti verilerinin, EXFOR kütüphanesinden alınan değerlerle karşılaştırılması gösterilmiştir. (p,n) reaksiyonu için, tüm modeller deneysel verilerden yüksek değerler vermesine rağmen, deneysel verilerle geometrik uyum göstermiştir. (p,3n) reaksiyonunda ise, Hauser-Feshbach Modeli deneysel verileri yukarıdan, iki bileşenli eksiton model hariç diğer modeller ise aşağıdan takip etmişlerdir. İki Bileşenli Eksiton Model deneysel verilerle en uyumlu model olarak görülmektedir.



Şekil 5. 8. $^{93}\text{Nb}(p,n)^{93}\text{Mo}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 9. $^{93}\text{Nb}(p,4n)^{90}\text{Mo}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

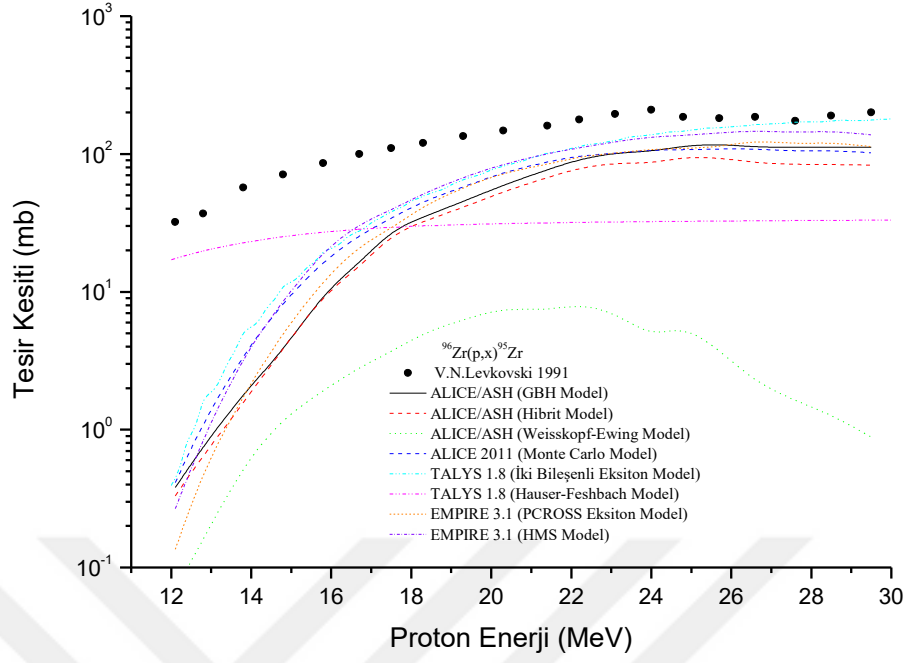


Şekil 5. 10. $^{96}\text{Zr}(p,n)^{96}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

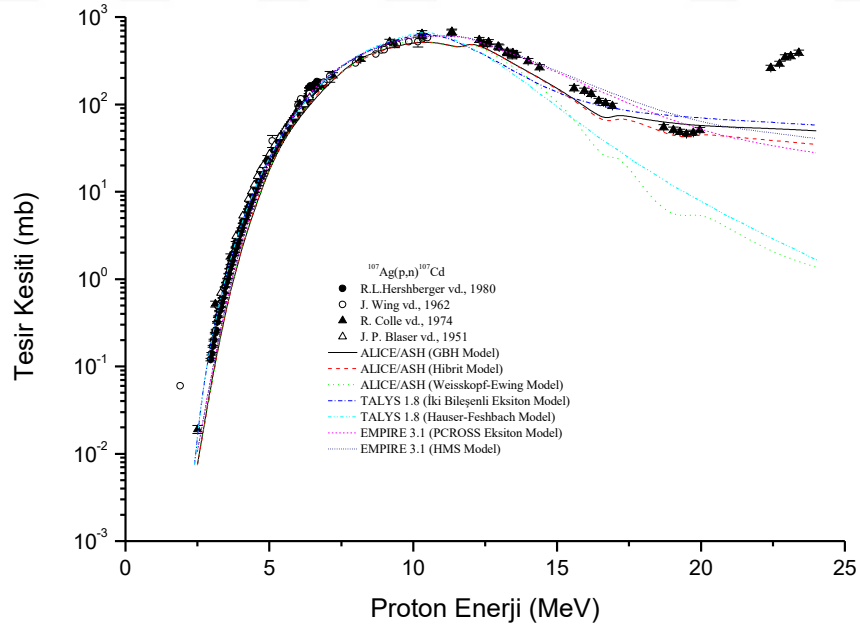
$^{93}\text{Nb}(p,n)^{93}\text{Mo}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesiti verileri ile deneysel değerlerin analizi Şekil 5.8.'de görülmektedir. 10 MeV enerjisine kadar tüm modellerin deneysel verileri yakaladığı bu değerden sonra ise, uyumlarını yitirdikleri görülmektedir. 10 MeV'den sonra diğer reaksiyon kanallarının açılması bu etkiye sebep olmaktadır.

Şekil 5.9.'da $^{93}\text{Nb}(p,4n)^{90}\text{Mo}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesiti değerlerinin, EXFOR'dan alınan verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Hauser-Feshbach Modeli hesaplamaları; 56 MeV enerjisine kadar deneysel verilerin geometrisini yakalamış, bu değerden sonra uyumunu yitirmiştir. EMPIRE 3.1 hesaplamalarının deneysel verilerle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. İki Bileşenli Eksiton Model hariç diğer modeller deneysel verileri yukarıdan takip etmiştir. İki Bileşenli Eksiton Model ise, 48 MeV enerjisinden sonra deneysel verilere yakın sonuçlar vermiştir. PCROSS Eksiton Modeli'nin deneysel verilerle en uyumlu model olduğu görülmüştür.

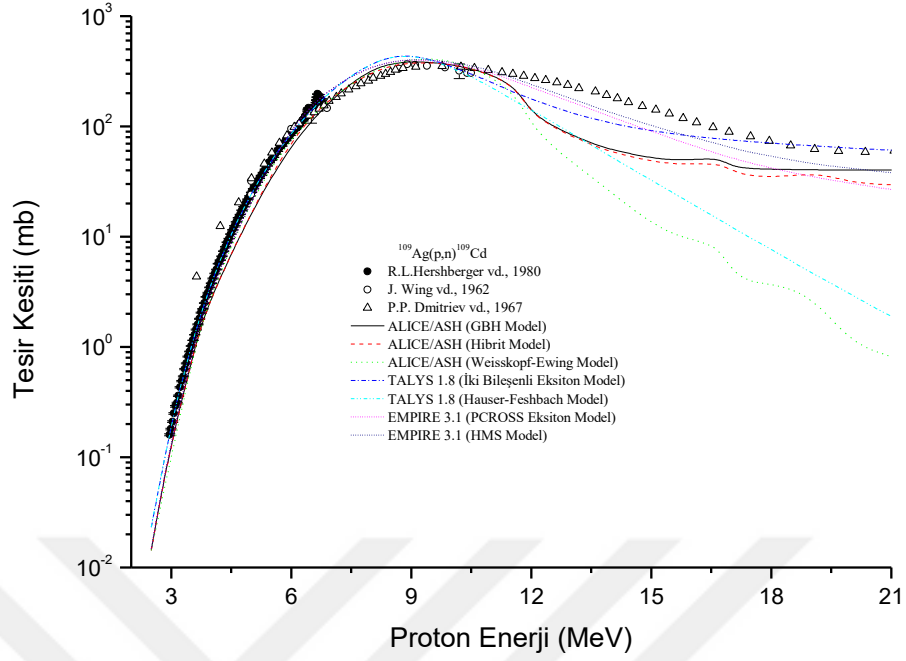
$^{96}\text{Zr}(p,n)^{96}\text{Nb}$ reaksiyonu için denge-öncesi modeller kullanılarak hesaplanan tesir kesiti değerlerinin, literatürden alınan sonuçlarla uyumlu olduğu Şekil 5.10.'da görülmektedir. Denge modeli hesaplamalarından, Weisskopf-Ewing Model, 10 MeV enerjisine kadar, Hauser-Feshbach Model ise 7,5 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yakalamış, bu değerden sonra uyumları yitirmişlerdir.



Şekil 5. 11. $^{96}\text{Zr}(p,x)^{95}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 12. $^{107}\text{Ag}(p,n)^{107}\text{Cd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 13. $^{109}\text{Ag}(p,n)^{109}\text{Cd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

$^{96}\text{Zr}(p,x)^{95}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesiti değerleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması Şekil 5.11.'de verilmiştir. Denge hesaplamaları dışındaki tüm hesaplamaların deneysel verilerle benzer geometriye sahip oldukları ancak, deneysel verileri aşağıdan takip ettikleri görülmektedir.

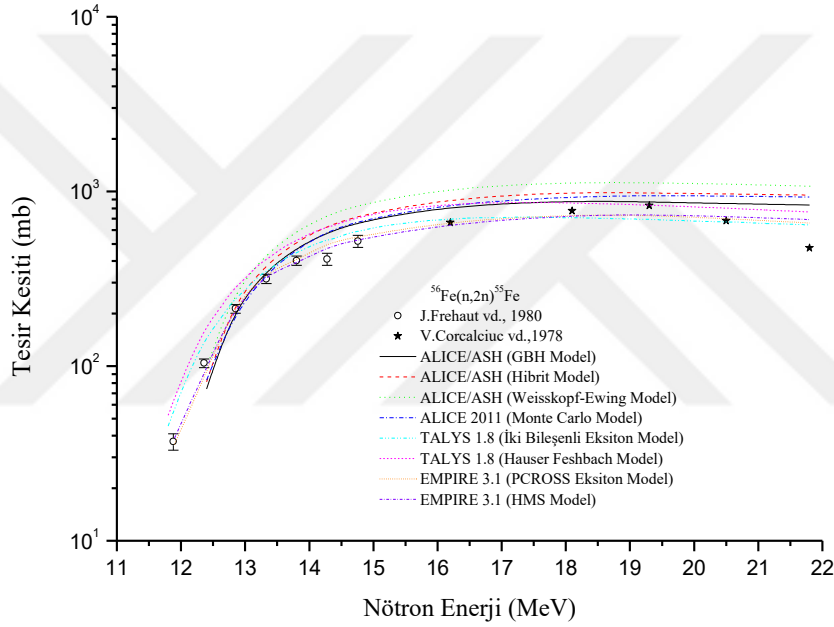
Şekil 5.12 incelendiğinde, $^{107}\text{Ag}(p,n)^{107}\text{Cd}$ reaksiyonu için; denge-öncesi modeller kullanılarak yapılan tüm hesaplamaların deneysel verilerle 22 MeV enerjisine kadar neredeyse bire bir aynı sonuçlar verdiği, bu değerden sonra ise deneysel verileri aşağıdan takip ettiği görülmüştür. Denge modeli hesaplamalarının ise, yaklaşık olarak 11 MeV enerjisine kadar EXFOR verileri ile uyum gösterdiği sonra uyumunu yitirdikleri gözlenmiştir.

$^{109}\text{Ag}(p,n)^{109}\text{Cd}$ için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.13'de verilmiştir. Bütün modellerin yaklaşık olarak 11 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum gösterdiği, bu değerden sonra reaksiyonun denge bileşenine ait model hesaplamalarının uyumlarını yitirdiği, denge-öncesi model hesaplamalarının

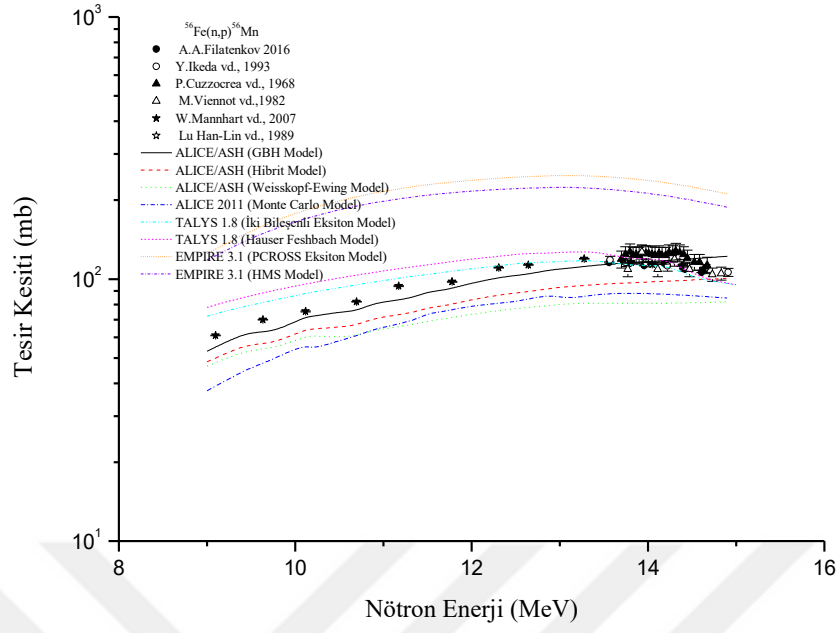
ise, deneysel verileri aşağıdan takip ettiği görülmüştür. İki Bileşenli Eksiton Model'in en başarılı model olduğu gözlenmiştir.

5.2. Nötron Girişli Reaksiyonlar İçin Tesir Kesiti Hesaplamaları

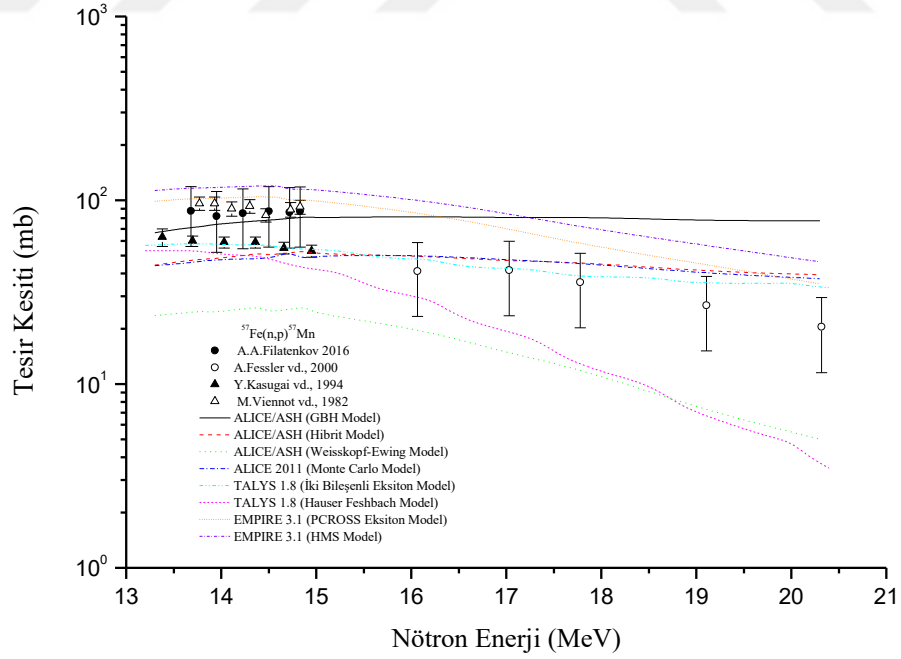
Nötronlarla bombardıman edilen $^{56,57}\text{Fe}$, $^{90,92,94,96}\text{Zr}$, ^{93}Nb ve ^{109}Ag izotoplarının hesaplanan tesir kesiti değerlerinin, EXFOR'dan alınan verilerle karşılaştırılması Şekil 5.14 - Şekil 5.25'de verilmiştir.



Şekil 5. 14. $^{56}\text{Fe}(n,2n)^{55}\text{Fe}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 15. $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

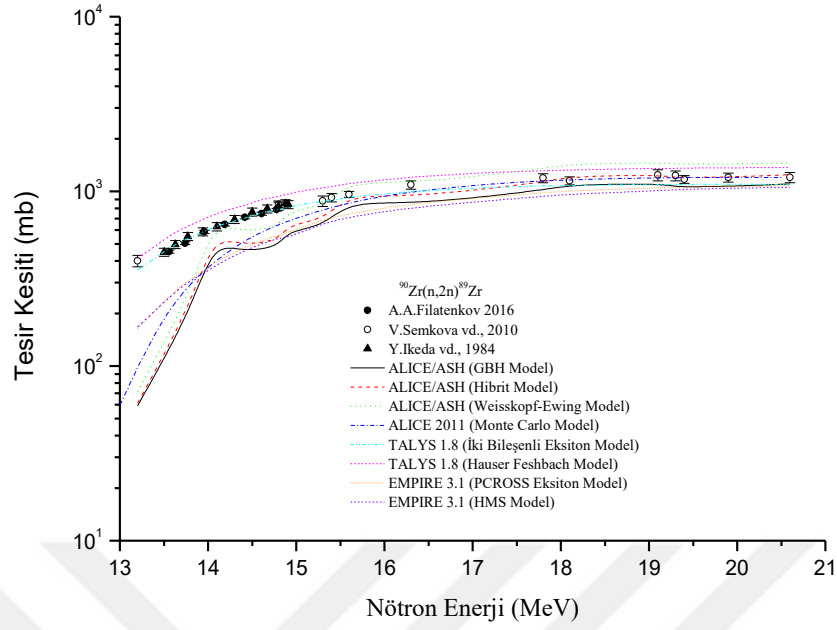


Şekil 5. 16. $^{57}\text{Fe}(n,p)^{57}\text{Mn}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

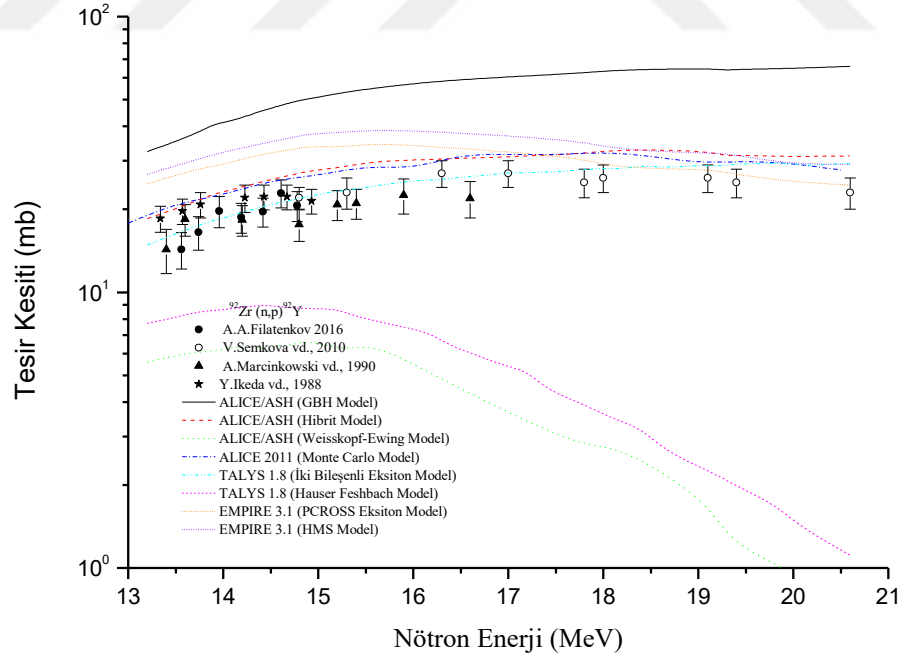
Şekil 5.14’de $^{56}\text{Fe}(n,2n)^{55}\text{Fe}$ reaksiyonu için araştırma bulguları verilmiştir. Bütün model hesaplamalarının deneysel verilerle uyum sağladıkları görülmüştür. İki Bileşenli Eksiton, PCROSS Eksiton ve HMS Modellerinin deneysel verilerle uyumlu modeller oldukları gözlenmiştir.

$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ reaksiyonu için, hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.15’de verilmiştir. Tüm modeller deneysel verilerle benzer geometri sergilemiştir. ALICE 2011, Weisskopf-Ewing Model ve Hibrit Model hesaplamaları deneysel verileri aşağıdan, HMS ve PCROSS Eksiton Model hesaplamaları yukarıdan takip etmişlerdir. Hauser-Feshbach, İki Bileşenli Eksiton ve GBH Modellerinin deneysel verilere yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. GBH ve İki Bileşenli Eksiton Modellerinin en başarılı modeller oldukları gözlenmiştir.

Şekil 5.16’da verilen $^{57}\text{Fe}(n,p)^{57}\text{Mn}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle uyumu analiz edildiğinde, Weisskopf-Ewing Model dışındaki tüm modellerin, 15 MeV nötron enerjisine kadar deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüştür. Hibrit, İki Bileşenli Eksiton ve ALICE 2011 hesaplamaları bu enerji değerinden sonra da deneysel verilerle uyumludur. Diğer modeller deneysel verilerle benzer geometri sergilemişler ancak deneysel verileri aşağıdan (Hauser-Feshbach) ve yukarıdan takip etmişlerdir.



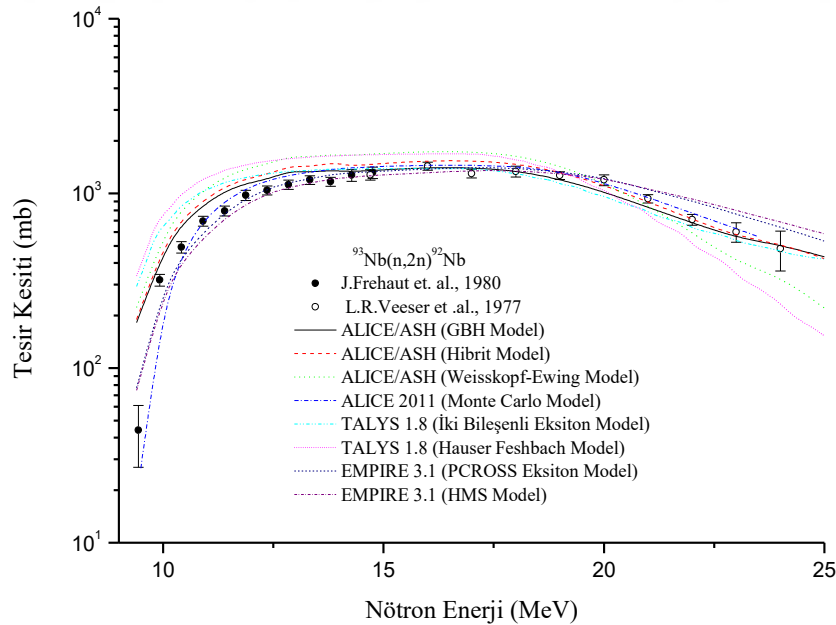
Şekil 5. 17. $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



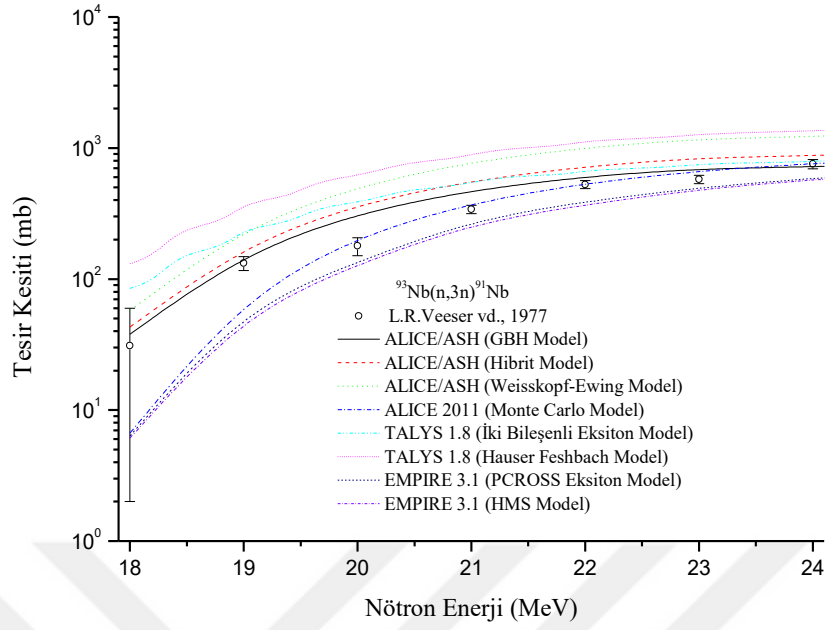
Şekil 5. 18. $^{92}\text{Zr}(n,p)^{92}\text{Y}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

$^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89}\text{Zr}$ reaksiyonu için nükleer modeller kullanılarak elde edilen tesir kesiti değerlerinin, EXFOR verileriyle karşılaştırılması Şekil 5.17’de verilmiştir. ALICE/ASH hesaplamaları dışındaki tüm hesaplamaların deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmektedir. ALICE/ASH hesaplamaları; 14 MeV civarında bir tepe vermesine rağmen 15 MeV enerjisinden sonra ise, deneysel verilerle benzer geometri sergilemiştir. İki Bileşenli Eksiton Model’in tüm enerji değerlerinde deneysel verilere çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

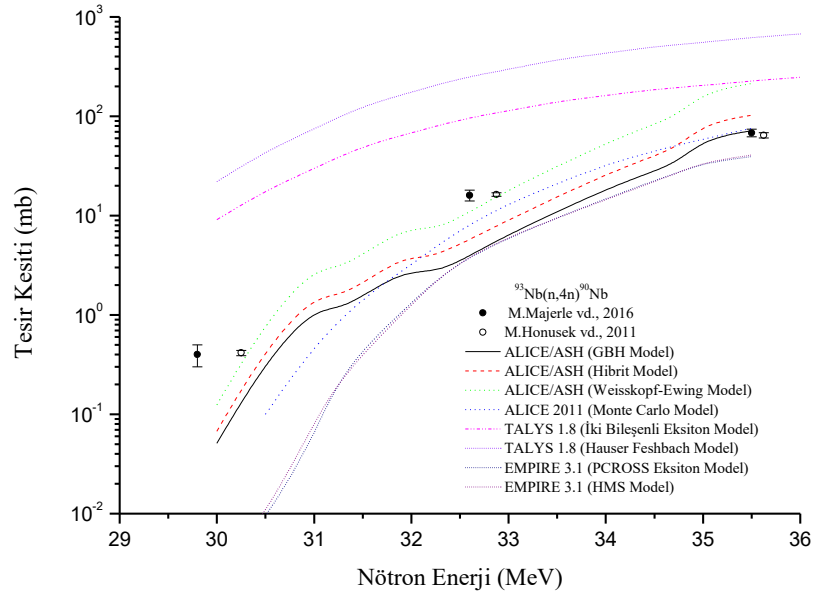
Şekil 5.18’de $^{92}\text{Zr}(n,p)^{92}\text{Y}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitleri literatürden alınan sonuçlarla karşılaştırıldığında; tüm modellerin deneysel verilerle aynı doğaya sahip oldukları ancak; denge modellerinin deneysel verileri aşağıdan, GBH modelin ise yukarıdan takip ettiği gözlenmiştir. EMPIRE 3.1 kodu hesaplamaları deneysel verileri 17 MeV enerjisine kadar üstten takip etmiş bu değerden sonra deneysel verileri yakalamıştır. Hibrit, ALICE 2011 ve İki Bileşenli Eksiton Modellerinin deneysel verilere yakın sonuçlar verdikleri gözlenmiştir. İki Bileşenli Eksiton Model en başarılı model olarak saptanmıştır.



Şekil 5. 19. $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

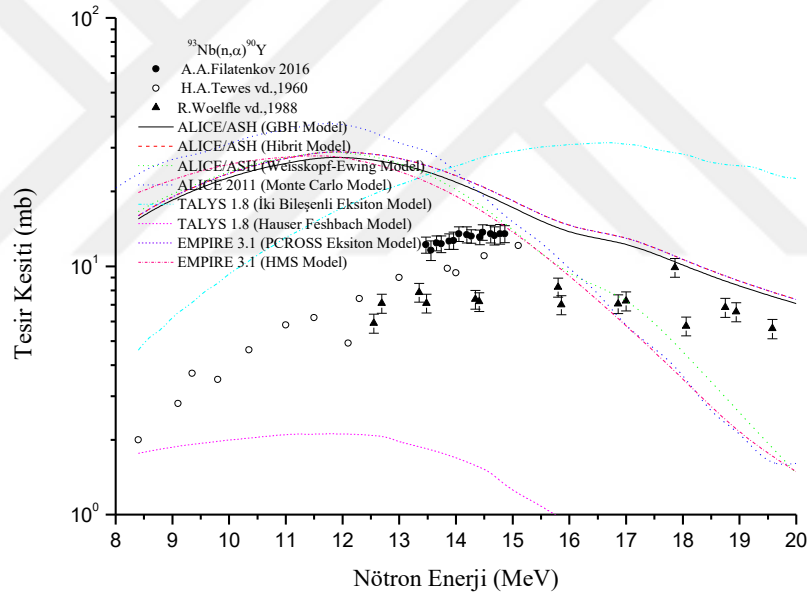


Şekil 5. 20. $^{93}\text{Nb}(n,3n)^{91}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

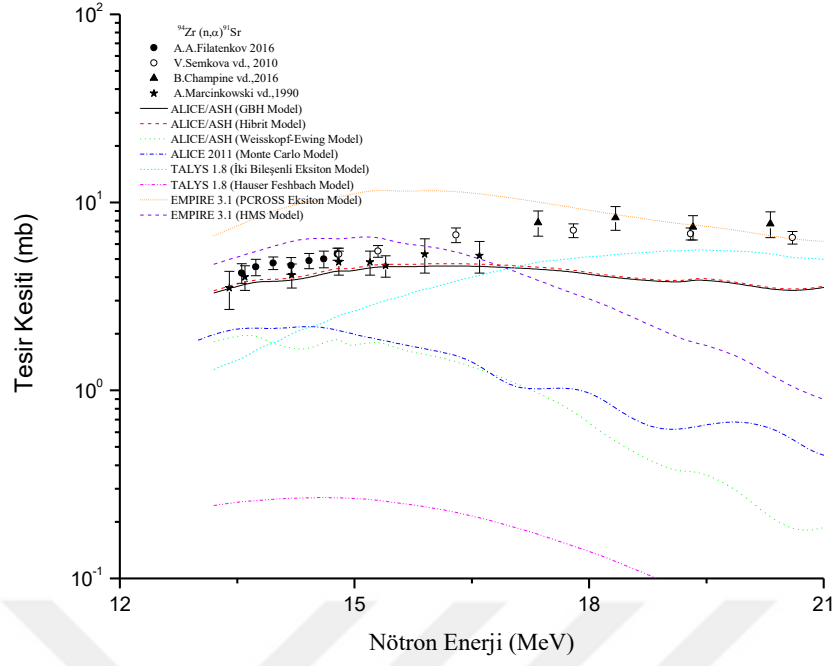


Şekil 5. 21. $^{93}\text{Nb}(n,4n)^{89}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

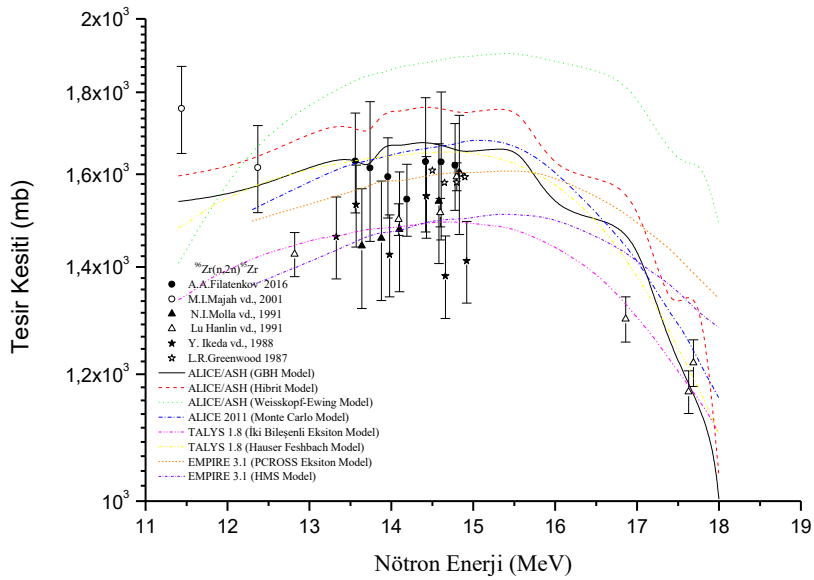
^{93}Nb izotopunun $(n,2n)$, $(n,3n)$ ve $(n,4n)$ reaksiyonları için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması sırasıyla Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de verilmiştir. $(2n)$ çıkış kanalı için yapılan tüm hesaplamalar deneysel verilerle uyumlu bulunmuştur. $(3n)$ çıkış kanalı için, bütün modeller deneysel verilerle benzer geometri sergilese de, GBH ve ALICE 2011 hesaplamalarının deneysel verilere en yakın değerleri verdikleri görülmüştür. $(n,4n)$ reaksiyonu için ise, literatürde bulunan 2 farklı deneyden alınan toplam 6 enerji değeri için tesir kesiti verileri hesaplanmış ve EXFOR verileri ile karşılaştırılmıştır. Bütün modellerin deneysel verilerle aynı geometriye sahip oldukları ancak daha yüksek veya daha düşük sonuçlar verdikleri gözlenmiştir. Weisskopf-Ewing Model en uyumlu model olarak gözlenmiştir.



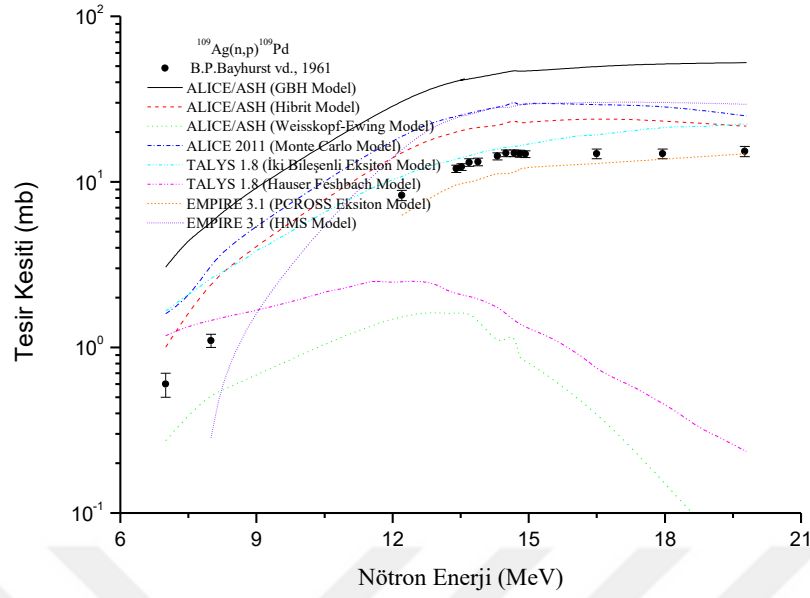
Şekil 5. 22. $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90}\text{Y}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 23. $^{94}\text{Zr}(n,\alpha)^{91}\text{Sr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 24. $^{96}\text{Zr}(n,2n)^{95}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 25. $^{109}\text{Ag}(n,p)^{109}\text{Pd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

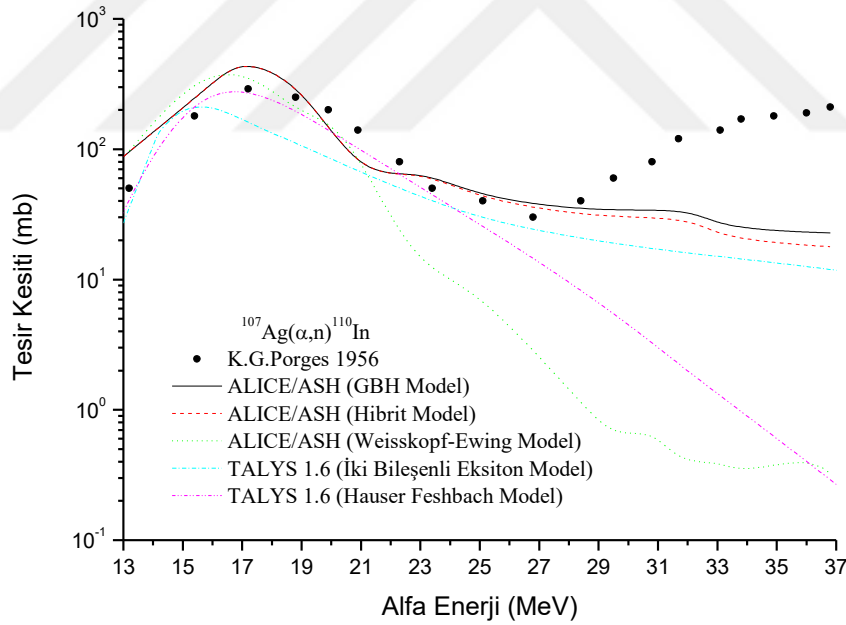
^{93}Nb ve ^{94}Zr izotoplarının (n,α) reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin, EXFOR'dan alınan verilerle karşılaştırılması sırasıyla Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de verilmiştir. ^{93}Nb için; birkaç deney noktasında benzer sonuçlar elde etmelerine rağmen, İki Bileşenli Eksiton Model dışındaki diğer modellerin deneysel verilerle uyum göstermedikleri görülmüştür. İki bileşenli eksiton modelinin ise, deneysel verilerden yüksek sonuçlar vermesine rağmen, deney sonuçları ile bire bir aynı geometriye sahip olduğu gözlenmiştir. ^{94}Zr için hesaplanan sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması analiz edildiğinde, 17 MeV enerjisine kadar Hibrit, HMS ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının, 19 MeV'den sonra ise; PCROSS Eksiton Model hesaplamalarının deneysel verilerle uyumlu oldukları görülmüştür.

Şekil 5.24'de $^{96}\text{Zr}(n,2n)^{95}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Literatürden alınan verilerin hata oranlarının oldukça yüksek oldukları gözlenmiştir. Weisskopf-Ewing Model dışındaki tüm modeller deneysel verilerle uyum sağlamışlardır.

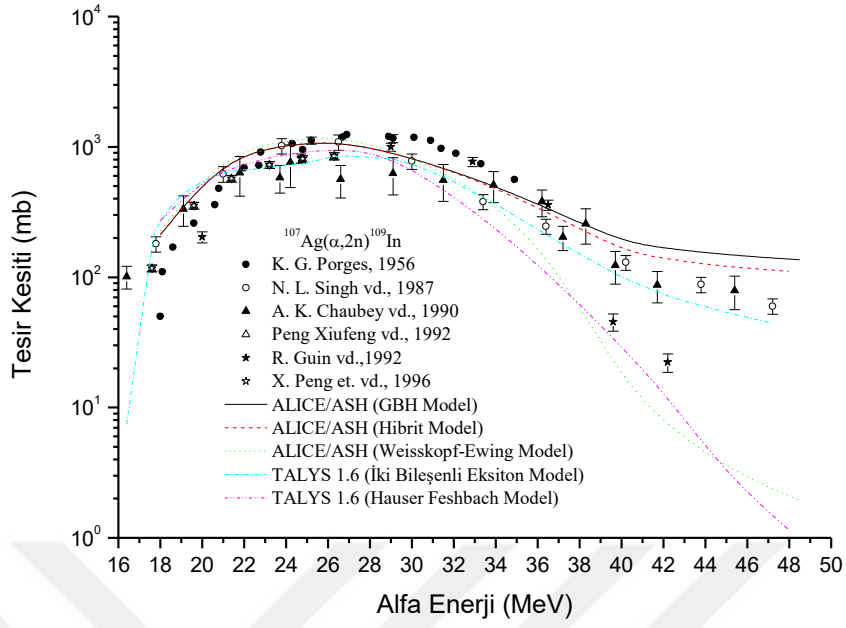
$^{109}\text{Ag}(n,p)^{109}\text{Pd}$ reaksiyonu incelendiğinde; bileşik çekirdek modellerinin deneysel verilerle uyum göstermediği; denge-öncesi modellerinin ise, deneysel verilerle aynı geometriye sahip oldukları gözlenmiştir. Deneysel verilere en yakın sonuçlar veren modellerin, İki Bileşenli Eksiton ve PCROSS Eksiton Modellerinin oldukları saptanmıştır.

5.3. Alfa Girişli Reaksiyonlar İçin Tesir Kesiti Hesaplamaları

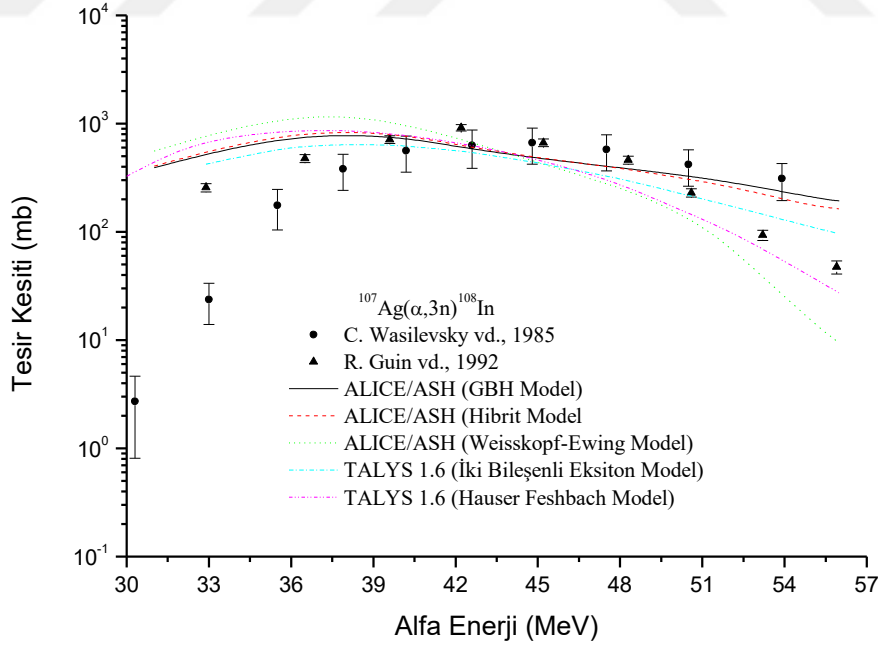
$^{107,109}\text{Ag}$ izotoplarının (α, xn) reaksiyonları için nükleer modeller kullanılarak hesaplanan tesir kesitlerinin EXFOR verileri ile karşılaştırılması Şekil 5.26 – Şekil 5.35’de verilmiştir. Hesaplamalarda; reaksiyon denge bileşeni için Weisskopf-Ewing ve Hauser-Feshbach Modelleri, denge-öncesi bileşeni için GBH, Hibrit ve İki Bileşenli Eksiton Modelleri kullanılmıştır.



Şekil 5. 26. $^{107}\text{Ag}(\alpha,n)^{110}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



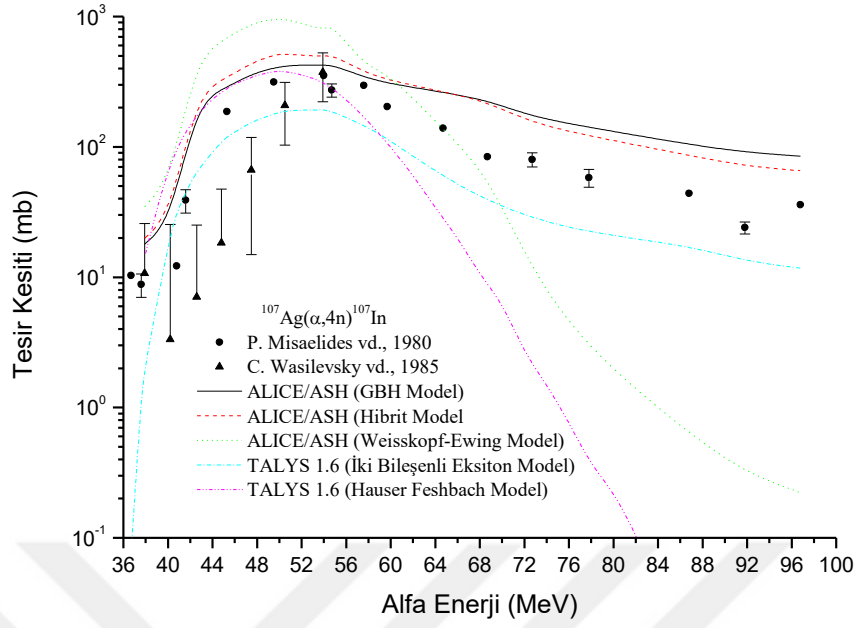
Şekil 5. 27. $^{107}\text{Ag}(\alpha,2n)^{109}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



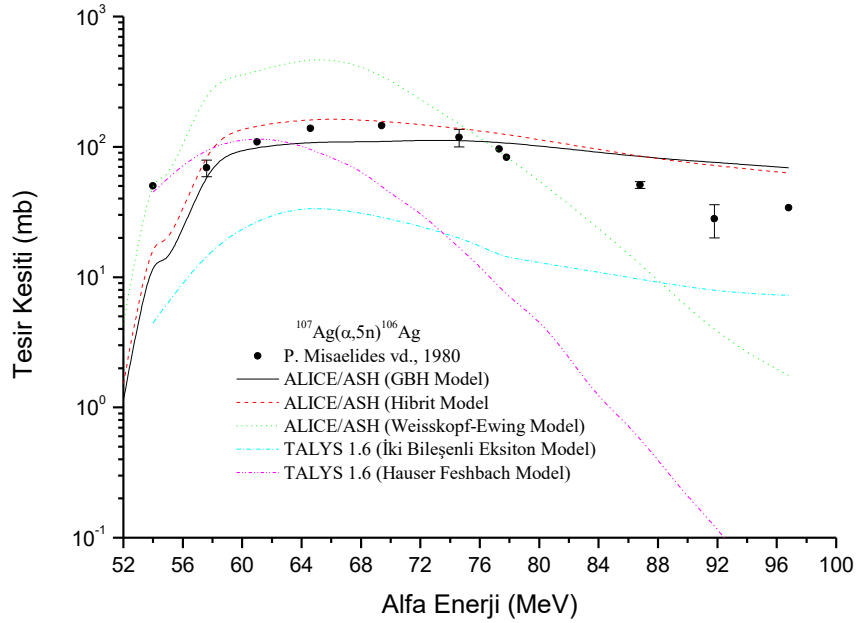
Şekil 5. 28. $^{107}\text{Ag}(\alpha,3n)^{108}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.26’da; $^{107}\text{Ag}(\alpha, n)^{110}\text{In}$ reaksiyonu için elde edilen değerlerin literatürden alınan verilerle analizi görülmektedir. Hauser-Feshbach Model hesaplamalarının 23 MeV, Weisskopf-Ewing Modeli’nin ise; 20 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle örtüştüğü, bu enerji değerinden sonra uyumlarını yitirdikleri gözlenmiştir. GBH, Hibrit ve İki Bileşenli Eksiton Modellerinin 28 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yakaladığı bu değerden sonra ise aşağıdan takip ettiği görülmüştür. Bu reaksiyon Şekil 5.27 ile beraber analiz edildiğinde ise; (α, n) reaksiyonu için uyumun yitirildiği enerji değerlerinde deneysel verilerin ve nükleer model hesaplamalarının $(\alpha, 2n)$ reaksiyonu için maksimum değerler verdiği anlaşılmıştır. Dolayısıyla, 28 MeV enerjisinden sonra $(2n)$ reaksiyon kanalının baskın duruma geçmesinin bu uyumsuzluğun sebebi olduğu görülmüştür. Şekil 5.27’de verilen $^{107}\text{Ag}(\alpha, 2n)^{109}\text{In}$ reaksiyon tesir kesiti hesaplamalarının deneysel verilerle karşılaştırılması incelendiğinde; Hauser-Feshbach Modeli hesaplamalarının 31 MeV enerjisine, Weisskopf-Ewing Model hesaplamalarının ise 33 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum sağladığı görülmüştür. Denge-öncesi hesaplamalarının ise; deneysel verileri neredeyse her enerji değeri için yakaladığı gözlenmiştir.

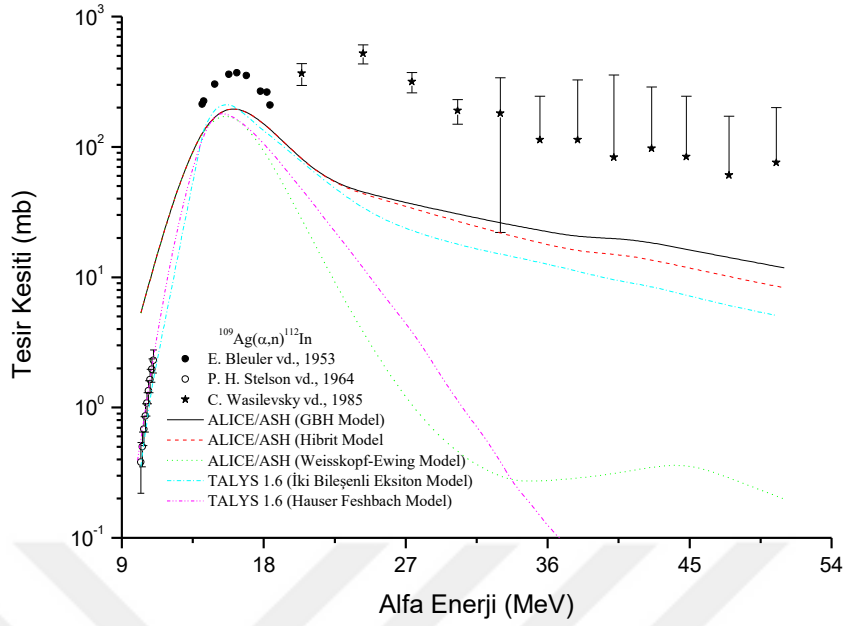
$^{107}\text{Ag}(\alpha, 3n)^{108}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesiti değerleri ile deneysel verilerin analizi Şekil 5.28’de verilmiştir. Denge-öncesi modellerinin deneysel verilerle uyumlu oldukları, Weisskopf-Ewing Model ve Hauser Feshbach Model hesaplamalarının yaklaşık 45 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yakaladığı görülmüştür.



Şekil 5. 29. $^{107}\text{Ag}(\alpha,4n)^{107}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 30. $^{107}\text{Ag}(\alpha,5n)^{106}\text{Ag}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

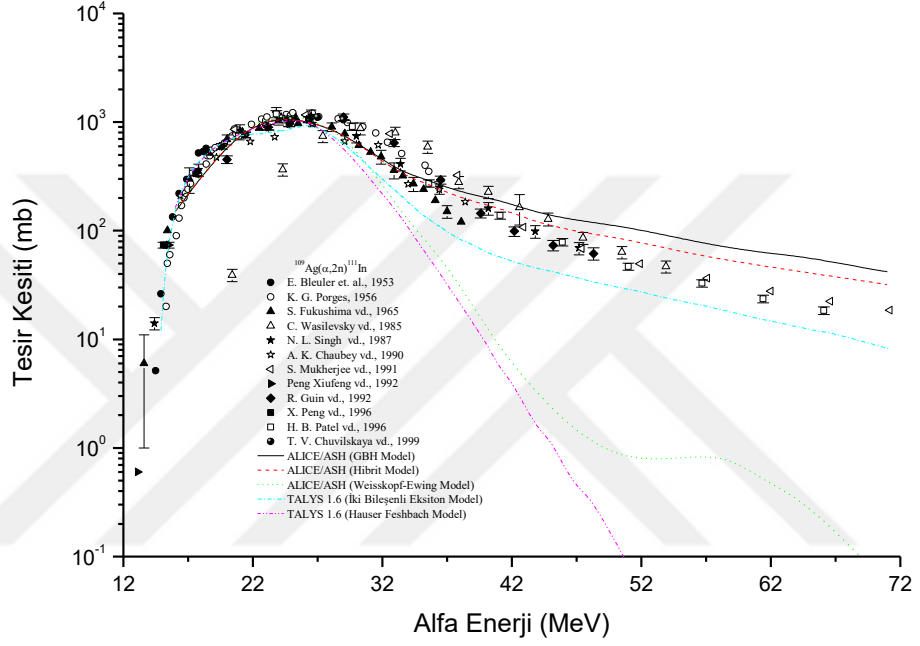


Şekil 5. 31. $^{109}\text{Ag}(\alpha,n)^{112}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

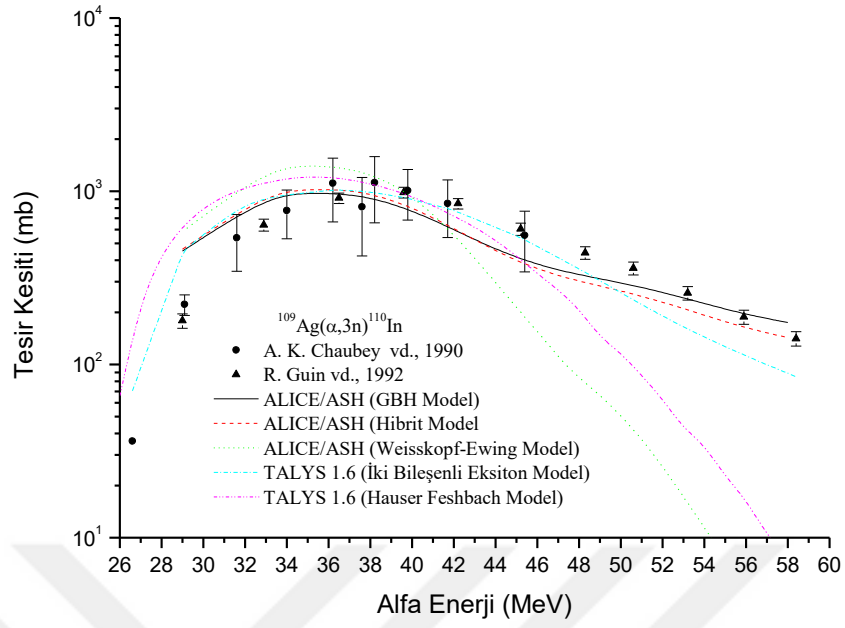
Şekil 5.29'da $^{107}\text{Ag}(\alpha,4n)^{107}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin EXFOR verileri ile karşılaştırılması verilmiştir. İki Bileşenli Eksiton Model'in 52 MeV, Hibrit ve GBH Modellerinin ise 55 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yakaladıkları bu değerlerden sonra İki Bileşenli Eksiton Model'in deneysel verileri aşağıdan GBH ve Hibrit Modellerinin yukarıdan takip ettikleri gözlenmiştir. Weisskopf-Ewing hesaplamaları ise, 65 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle benzer geometri izlemiş bu değerden sonra uyumunu yitirmiştir. Hauser Feshbach Model'i ise, 56 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum göstermiştir.

$^{107}\text{Ag}(\alpha,5n)^{106}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin EXFOR verileri ile karşılaştırılması Şekil 5.30'da verilmiştir. İki Bileşenli Eksiton Model; deneysel verilerden düşük değerler vermesine rağmen, deneysel verilerle benzer geometri sergilemiştir. GBH ve Hibrit Model hesaplamaları deneysel verileri 75 MeV enerjisine kadar yakalamış, bu değerden sonra yukarıdan takip etmiştir. Hauser-Feshbach hesaplamaları 60 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum göstermiştir. Weisskopf-Ewing Model'i ise, 78 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle harmoni içerisinde sonuçlar vermiştir.

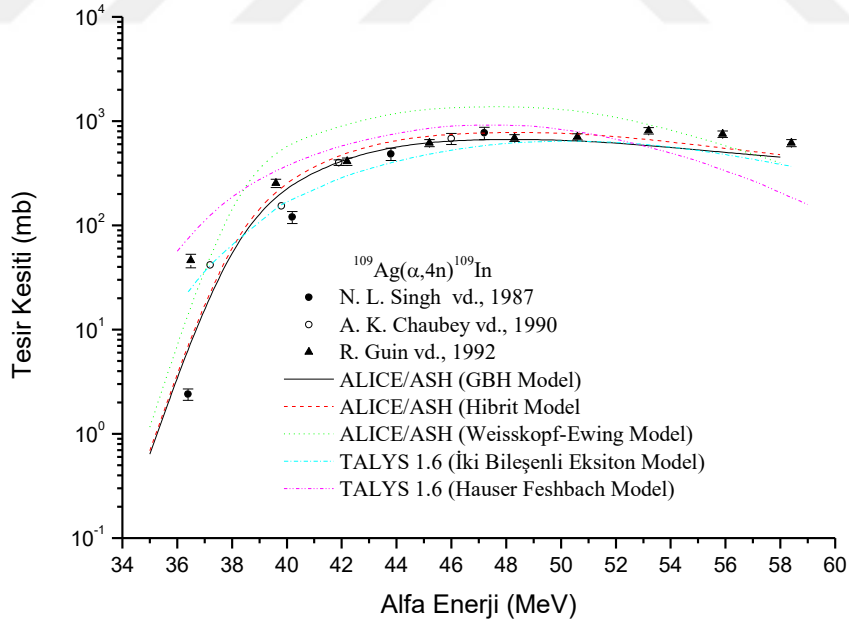
Şekil 5.31’de; $^{109}\text{Ag}(\alpha,n)^{112}\text{In}$ reaksiyonu için elde edilen tesir kesiti değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Denge-öncesi hesaplamaları yaklaşık olarak 22 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle yakın sonuçlar vermiş, bu değerden sonra deneysel verileri aşağıdan takip etmiştir. Denge bileşenine ait hesaplamalar ise; 18 MeV enerjisine kadar deneysel verilere yakın sonuçlar vermiş bu enerjiden sonra deneysel verileri aşağıdan paralel olarak takip etmiştir.



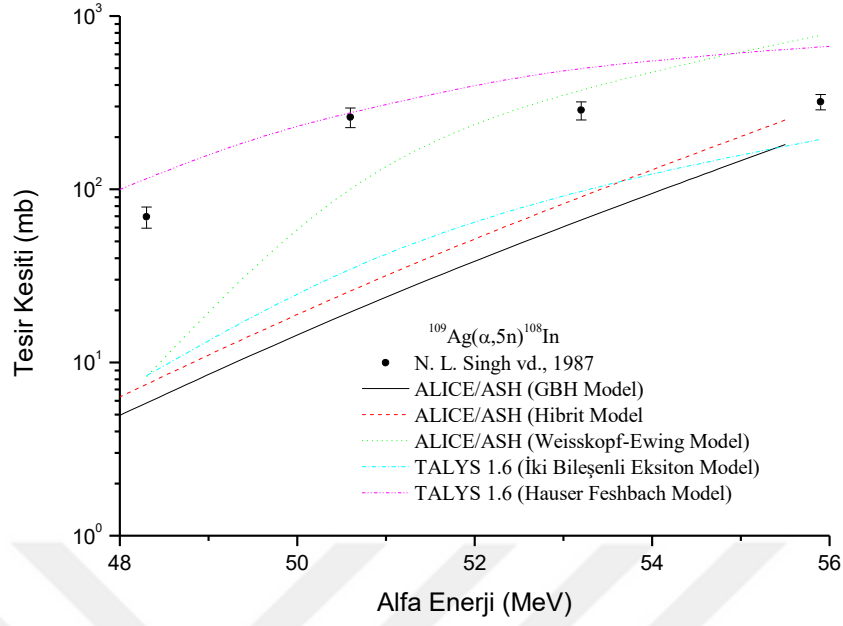
Şekil 5. 32. $^{109}\text{Ag}(\alpha,2n)^{111}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 33. $^{109}\text{Ag}(\alpha,3n)^{110}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 34. $^{109}\text{Ag}(\alpha,4n)^{109}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 35. $^{109}\text{Ag}(\alpha,5n)^{108}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

$^{109}\text{Ag}(\alpha,2n)^{111}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden alınan sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 5.32’de verilmiştir. Denge-öncesi modellerin deneysel verilerle uyumlu olduğu; denge modellerinin ise 30 MeV enerjisine kadar uyum sağladıkları gözlenmiştir.

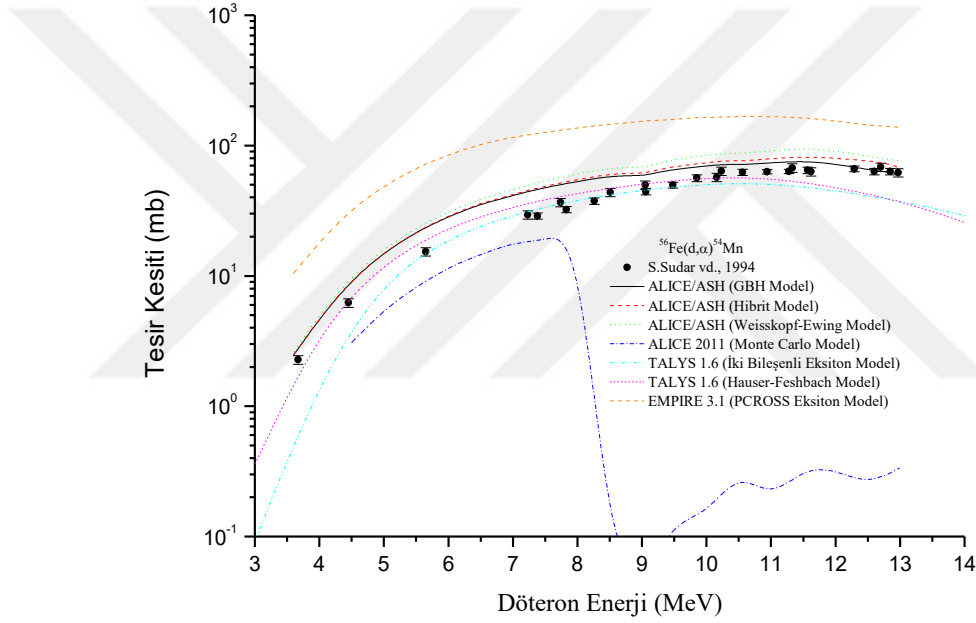
EXFOR’dan alınan verilerle $^{109}\text{Ag}(\alpha,3n)^{110}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.33’de görülmektedir. Denge-öncesi hesaplamalarının deneysel verilerle uyumlu oldukları, denge hesaplamalarından Weisskopf-Ewing Model hesaplamalarının 42 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum gösterdiği görülmüştür. Hauser-Feshbach hesaplamaları ise 46 MeV enerjisine kadar deneysel veriler ile uyum sağlamıştır.

Şekil 5.34’de $^{109}\text{Ag}(\alpha,4n)^{109}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel verilerle uyumu incelendiğinde, tüm hesaplamaların deneysel verilere yakın sonuçlar verdikleri gözlenmiştir.

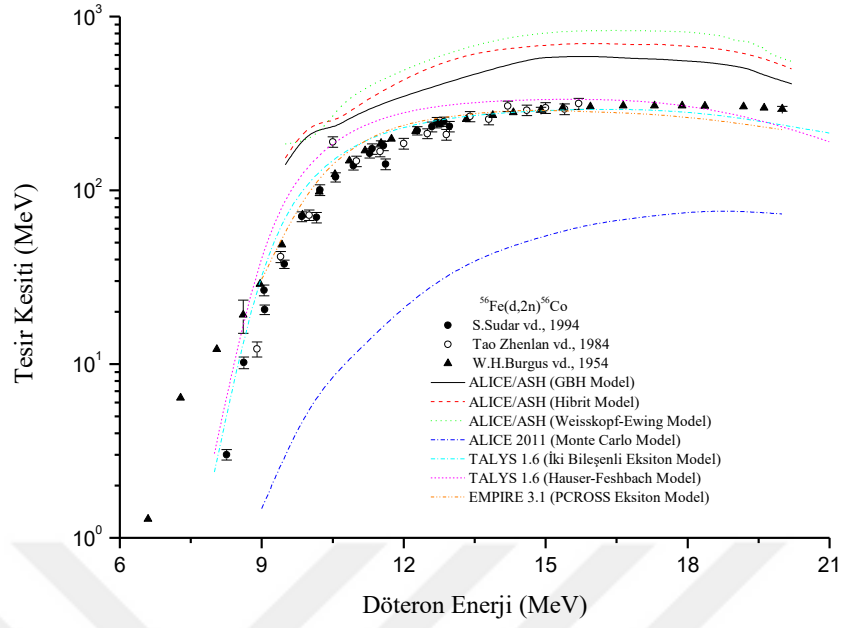
$^{109}\text{Ag}(\alpha,5n)^{108}\text{In}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.35’de verilmiştir. Hauser Feshbach Model dışındaki diğer modellerin deneysel verileri açıklamakta başarısız oldukları gözlemlenmiştir.

5.4. Döteron Girişli Reaksiyonlar İçin Tesir Kesiti Hesaplamaları

Döteron girişli reaksiyonlar için hesaplanan tesir kesiti değerlerinin, deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5-36- Şekil 5.40’da verilmiştir. Analiz sonuçları, aşağıda özetlenmiştir.



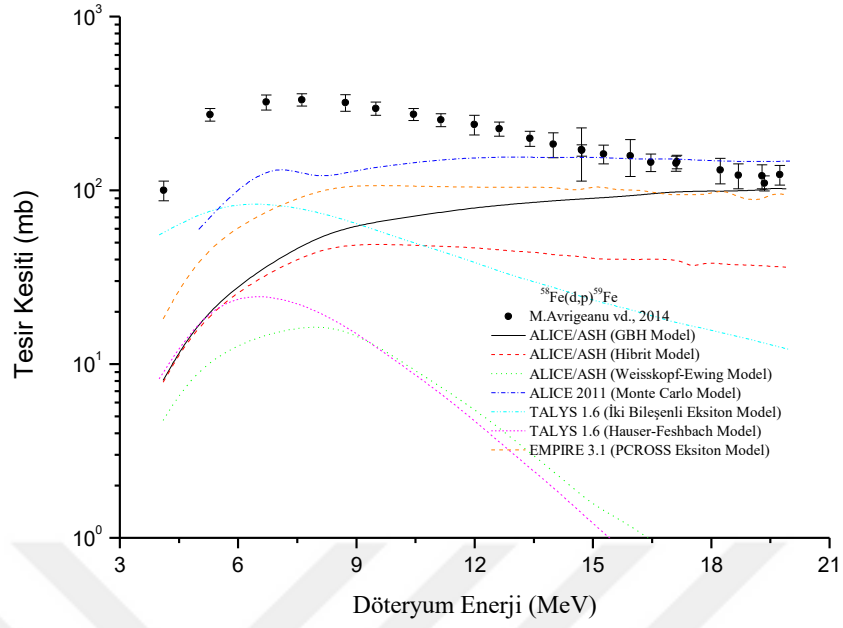
Şekil 5. 36. $^{56}\text{Fe}(d,\alpha)^{54}\text{Mn}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



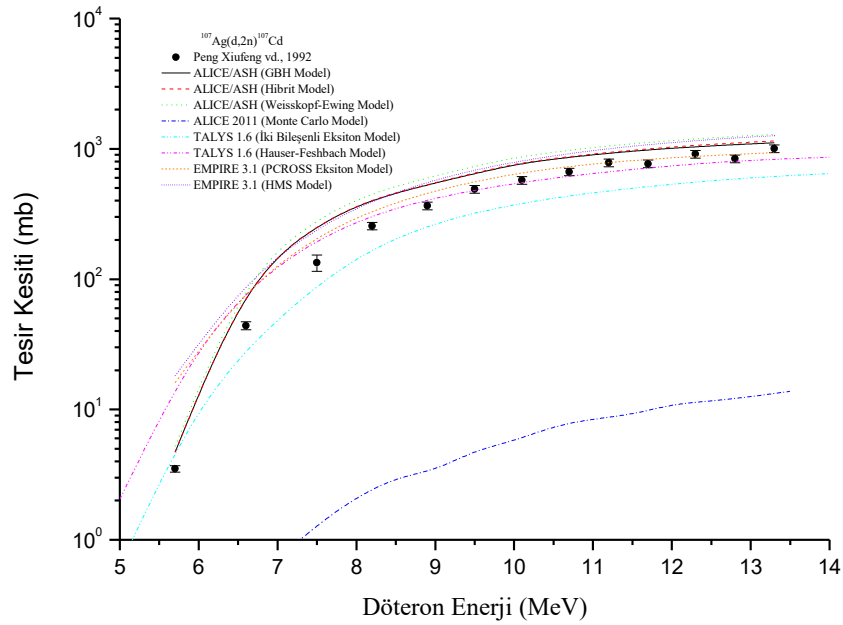
Şekil 5. 37. $^{56}\text{Fe}(d,2n)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.36'da $^{56}\text{Fe}(d,\alpha)^{54}\text{Mn}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. ALICE/ASH kodu hesaplamaları olan; GBH, Hibrit ve Weisskopf-Ewing Modelleri deneysel verilerle uyum sağlamışlardır. PCROSS Eksiton Model deneysel verilerden daha yüksek sonuçlar vermesine rağmen, deneysel verilerin geometrisini bire bir yakalamıştır. ALICE 2011 kodu deney sonuçlarını açıklamakta başarısız olmuştur. TALYS 1.6 hesaplamaları ise, deneysel verilere yakın sonuçlar vermiştir.

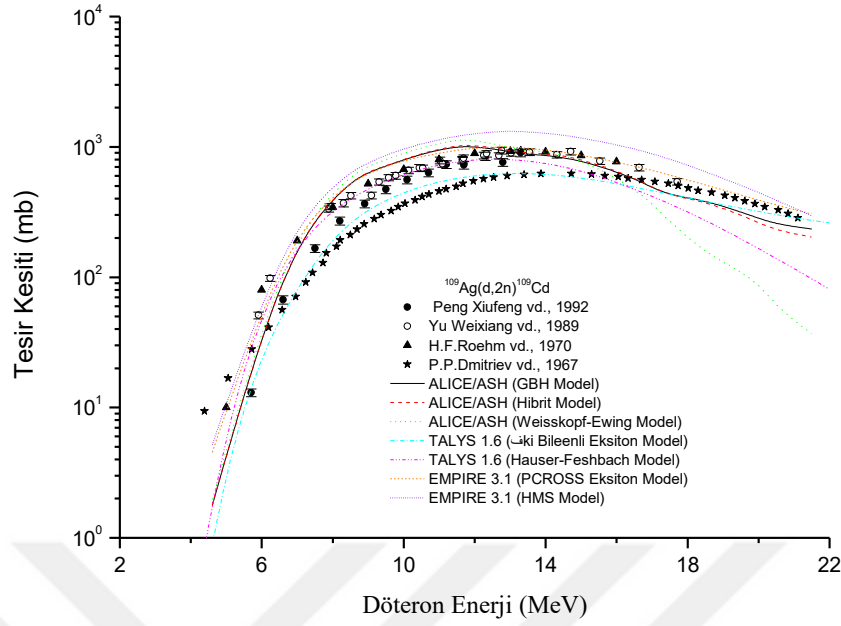
Şekil 5.37'de verilen; $^{56}\text{Fe}(d,2n)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması analiz edildiğinde, PCROSS Eksiton Model ve TALYS 1.6 kodu hesaplamalarının, deneysel verilerle oldukça uyumlu olduğu saptanmıştır.



Şekil 5. 38. $^{58}\text{Fe}(d,p)^{59}\text{Fe}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 39. $^{107}\text{Ag}(d,2n)^{107}\text{Cd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 40. $^{109}\text{Ag}(d,2n)^{109}\text{Cd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

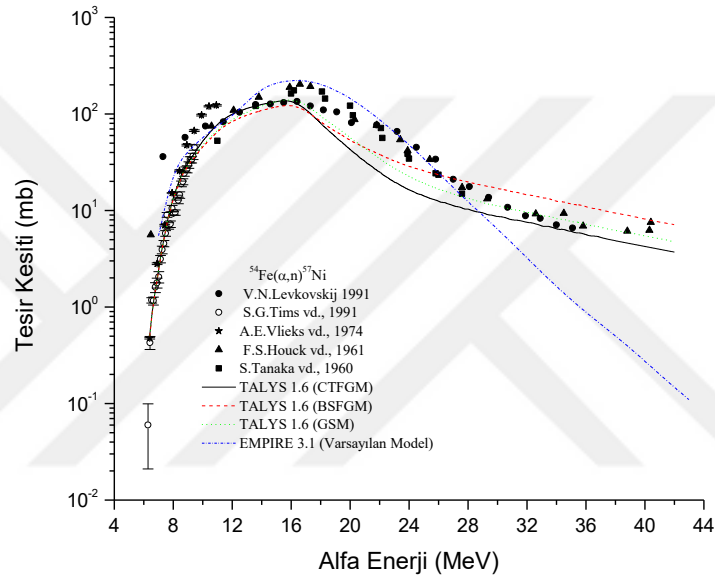
Literatürden alınan $^{58}\text{Fe}(d,p)^{59}\text{Fe}$ reaksiyonu için tesis kesiti değerlerinin, nükleer modeller ile hesaplanan verilerle karşılaştırılması Şekil 5.38’de verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; Hauser-Feshbach, İki Bileşenli Eksiton ve Weisskopf-Ewing Modelleri deneysel verilerle uyum göstermemiştir. ALICE 2011 Monte Carlo Modeli, deneysel verilere en yakın sonuçlar vermiştir.

$^{107}\text{Ag}(d,2n)^{107}\text{Cd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması (Şekil 5.39) incelendiğinde; ALICE 2011 hesaplamalarının deneysel verileri aşağıdan takip ettiği, diğer modellerin ise deneysel verilerle uyum gösterdiği saptanmıştır.

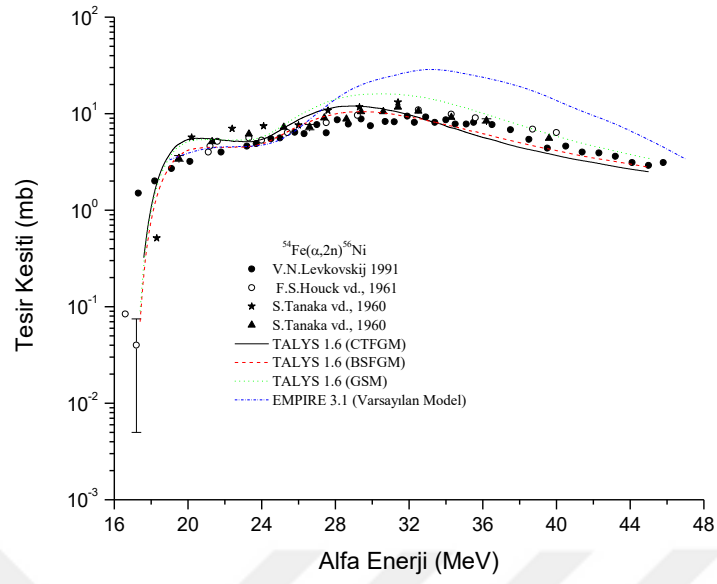
$^{109}\text{Ag}(d,2n)^{109}\text{Cd}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.40’da verilmiştir. Bütün hesaplamaların deneysel verilerle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

5.5. ^{54}Fe İçin Seviye Yoğunluğu Modellerine Bağlı Tesir Kesiti Hesaplamaları

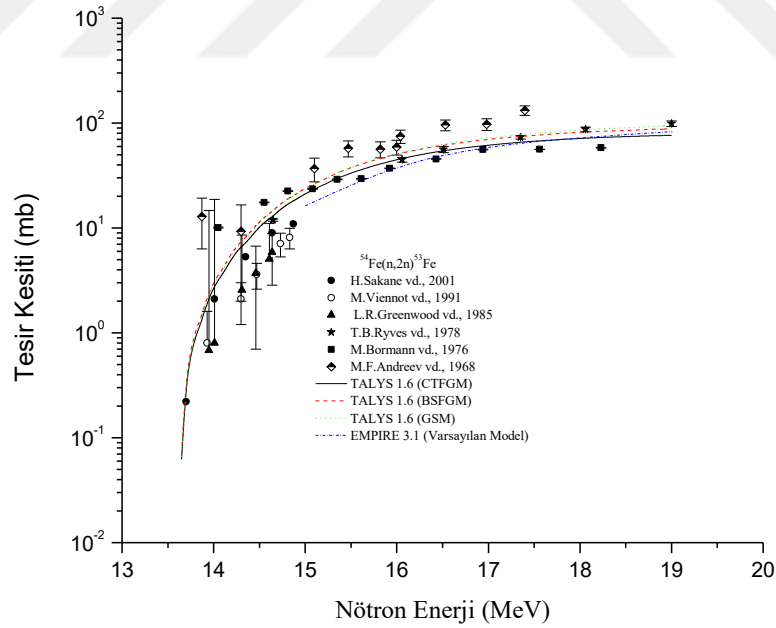
Şekil 5.41 - Şekil 5.48’de; farklı gelme enerjili parçacıklarla bombardıman edilen ^{54}Fe izotopunun seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. İki Bileşenli Eksiton ve PCROSS Eksiton Modelleri kullanılarak, CTFGM, BSFGM, GSM için tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır.



Şekil 5. 41. $^{54}\text{Fe}(\alpha,n)^{57}\text{Ni}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 42. $^{54}\text{Fe}(\alpha,2n)^{56}\text{Ni}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

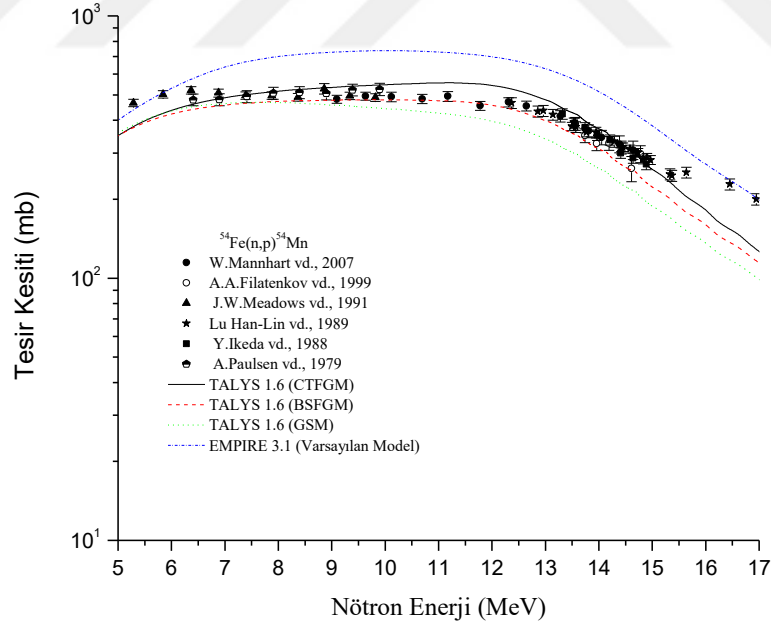


Şekil 5. 43. $^{54}\text{Fe}(n,2n)^{53}\text{Fe}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

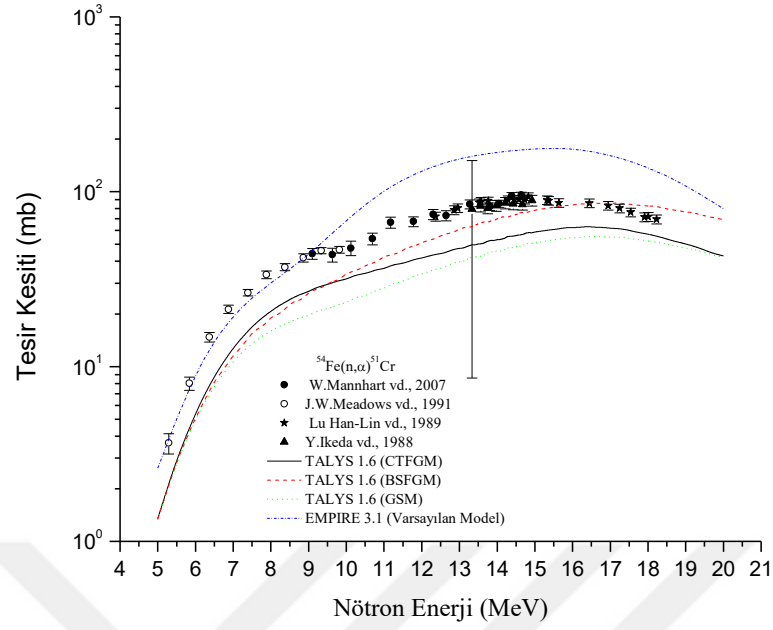
Şekil 5.41’de $^{54}\text{Fe}(\alpha,n)^{57}\text{Ni}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. İki Bileşenli Eksiton Modeli’ne göre hesap yapan üç seviye yoğunluğu modeli de deneysel verilerle uyumlu bulunmuştur. EMPIRE 3.1 hesaplamaları ise, 28 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum göstermiş bu değerden sonra uyumunu yitirmiştir.

$^{54}\text{Fe}(\alpha,2n)^{56}\text{Ni}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.42’de verilmiştir. EMPIRE 3.1 kodu hesaplamaları 28 MeV enerjisine kadar deney sonuçlarını yakalamış, bu enerji değerinden sonra yukarıdan takip etmiştir.

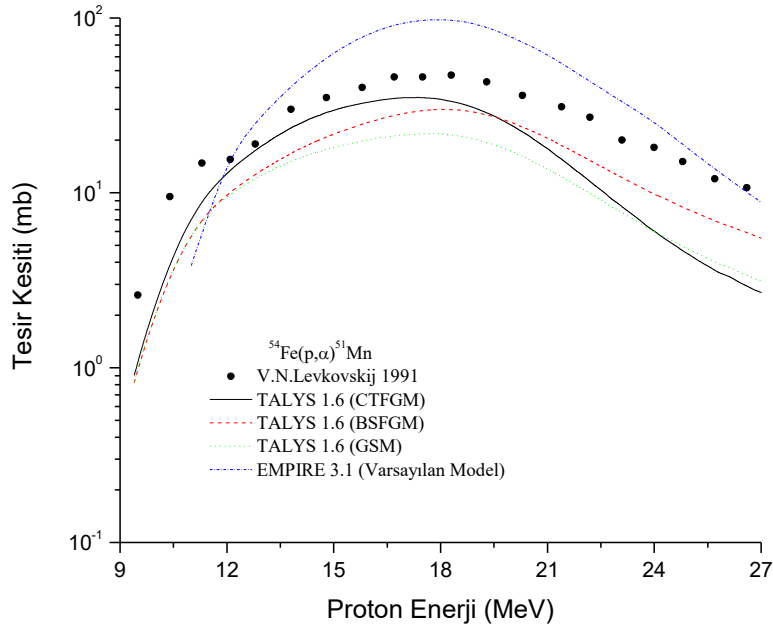
Şekil 5.43 incelendiğinde; TALYS 1.6 hesaplamalarının deney sonuçları ile uyum içinde oldukları gözlenmiştir. EMPIRE 3.1 hesaplamaları ise; 15 MeV enerjisine kadar sonuç vermemiş ancak, bu değerden sonra deney sonuçlarını yakalamıştır.



Şekil 5. 44. $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



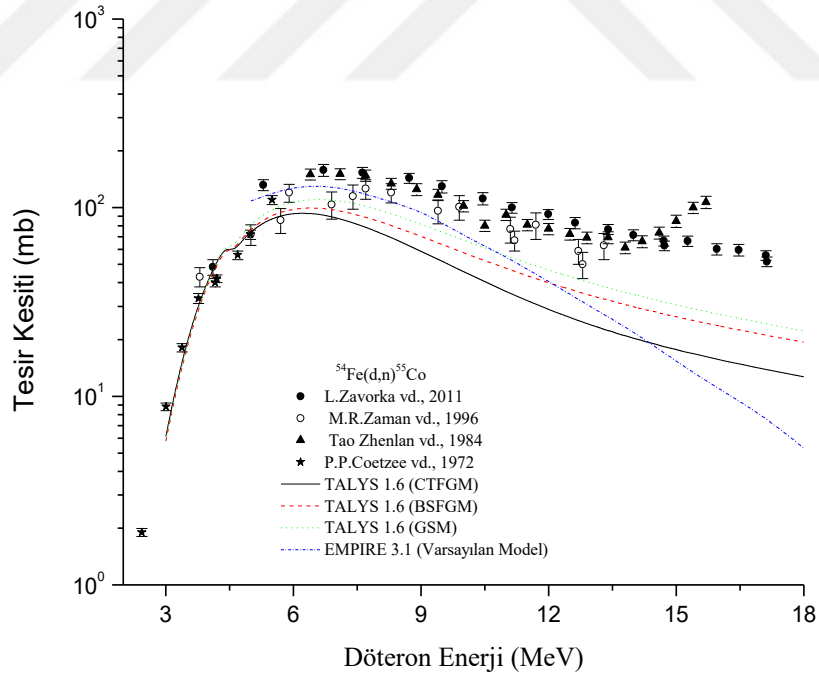
Şekil 5. 45. $^{54}\text{Fe}(n,\alpha)^{51}\text{Cr}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



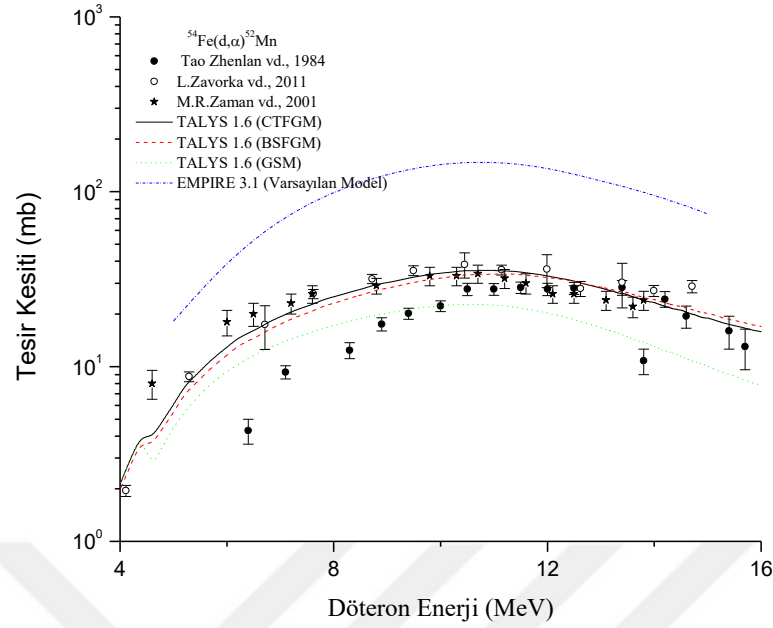
Şekil 5. 46. $^{54}\text{Fe}(p,\alpha)^{51}\text{Mn}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.44'de $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. TALYS 1.6 kodu kullanarak yapılan hesaplamalar, EXFOR verileri ile oldukça uyumlu bulunmuştur. EMPIRE 3.1 hesaplamaları ise; 6 MeV enerjisinden sonra deneysel verileri yukarıdan paralel olarak takip etmiştir.

$^{54}\text{Fe}(n,\alpha)^{51}\text{Cr}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.45'de, $^{54}\text{Fe}(p,\alpha)^{51}\text{Mn}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması ise Şekil 5.46'da verilmiştir. Analiz sonucunda; iki reaksiyon içinde bütün modellerin deneysel verilerle aynı geometriye sahip oldukları görülmüştür. TALYS hesaplamalarının literatürden alınan sonuçları aşağıdan takip ettiği, EMPIRE hesaplamalarının ise; (n, α) reaksiyonu için, 9 MeV enerjisine, (p, α) reaksiyonu için 12 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yakaladığı sonrasında ise yukarıdan takip ettiği gözlenmiştir.



Şekil 5. 47. $^{54}\text{Fe}(d,n)^{55}\text{Co}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 48. $^{54}\text{Fe}(d,\alpha)^{52}\text{Mn}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

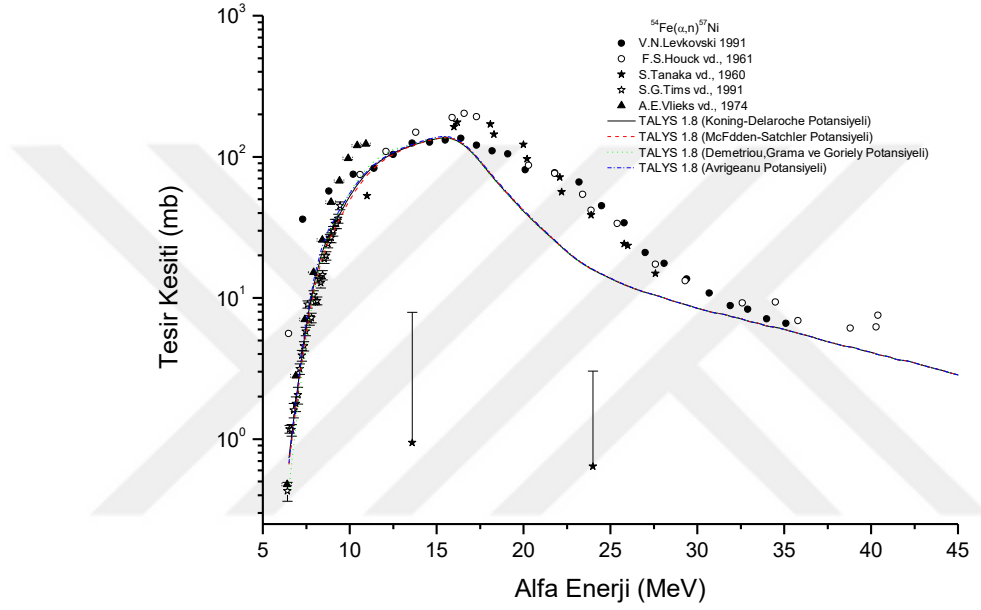
Şekil 5.47 incelendiğinde; TALYS 1.6 hesaplamalarının deneysel verileri 7 MeV enerji değerine kadar yakaladığı bu değerden sonra aşağıdan paralel olarak takip ettiği, EMPIRE 3.1 hesaplamalarının ise, deneysel verilerle 11 MeV enerjisine kadar uyum gösterdiği bu değerden sonra uyumunu yitirdiği gözlenmiştir.

$^{54}\text{Fe}(d,\alpha)^{52}\text{Mn}$ reaksiyonu için, seviye yoğunluğu modellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle analizi Şekil 5.48’de verilmiştir. EMPIRE 3.1 kodunun hesapladığı tesir kesiti değerlerinin deneysel verilerle aynı geometriye sahip oldukları ancak, onları yukarıdan takip ettikleri gözlenmiştir. TALYS 1.6 CTFGM hesaplamaları 10 MeV enerjisine kadar deney sonuçlarıyla uyum sağlamış, bu enerjiden sonra aşağıdan takip etmiştir. Diğer TALYS 1.6 kodu hesaplamaları deney sonuçlarıyla uyum içinde bulunmuştur.

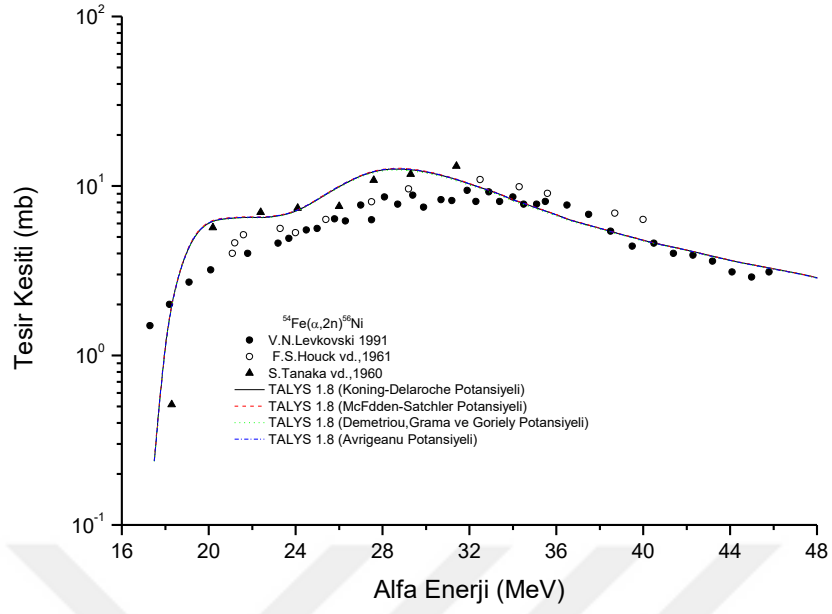
5.6. Alfa Optiksel Potansiyel Modellerine Bağlı Tesir Kesiti Hesaplamaları

Farklı alfa optiksel model potansiyelleri kullanılarak $^{54,56,57,58}\text{Fe}$ izotopları için hesaplanan (α,x) reaksiyon tesir kesiti değerlerinin, literatürden alınan verilerle

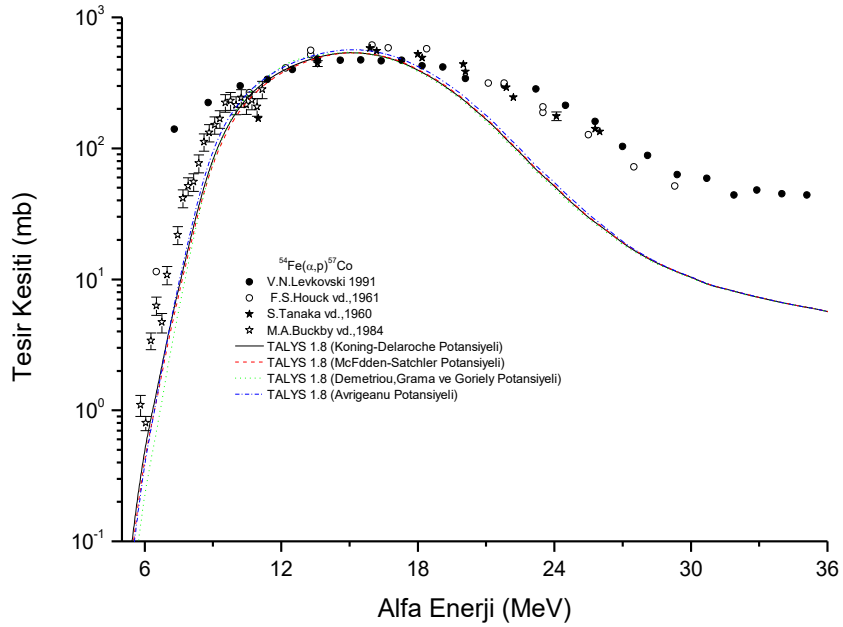
karşılaştırılması Şekil 5.49 – Şekil 5.62’ de verilmiştir. Hesaplamalar; İki Bileşenli Eksiton Modeli temel alınarak, TALYS 1.8 kodunda gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda; Watanabe düzeltmeli Koning Delaroche, Mc Fadden Satchler, Demetriou, Grama ve Goriely, Avrigeanu potansiyelleri kullanılmıştır. Kullanılan optiksel potansiyel modelleri birbirine çok yakın sonuçlar verdiklerinden dolayı, birbirlerine deneylerle uyum açısından birbirlerine üstünlükleri bulunamamıştır.



Şekil 5. 49. $^{54}\text{Fe}(\alpha,n)^{57}\text{Ni}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 50. $^{54}\text{Fe}(\alpha,2n)^{56}\text{Ni}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

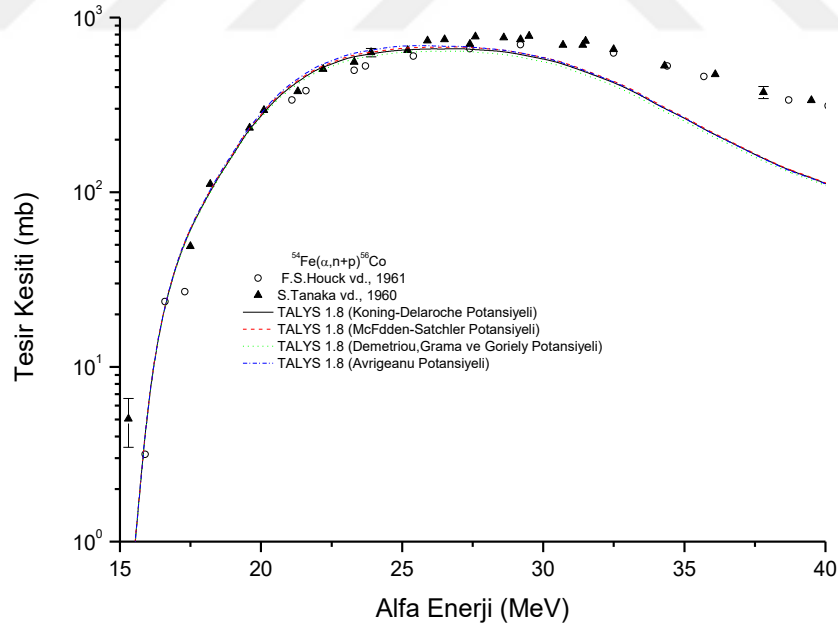


Şekil 5. 51. $^{54}\text{Fe}(\alpha,p)^{57}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

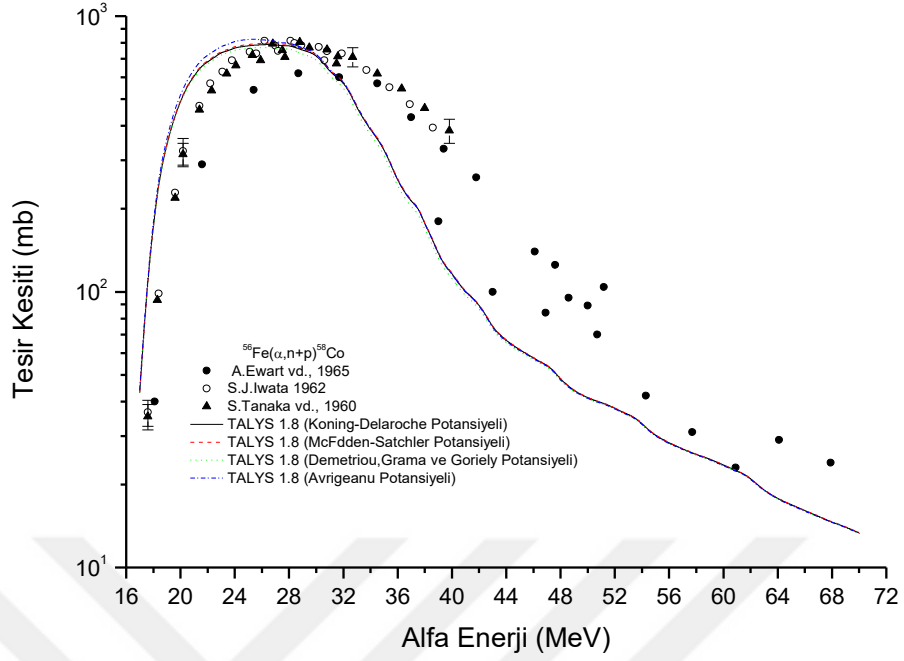
Şekil 5.49'da $^{54}\text{Fe}(\alpha, n)^{57}\text{Ni}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Hesaplama da kullanılan modellerin deneysel verilerle uyumlu oldukları gözlenmiştir. 17-32 MeV arası daha düşük değerler vermelerine rağmen; bu enerji aralığında deneysel verilerle benzer bir geometri sergilemişlerdir. Diğer enerji değerlerinde ise, deneysel verilere çok yakın sonuçlar verdikleri gözlenmiştir.

$^{54}\text{Fe}(\alpha, 2n)^{56}\text{Ni}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.50'de verilmiştir. Analiz sonucunda, kullanılan tüm optiksel model potansiyellerinin deneysel verilerle uyumlu oldukları saptanmıştır.

Şekil 5.51'de verilen optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan $^{54}\text{Fe}(\alpha, p)^{57}\text{Co}$ reaksiyon tesir kesiti değerleri; 20 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum göstermiştir. 20 MeV'den sonra deneysel verileri aşağıdan paralel olarak takip ettikleri gözlenmiştir.



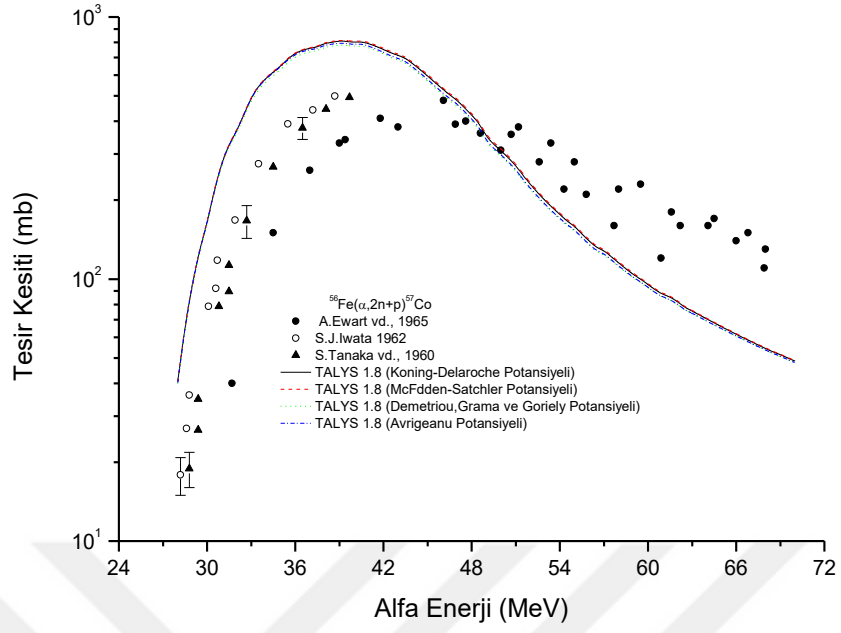
Şekil 5. 52. $^{54}\text{Fe}(\alpha, n+p)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



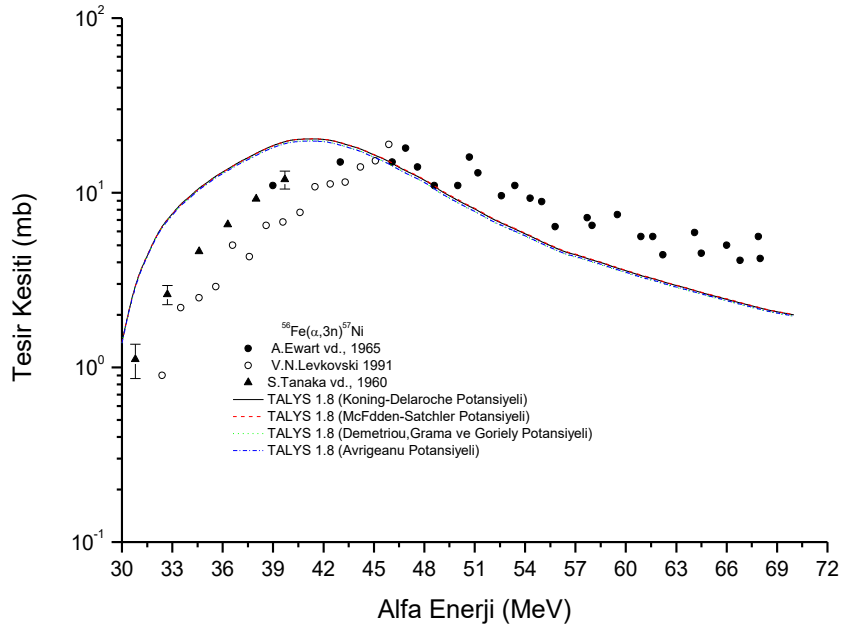
Şekil 5. 53. $^{56}\text{Fe}(\alpha,n+p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

$^{54}\text{Fe}(\alpha,n+p)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu için, farklı optiksel model potansiyelleri kullanılarak hesaplanan tesis kesiti değerlerinin deneysel verilerle analizi Şekil 5.52’de verilmiştir. Tüm modellerin; 28 MeV enerjisine kadar deney sonuçlarını yakaladıkları, bu enerji değerinden sonra ise deneysel verilerle benzer geometri sergiledikleri gözlenmiştir.

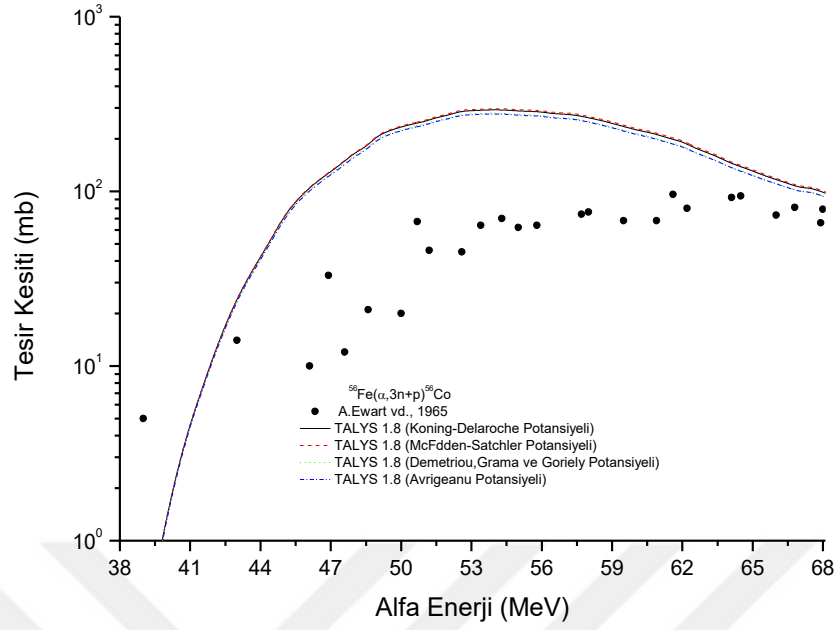
$^{56}\text{Fe}(\alpha,n+p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesiti değerlerinin EXFOR verileri ile karşılaştırılması, Şekil 5.53’de verilmiştir. 32 MeV enerjisine kadar hesaplanan değerlerin deneysel verileri yakaladıkları, 32 MeV üzerinde enerji değerlerinde ise deney verilerinden düşük değerler vermelerinde rağmen benzer bir yörünge izledikleri görülmüştür.



Şekil 5. 54. $^{56}\text{Fe}(\alpha,2n+p)^{57}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

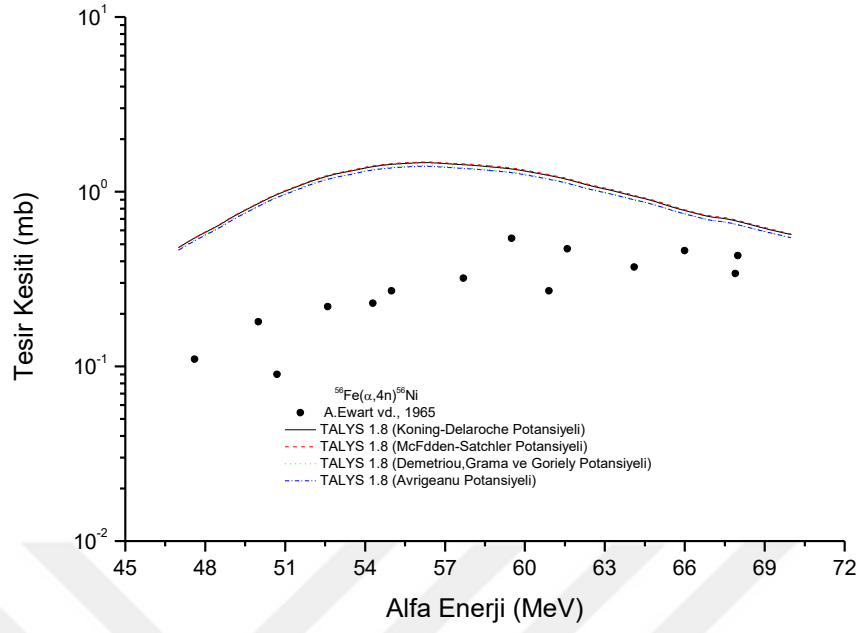


Şekil 5. 55. $^{56}\text{Fe}(\alpha,3n)^{57}\text{Ni}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

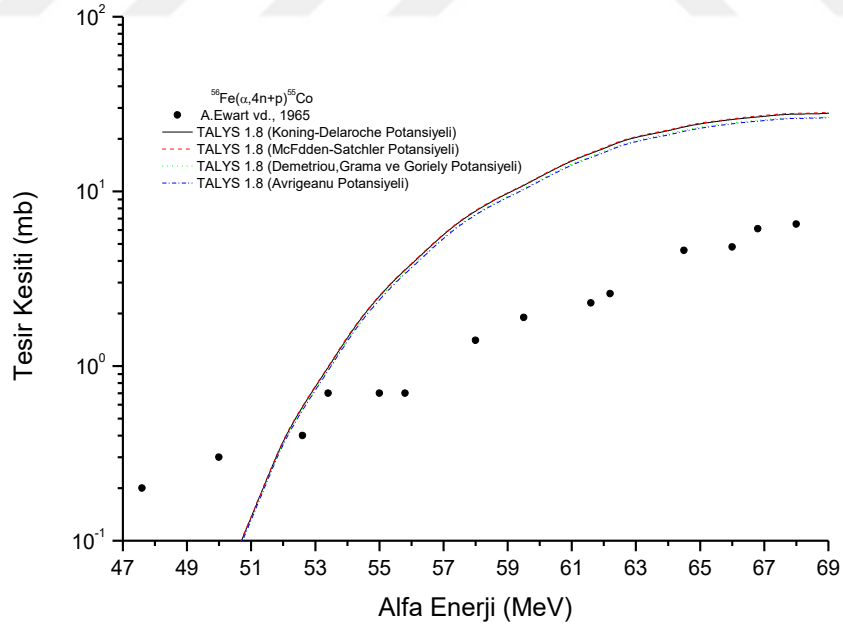


Şekil 5. 56. $^{56}\text{Fe}(\alpha,3n+p)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

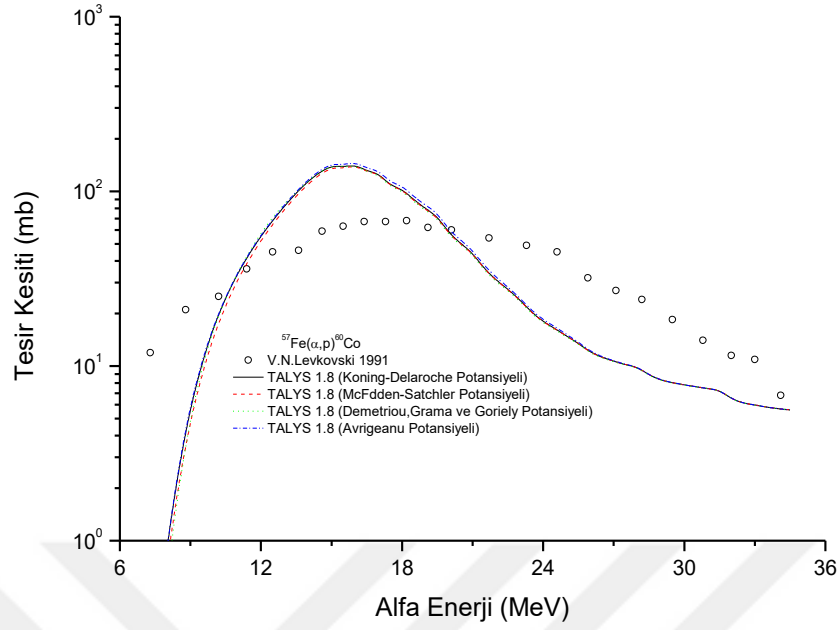
$^{56}\text{Fe}(\alpha,2n+p)^{57}\text{Co}$, $^{56}\text{Fe}(\alpha,3n)^{57}\text{Ni}$, $^{56}\text{Fe}(\alpha,3n+p)^{56}\text{Co}$ reaksiyonları için hesaplanan tesis kesiti değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması sırasıyla Şekil 5.54, Şekil 5.55 ve Şekil 5.56'da verilmiştir. Kullanılan optiksel model potansiyellerine bağlı olarak yapılan hesaplamaların, deneysel verilerle benzer bir geometri verdikleri gözlenmiştir. Hesaplamaların; $(2n+p)$ ve $(3n)$ çıkış kanalları için yaklaşık 45 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yukarıdan, 50 MeV enerjisinden sonra ise aşağıdan paralel olarak takip ettikleri gözlenmiştir. $(3n+p)$ çıkış kanalı için yapılan hesaplamalarda ise; kullanılan modellerin deneysel verilerden daha yüksek sonuçlar verdikleri görülmüştür.



Şekil 5. 57. $^{56}\text{Fe}(\alpha,4n)^{56}\text{Ni}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



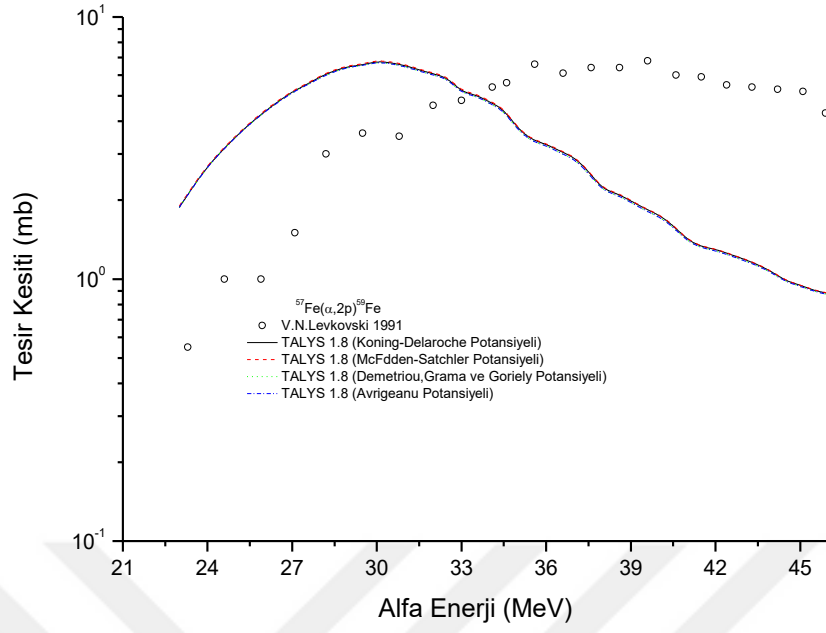
Şekil 5. 58. $^{56}\text{Fe}(\alpha,4n+p)^{55}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



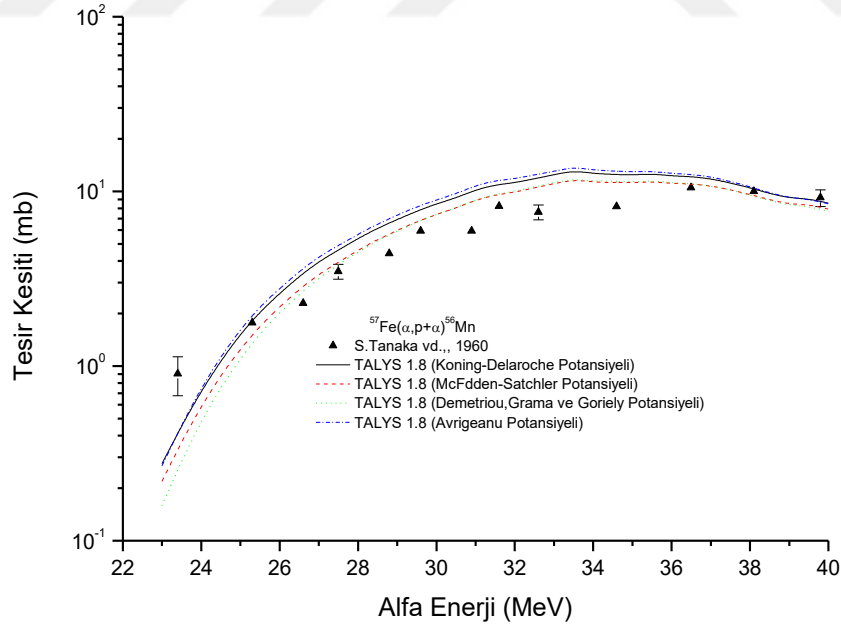
Şekil 5. 59. $^{57}\text{Fe}(\alpha, p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.57 ve Şekil 5.58’de, sırasıyla $^{56}\text{Fe}(\alpha, 4n)^{56}\text{Ni}$, $^{56}\text{Fe}(\alpha, 4n+p)^{55}\text{Co}$ reaksiyonları için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesis kesiti değerlerinin literatürden alınan verilerle karşılaştırılması bulunmaktadır. Analiz sonucunda, kullanılan modellerin deneysel verilerle benzer geometriye sahip oldukları, onları yukarıdan paralel olarak takip ettikleri saptanmıştır.

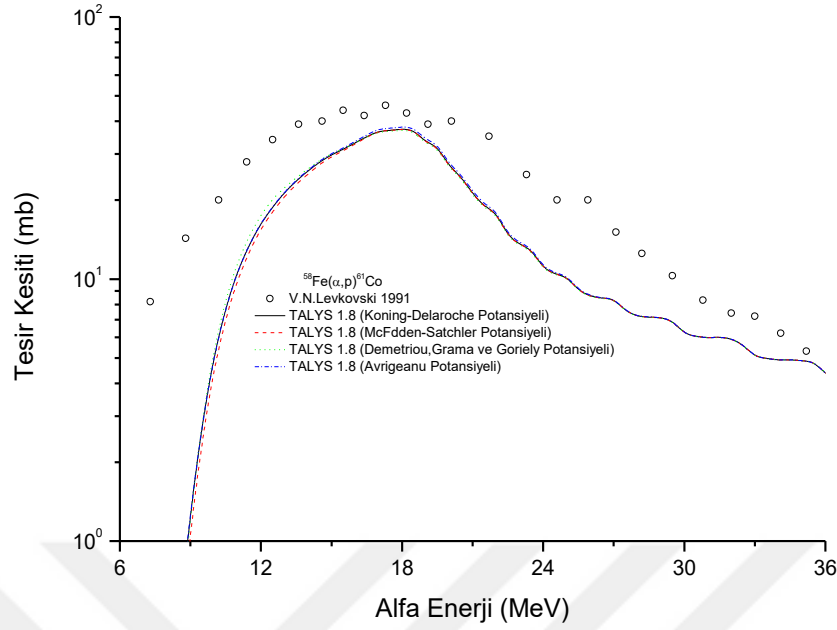
Şekil 5.59’da verilen $^{57}\text{Fe}(\alpha, p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesiti değerlerinin EXFOR verileri ile karşılaştırılması incelendiğinde; sonuçların deneysel verilere yakın bir geometri izledikleri ancak, daha dar bir maksimum verdikleri gözlenmiştir. Bu sonuçlar, Şekil 5.60’da verilen $^{57}\text{Fe}(\alpha, 2p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonu sonuçları ile beraber incelendiğinde, (2p) kanalının açılmış olması bu dar maksimumun sebebi olarak bulunmuştur. $^{57}\text{Fe}(\alpha, 2p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonu için hesaplanan sonuçların deneysel verileri açıklamakta başarısız oldukları gözlenmiştir.



Şekil 5. 60. $^{57}\text{Fe}(\alpha,2p)^{59}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 61. $^{57}\text{Fe}(\alpha,p+\alpha)^{56}\text{Mn}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



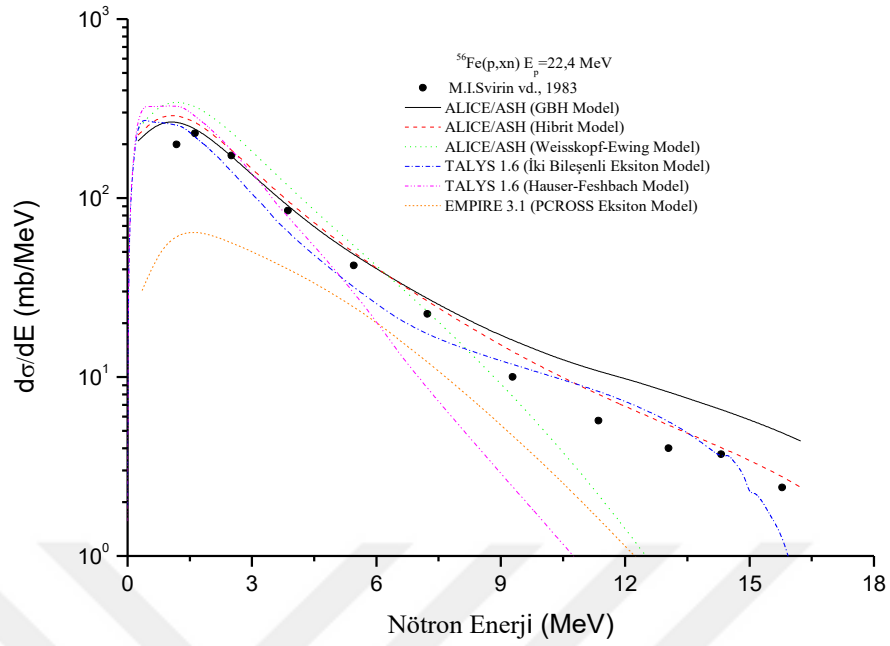
Şekil 5. 62. $^{58}\text{Fe}(\alpha,p)^{61}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

$^{57}\text{Fe}(\alpha,p+\alpha)^{60}\text{Co}$ reaksiyonu için, optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesiti değerlerinin literatürden alınan verilerle karşılaştırılması Şekil 5.61’de verilmiştir. Hesaplamaların deneysel verilerle uyum içinde oldukları görülmüştür.

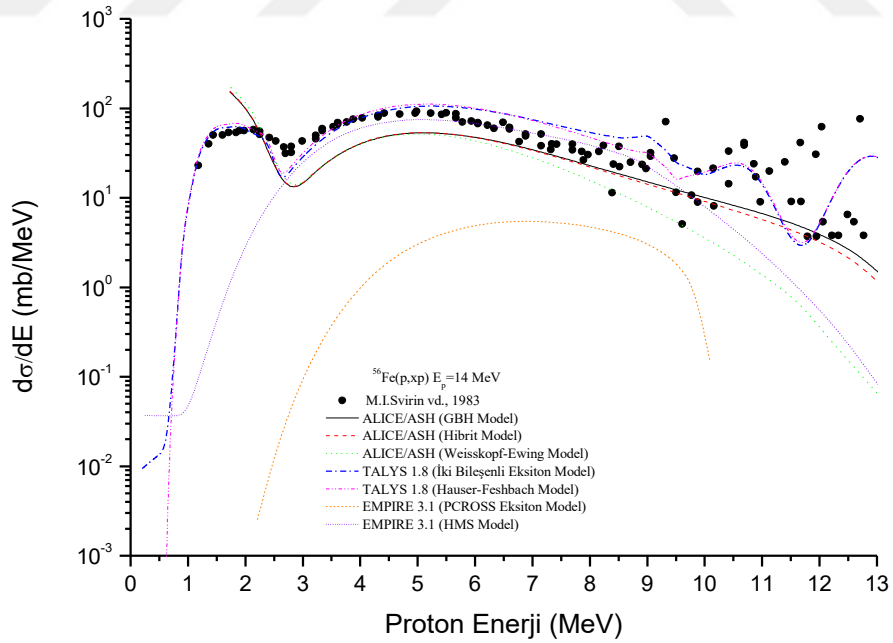
$^{58}\text{Fe}(\alpha,p)^{59}\text{Co}$ optiksel model potansiyellerine bağlı olarak hesaplanan tesir kesiti değerlerinin EXFOR verileriyle analizi Şekil 5.62’de verilmiştir. Hesaplamalarda, tesir kesiti değerlerinin enerji bağımlılıklarının; deneysel verilerle benzer bir doğa izledikleri, ancak onlardan düşük sonuçlar verdikleri gözlenmiştir.

5.7. Proton Girişli Reaksiyonlar İçin Yayınlanma Spektrumu Hesaplamaları

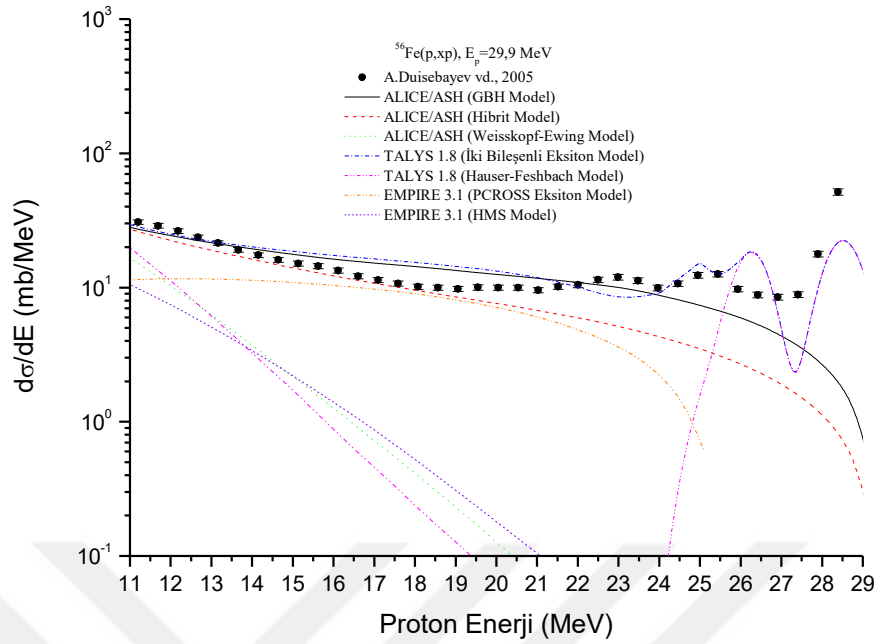
Tek enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe , $^{90,91,92,94}\text{Zr}$ ve ^{93}Nb izotoplarından yayınlanan parçacıkların nükleer modeller kullanılarak elde edilen enerji spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.63 ve Şekil 5.78 arasında verilmiştir. Hesaplamalarda; GBH, Hibrit, Weisskopf-Ewing, İki Bileşenli Eksiton, Hauser-Feshbach, PCROSS Eksiton ve HMS Modelleri kullanılmıştır.



Şekil 5. 63. 22,4 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 64. 14 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

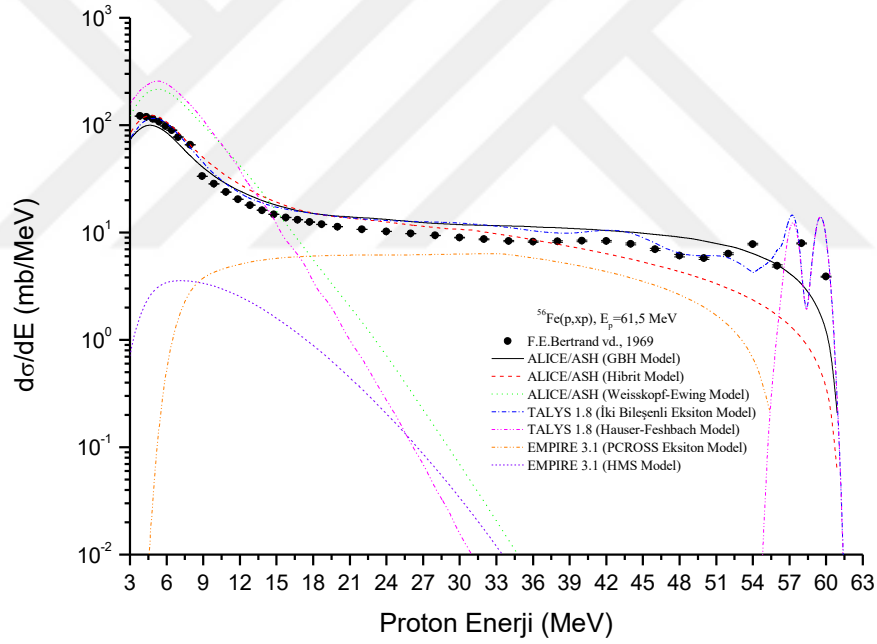


Şekil 5. 65. 29,9 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

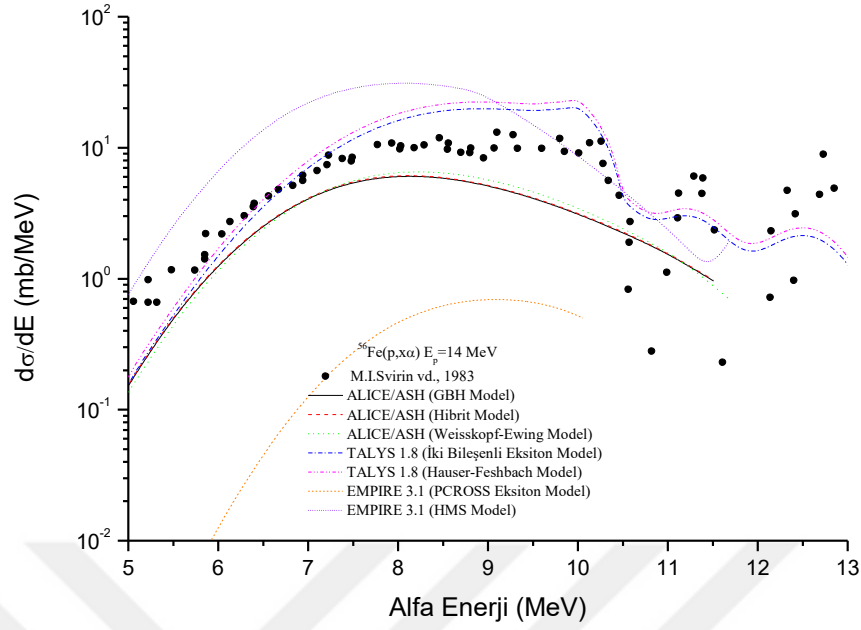
Şekil 5.63’de, 22,4 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması görülmektedir. Genel anlamda, denge-öncesi modelleri ile yapılan hesaplamaların deneysel verilerle uyum sağladıkları görülmektedir. GBH, Hibrit ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının deneysel verilerle uyum içerisinde oldukları görülmüştür. PCROSS Eksiton Model hesaplamaları deneysel verileri açıklamakta başarısız olmuştur. Denge bileşenine ait hesaplamalar analiz edildiğinde; Weisskopf-Ewing Model’in 9 MeV nötron yayınlanma enerjisine, Hauser-Feshbach Modelinin ise 5 MeV nötron yayınlanma enerjisine kadar deneysel uyum sağladıkları gözlenmiştir. Hibrit Model, en başarılı model olarak saptanmıştır.

14 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilerek oluşturulan $^{56}\text{Fe}(p, xp)$ reaksiyonu için yapılan hesaplama sonuçlarının literatürden alınan verilerle analizi Şekil 5.64’de verilmiştir. HMS Modeli’nin 2 MeV enerjisinden sonra deneysel verileri yakaladığı, PCROSS Eksiton Model’inin ise deneysel verilerden düşük sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Diğer tüm hesaplamalar deneysel verilerle uyumlu bulunmuştur.

^{56}Fe hedef çekirdeği için; 29,9 MeV protonlar kullanılarak oluşturulan (p,xp) reaksiyonu için elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.65’de verilmiştir. PCROSS Eksiton, Hauser-Feshbach ve Weisskopf-Ewing Model hesaplamalarının deneysel verileri açıklamada başarısız oldukları gözlenmiştir. HMS Model hesaplamaları; 16-19 MeV enerji aralığında deneysel verilerle uyum gösterirken, Hibrit Model ise 19 MeV proton yayınlanma enerjisine kadar deneysel verileri yakalamıştır. GBH ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının deneysel verilerle uyum içinde oldukları saptanmıştır. Deneysel verileri açıklamakta en başarılı modelin, İki Bileşenli Eksiton Model olduğu görülmüştür.



Şekil 5. 66. 61,5 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

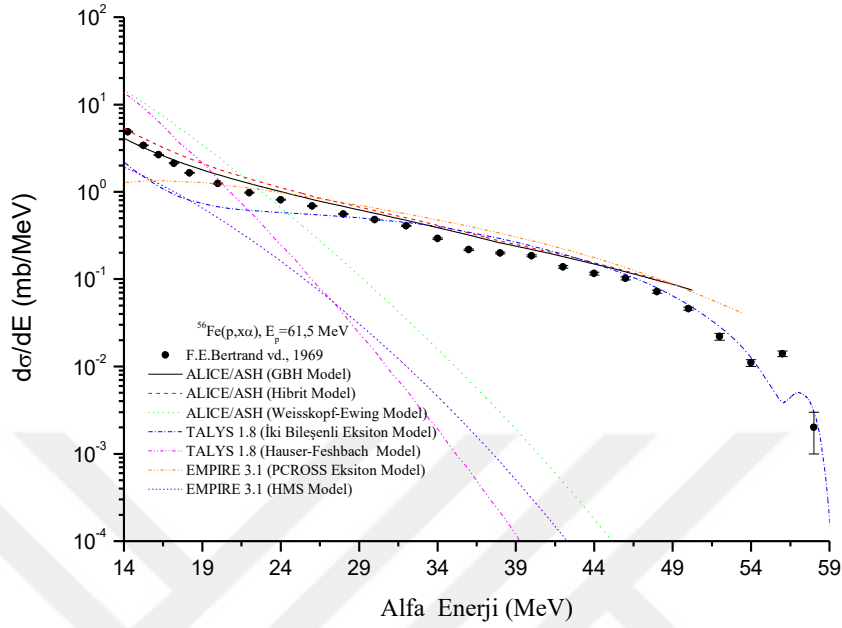


Şekil 5.67. 14 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen alfa yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

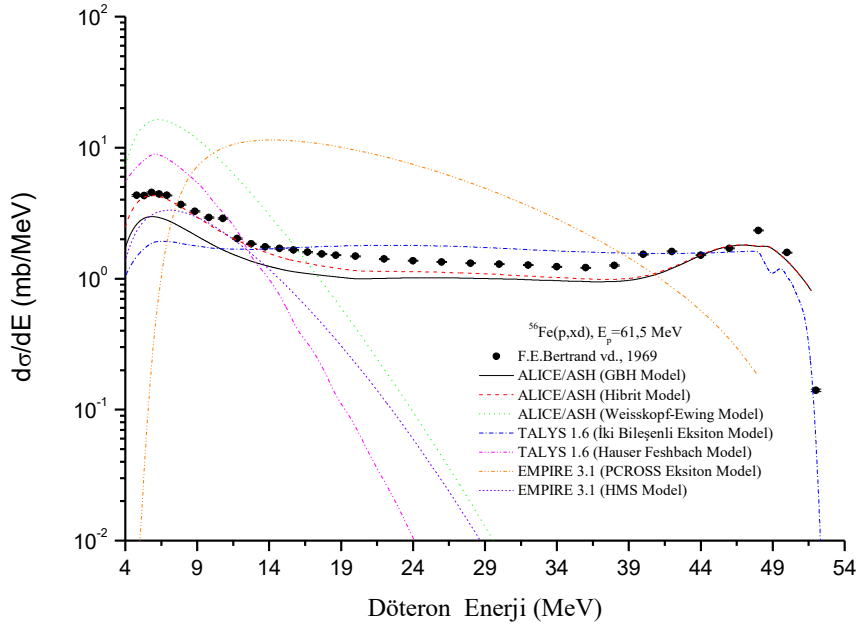
Şekil 5.66'da, 61,5 MeV'lik protonlarla oluşturulan $^{56}\text{Fe}(p, xp)$ için yapılan hesaplamaların EXFOR verileri ile karşılaştırılması verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda; HMS, Weisskopf-Ewing ve Hauser-Feshbach Model hesaplamalarının bazı deney değerlerinde deneysel verilerle uyuşsa da deneysel verileri açıklamakta başarısız oldukları saptanmıştır. PCROSS Eksiton Model deneysel verilere yakın bir geometri sergilemiştir. GBH, Hibrit ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamaları deneysel verilerle uyum sergilemişlerdir. İki Bileşenli Eksiton Model en başarılı model olarak bulunmuştur. Buna göre, reaksiyon sonucunda 60 MeV enerjisine kadar proton elde etmek mümkündür.

14 MeV enerjili protonlar ile bombardıman edilen ^{56}Fe için hesaplanan alfa yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.67'de verilmiştir. Tüm hesaplamaların deneysel verilerle aynı geometrik desene sahip oldukları ancak, PCROSS Eksiton Model hesaplamaların tüm enerji değerlerinde, ALICE/ASH kodu hesaplamalarının ise 10,5 MeV enerjisine kadar deneysel verileri aşağıdan takip ettikleri gözlenmiştir. HMS Model 9,5 MeV enerjisine kadar, EXFOR verilerinden yüksek değerler vermiştir. İki Bileşenli Eksiton ve Hauser-Feshbach

Model hesaplamalarının, deneysel verilerle uyumlu oldukları saptanmıştır. Bu reaksiyon sonucunda, 13 MeV enerjisine kadar alfa üretmek mümkündür.

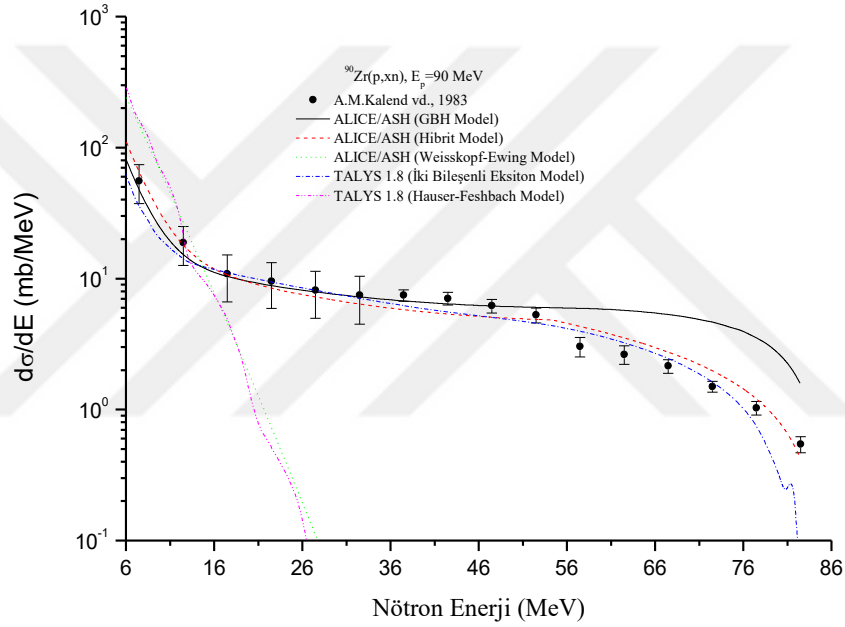


Şekil 5. 68. 61,5 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen alfa yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

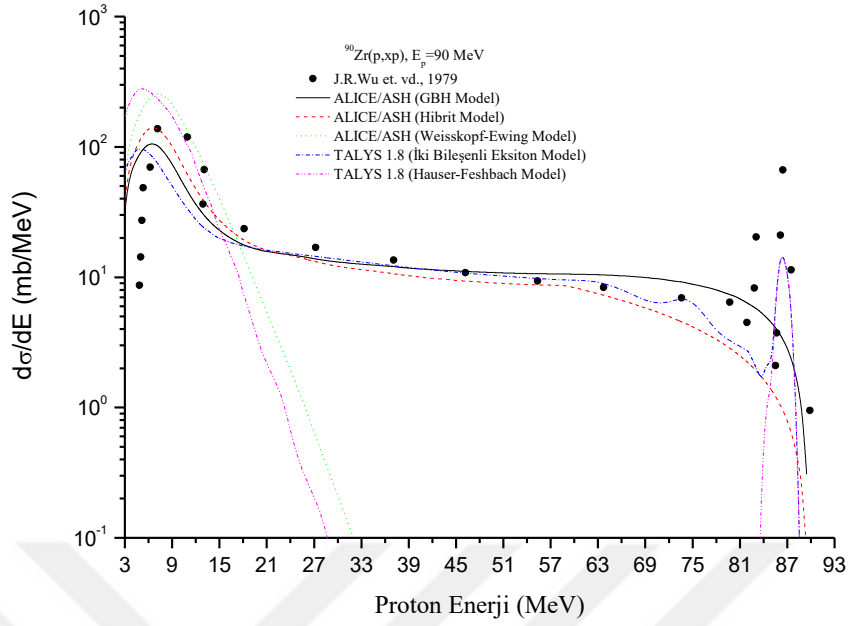


Şekil 5. 69. 61,5 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen döteron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.68 ve Şekil 5.69’da, 61,5 MeV enerjili protonlar ile bombardıman edilen ^{56}Fe çekirdeğinden saçılan alfa ve döteron enerji spektrumları için yapılan incelemenin deneysel verilerle analizi verilmiştir. Alfa spektrumu için; Weisskopf-Ewing, Hauser-Feshbach ve HMS Model hesaplamalarının genel olarak deneysel verilerle uyumsuz oldukları saptanmıştır. Diğer tüm modellerin deneysel verileri açıklayabildiği görülmüştür. Döteron spektrumu için, EMPIRE 3.1 ve denge-öncesi hesaplamalarının deney sonuçları ile uyumsuz olduğu, diğer modellerin ise deneysel verilere oldukça yakın sonuçlar verdikleri gözlenmiştir. İki reaksiyon içinde, İki Bileşenli Eksiton Model’in en başarılı model olduğu saptanmıştır.

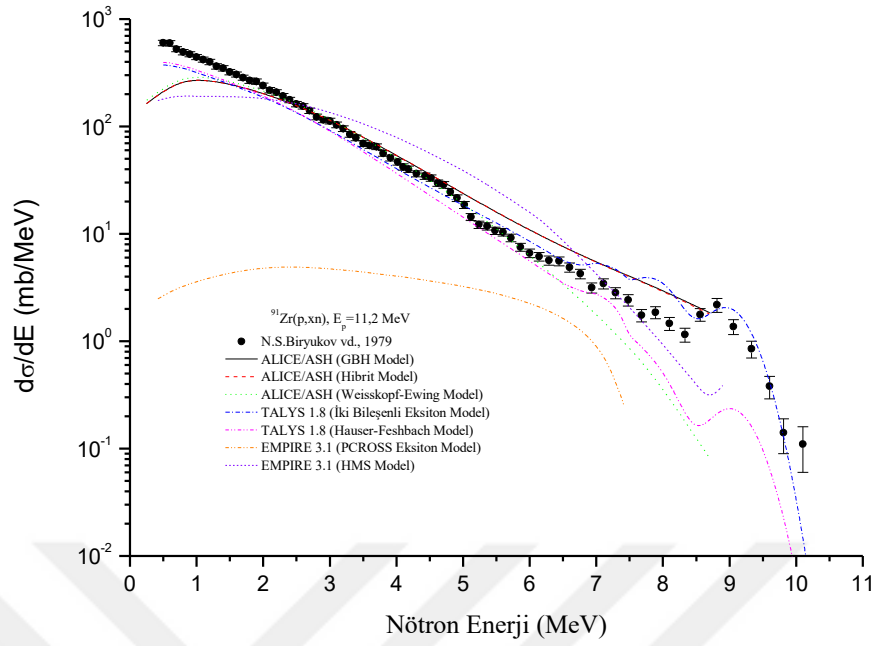


Şekil 5. 70. 90 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{90}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

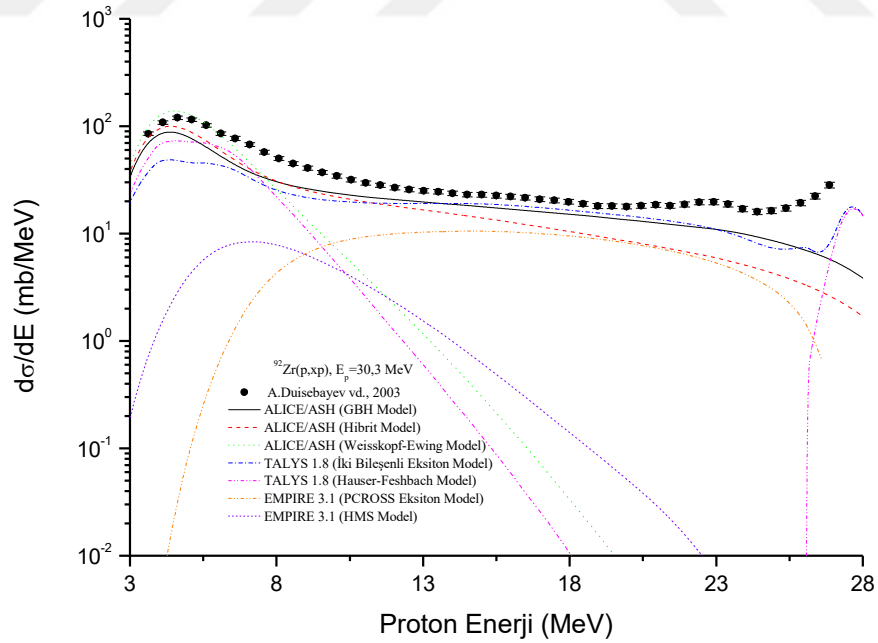


Şekil 5. 71. 90 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{90}Zr için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

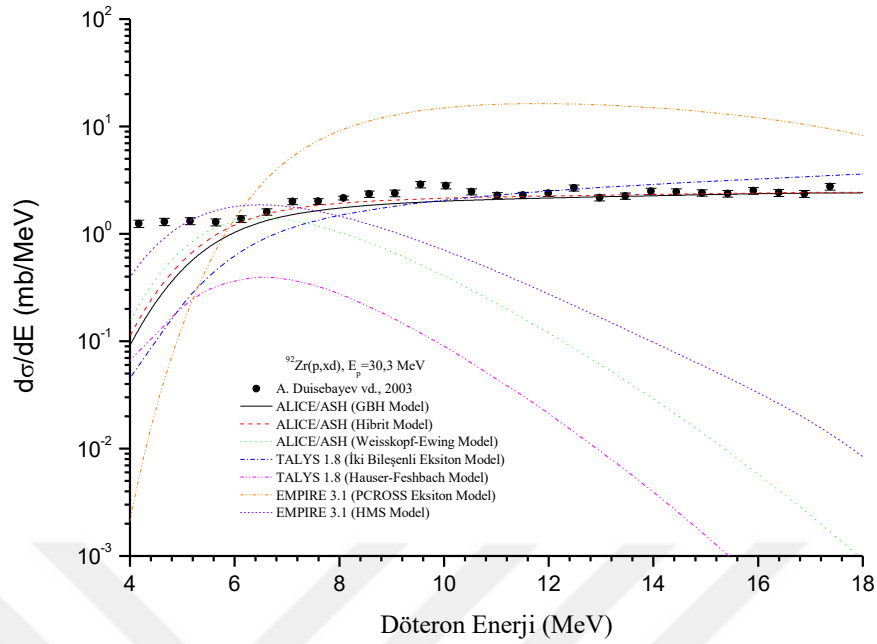
^{90}Zr hedef çekirdeğinin 90 MeV enerjili protonlar ile bombardımanı sonucunda oluşan, (p,xn) ve (p,xp) reaksiyonlarına ait hesaplamaların literatürden alınan verilerle analizi sırasıyla Şekil 5.70 ve Şekil 5.71’de verilmiştir. Her iki reaksiyon içinde, Hauser-Feshbach ve Weisskopf-Ewing Model hesaplamalarının 16 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum sergiledikleri sonra uyumlarını yitirdikleri gözlenmiştir. Proton spektrumu için, Hauser-Feshbach Model 85 MeV enerjisinden sonra tekrardan deneysel verileri yakalamıştır. İki Bileşenli Eksiton, GBH ve Hibrit Model hesaplamalarının deneysel verilerle uyum içerisinde oldukları gözlenmiştir.



Şekil 5. 72. 11,2 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{91}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 73. 30,3 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{92}Zr için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

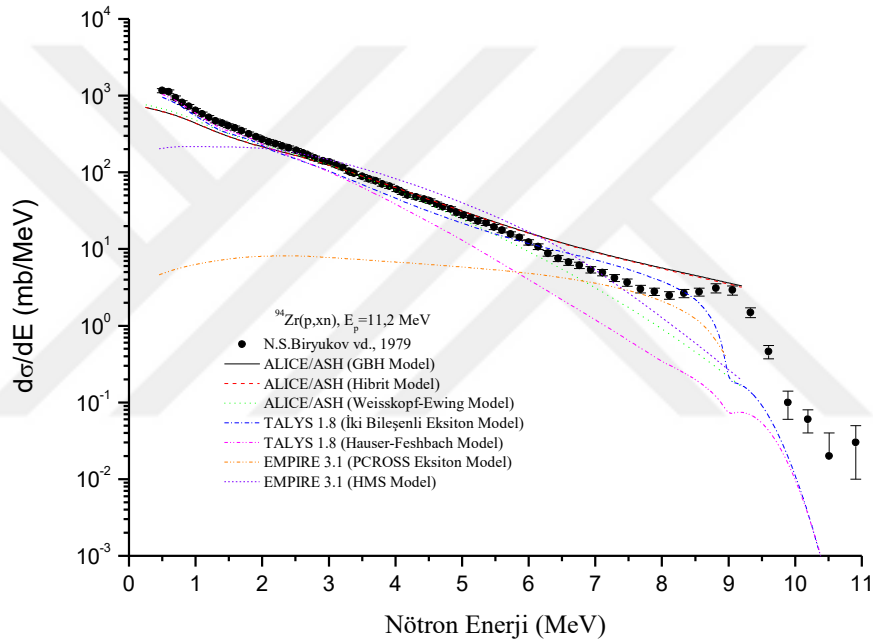


Şekil 5. 74. 30,3 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{92}Zr için, elde edilen döteron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

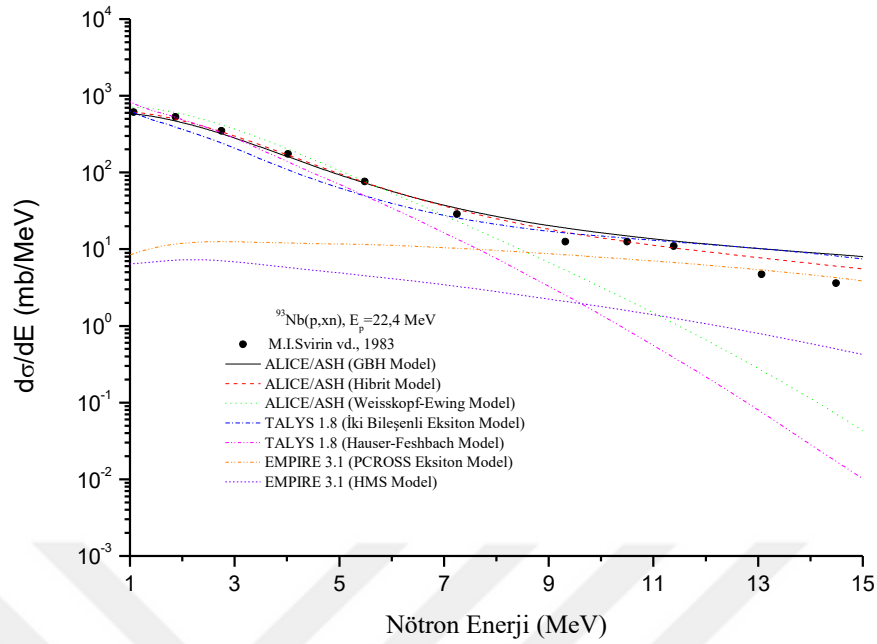
11,2 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{91}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması, Şekil 5.72’de gösterilmiştir. Genel olarak, PCROSS Eksiton Model dışındaki tüm modellerin deneysel verilerle uyum sergiledikleri söylenebilir. Weisskopf-Ewing Model 6 MeV, Hauser-Feshbach Model 7 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yakalamış, bu değerden sonra aşağıdan paralel olarak takip etmişlerdir. HMS Model, 3-7 MeV arasında deneysel verilerden yüksek değerler vermiştir. İki Bileşenli Eksiton, Hibrit ve GBH Model hesaplamalarının, deney sonuçları ile uyum içerisinde oldukları gözlenmiştir. İki Bileşenli Eksiton Model’in deneysel verileri açıklamakta en başarılı model olduğu saptanmıştır. Bu modelin hesaplamalarına göre, reaksiyon sonrasında 0.5-10 MeV enerji aralığında nötron elde etmek mümkündür.

^{92}Zr hedef çekirdeğinin 30,3 MeV enerjili protonlar ile bombardımanı sonucunda oluşan, (p,xp) ve (p,xd) reaksiyonlarına ait hesaplamaların literatürden alınan verilerle analizi sırasıyla Şekil 5.73 ve Şekil 5.74’de verilmiştir. Proton spektrumu için, denge modellerin 8 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum sergiledikleri sonra uyumlarını yitirdikleri gözlenmiştir. HMS Model hesaplamalarının deneysel verileri açıklamakta başarısız oldukları, PCROSS Eksiton Model hesaplamalarının ise deneysel

verileri aşağıdan paralel olarak takip ettikleri görülmüştür. Diğer modellerin, deneysel sonuçlara yakın değerler verdikleri ve benzer geometrik desen sergiledikleri gözlemlenmiştir. Döteron spektrumu için yapılan analiz sonucunda; her ne kadar Weisskopf-Ewing Model 6-7 MeV enerji aralığında deneysel verileri yakalasa da, reaksiyon denge bileşenine ait hesaplamaların deneysel verileri açıklamakta başarısız oldukları saptanmıştır. Aynı şekilde, HMS Model de 5-8 MeV aralığında deneysel verilere yakın sonuçlar vermiş sonra uyumunu yitirmiştir. Denge-öncesi modellerin deneysel verilerle aynı geometriye sahip oldukları görülmüş, Hibrit ve GBH Modellerinin deneysel verilerle en uyumlu modeller oldukları saptanmıştır.



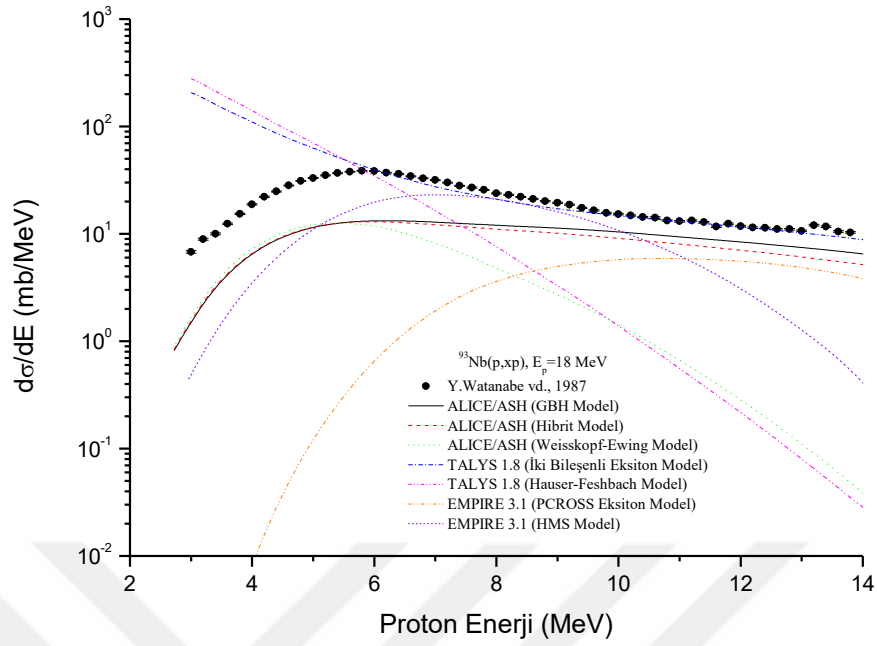
Şekil 5. 75. 11,2 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{94}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



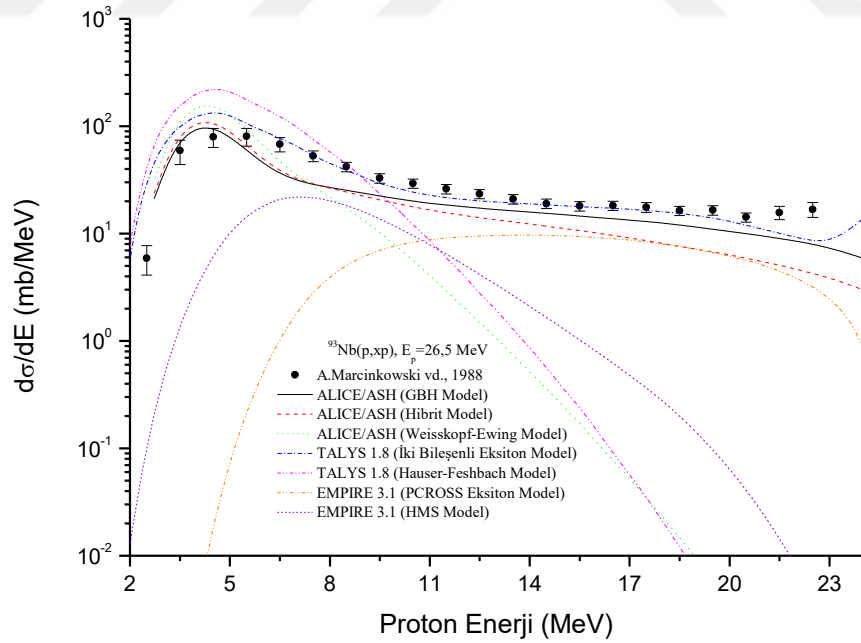
Şekil 5. 76. 22,4 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.75’de, 11,2 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{94}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Analiz sonucunda; PCROSS Eksiton Model dışındaki tüm modellerin, deneysel verilerle benzer geometrik desen verdikleri gözlenmiştir. Hauser-Feshbach Model 4 MeV, Weisskopf-Ewing Model ise 6,5 MeV enerjisinden sonra deneysel verileri aşağıdan takip etmişlerdir. Denge-öncesi model hesaplamaları olan; GBH, Hibrit ve İki Bileşenli Eksiton Modelleri deneysel verilerle uyum içerisinde bulunmuş, İki Bileşenli Eksiton Model’in deneysel verileri açıklamakta en başarılı model olduğu saptanmıştır.

22,4 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.76’de verilmiştir. Weisskopf-Ewing Model 7 MeV, Hauser-Feshbach Model ise 5 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum sağlamıştır. HMS Model hesaplamalarının deneysel verileri aşağıdan paralel olarak takip ettikleri gözlenmiştir. PCROSS Eksiton Model sadece, 13-15 MeV enerji değerlerinde deneysel verilerle aynı sonuçları vermiştir. GBH, Hibrit ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının, deneysel verileri açıklamada oldukça başarılı oldukları görülmüştür.



Şekil 5. 77. 18 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



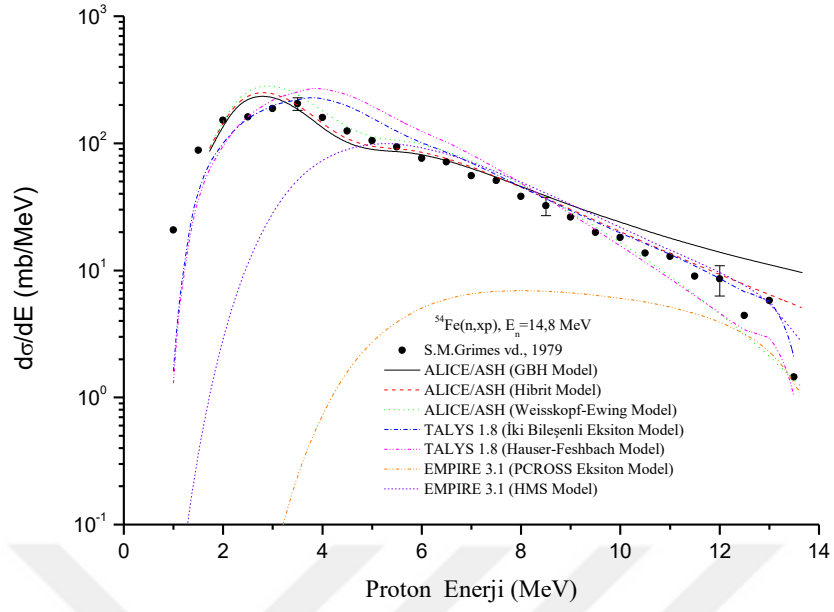
Şekil 5. 78. 26,5 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.77’de; 18 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Hauser-Feshbach ve Weisskopf-Ewing Model dışındaki diğer tüm modellerin deneysel verilerle benzer geometrik desene sahip oldukları gözlenmiştir. İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının, 6 MeV enerji değerinden sonra tüm deneysel verileri yakaladığı görülmüştür. Bu modelin, deneysel verileri açıklamakta en başarılı model olduğu saptanmıştır.

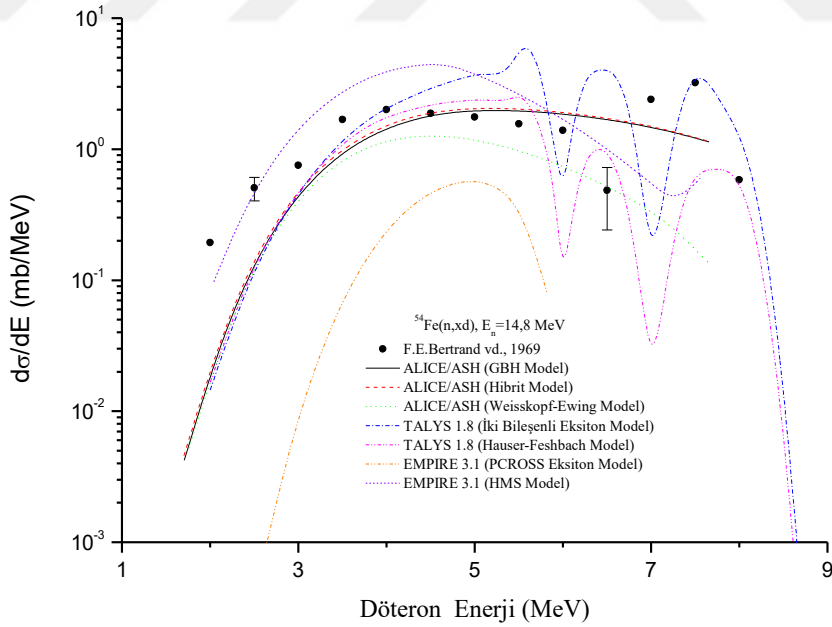
26,5 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.78’de görülmektedir. Weisskopf-Ewing Model hesaplamalarının 5 MeV, Hauser-Feshbach Model hesaplamalarının ise 8 MeV enerji değerinden sonra deneysel verilerden uzaklaştıkları görülmüştür. EMPIRE 3.1 kodu hesaplamaları olan; HMS Model deneysel verilerle uyum sağlamamış, PCROSS Eksiton Model ise deneysel verilerden düşük değerler vermesine rağmen deney sonuçlarını paralel olarak takip etmiştir. GBH ve Hibrit Model deneysel verilere çok yakın sonuçlar vermiştir. İki Bileşenli Eksiton Model, 20 MeV enerjisine kadar deneysel verileri her noktada yakalamıştır.

5.8. Nötron Girişli Reaksiyonlar İçin Yayınlanma Spektrumu Hesaplamaları

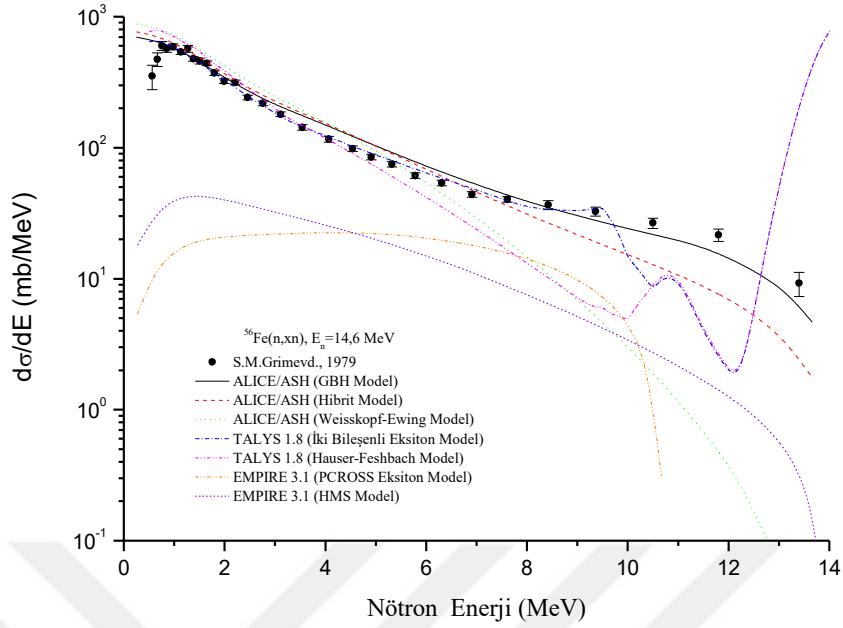
Nötron ile bombardıman edilen $^{54,56}\text{Fe}$ ve ^{93}Nb izotoplarından yayınlanan parçacıkların enerji spektrumları, Şekil 5.79 - Şekil 5.91’de verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda, ALICE/ASH kodu için; GBH, Hibrit, Weisskopf-Ewing, EMPIRE 3.1 kodu için; PCROSS Eksiton ve HMS, TALYS 1.8 kodu için; Hauser-Feshbach ve İki Bileşenli Eksiton Modelleri kullanılmıştır.



Şekil 5. 79. 14,8 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{54}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 80. 14,8 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{54}Fe için, elde edilen döteron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



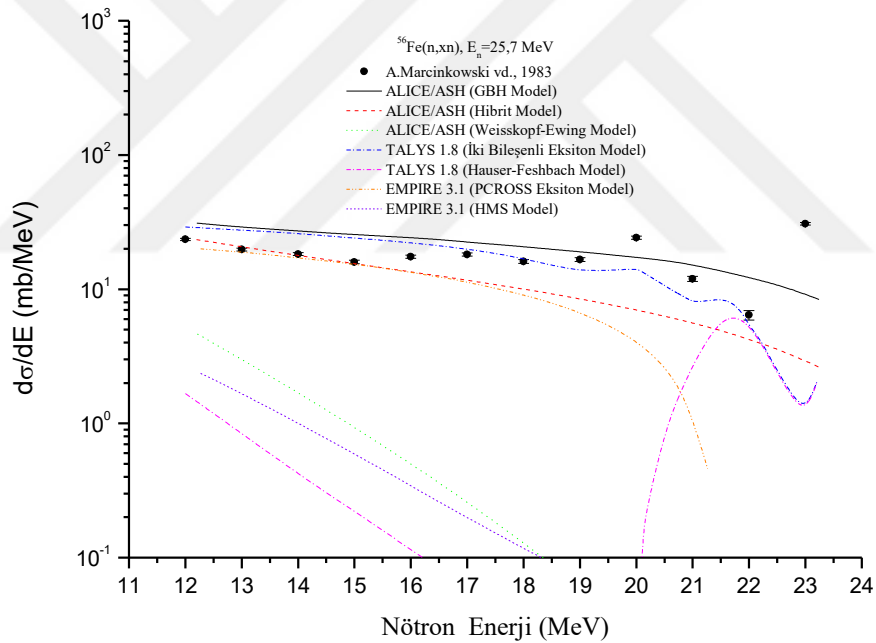
Şekil 5. 81. 14,6 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

14,8 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{54}Fe için elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.79'da verilmiş ve tüm modeller deneysel verilerle aynı geometrik desene sahip bulunmuştur. PCROSS Eksiton Model hesaplamaları, deneysel verileri aşağıdan paralel olarak takip etmiştir. HMS Model ise, 5 MeV enerjisine kadar deneysel verileri aşağıdan paralel takip etmiş, bu enerji değerinden sonra deneysel verileri yakalamışlardır. Diğer tüm modellerin deneysel verilerle uyum içerisinde oldukları gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre, reaksiyon sonucunda 1-13,5 MeV arasında proton üretilebileceği saptanmıştır.

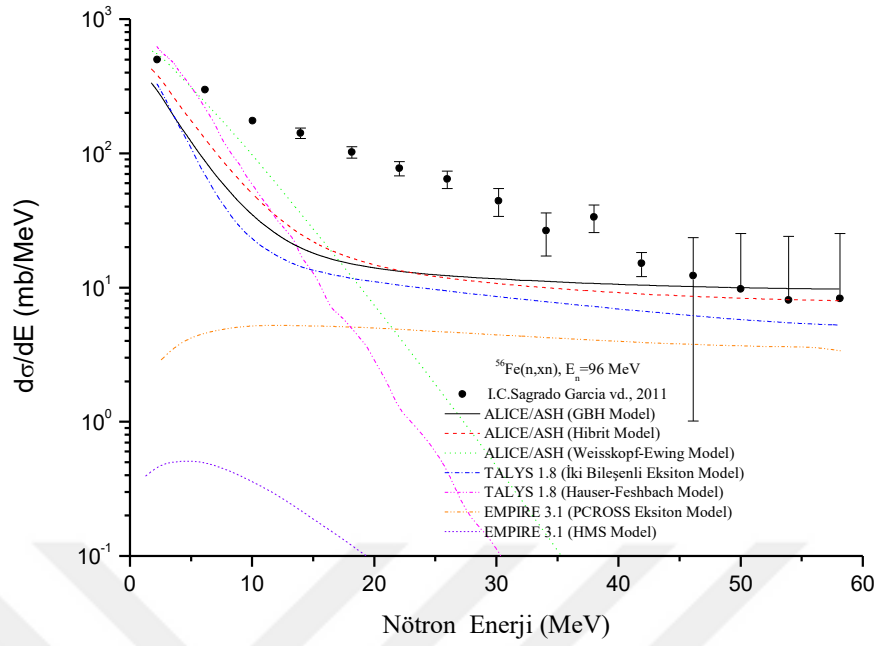
Şekil 5.80'de, 14,8 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{54}Fe için, elde edilen döteron yayınlanma spektrumlarının, EXFOR'dan alınan verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Analiz sonucunda PCROSS Eksiton Model hesaplamalarının; 5 MeV döteron yayınlanma enerjisine kadar deneysel verileri aşağıdan paralel olarak takip ettikleri, bu enerjiden sonra ise geometrik uyumu yitirdikleri gözlenmiştir. Diğer modeller için yapılan hesaplamaları neticesinde, TALYS kodu hesaplamalarının deneysel verilerle yaklaşık 5 MeV enerjisine kadar paralellik sergiledikleri ancak bu değerden sonra deformasyon parametrelerinden kaynaklandığı düşünülen üç pik verdikleri görülmüştür. Weisskopf-Ewing Model; deneysel verilerle benzer bir

geometrik desen ortaya koymuş, ancak daha düşük sonuçlar vermiştir. Diğer modeller ise 6 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle geometrik olarak uyum göstermişlerdir.

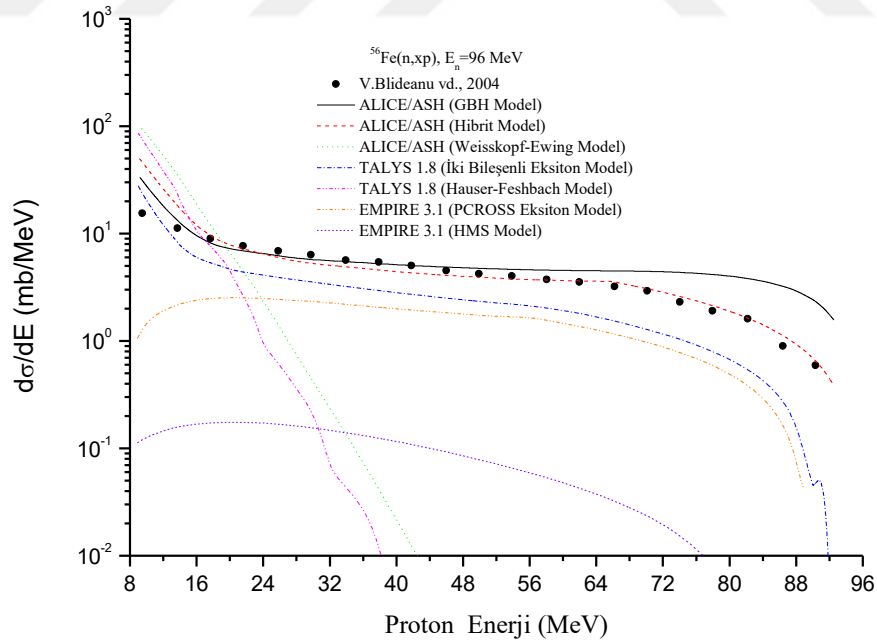
^{56}Fe için izotopunun 14,6 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilmesi sonrasında oluşan nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.81’de verilmiştir. HMS Model hesaplamalarının, deneysel verileri aşağıdan paralel olarak takip ettikleri, PCROSS Eksiton Model hesaplamalarının ise deneysel verilerle uyum göstermedikleri gözlenmiştir. Hauser-Feshbach Model hesaplamalarının 4 MeV, Weisskopf Ewing Model hesaplamalarının 6 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle örtüştüğü görülmüştür. Hibrit Model’in 8 MeV, İki Bileşenli Eksiton Model’in 10 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum içerisinde oldukları gözlenmiştir



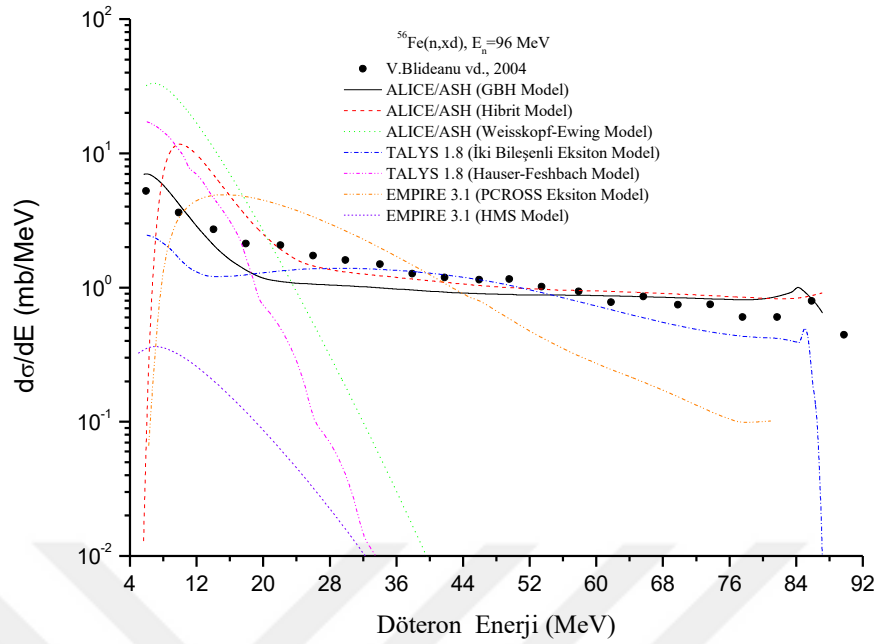
Şekil 5. 82. 25,7 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 83. 96 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 84. 96 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

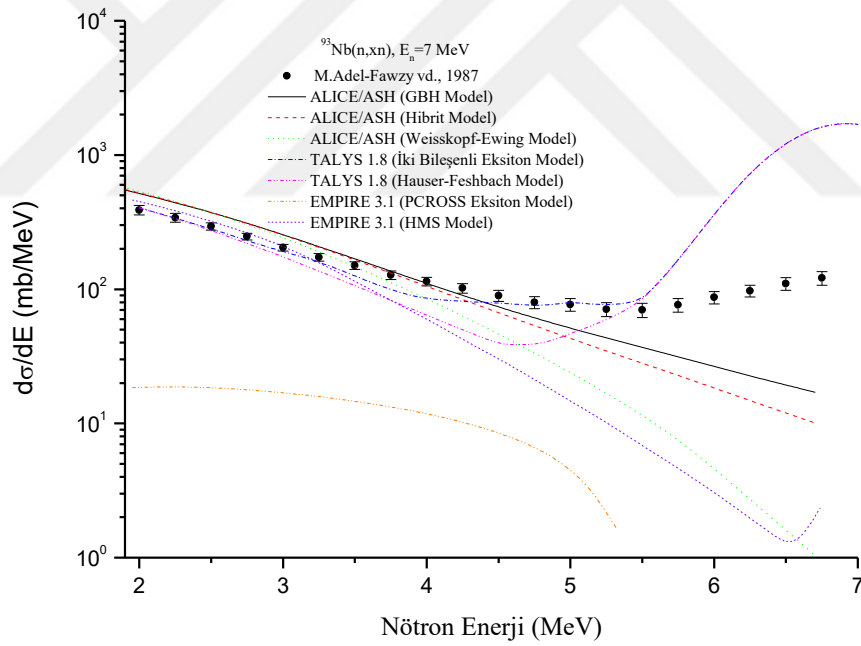


Şekil 5. 85. 96 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen döteron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

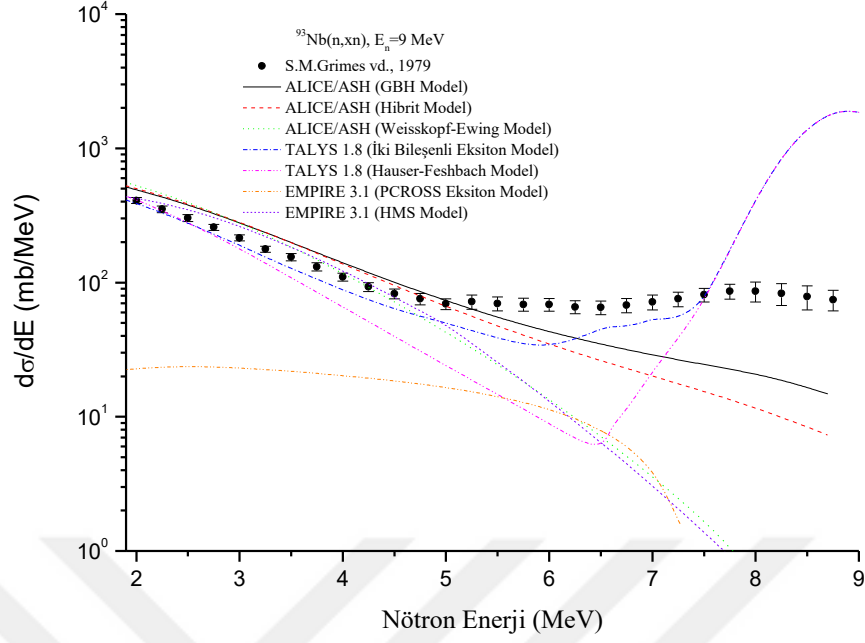
Şekil 5.82’de, 25,7 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının literatürden alınan verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Hauser-Feshbach, Weisskopf-Ewing ve HMS Model hesaplamalarının deneysel verileri açıklamakta başarısız oldukları gözlenmiştir. PCROSS Eksiton ve Hibrit Model hesaplamaları 15 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle benzerlik göstermiş bu değerden sonra; PCROSS Eksiton Model deneysel veriler uyumunu yitirirken Hibrit Model aşağıdan paralel olarak takip etmiştir. GBH ve İki Bileşenli Eksiton Model birbirlerine ve deneysel verilere yakın sonuçlar vermiştir. İki Bileşenli Eksiton Model’in deney sonuçlarının geometrisine en yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

96 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron, proton ve döteron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması sırasıyla Şekil 5.83, Şekil 5.84 ve Şekil 5.85’de verilmiştir. Proton enerji spektrumu için, reaksiyonun denge bileşenine ait hesaplamalar hariç tüm modellerin deneysel verilerle benzer geometrik desen sergiledikleri görülmektedir. Bunlardan, İki Bileşenli Eksiton, PCROSS Eksiton ve HMS Model hesaplamaları deneysel verileri aşağıdan paralel olarak takip etmiştir. GBH ve Hibrit Model hesaplamalarının deneysel verilerle

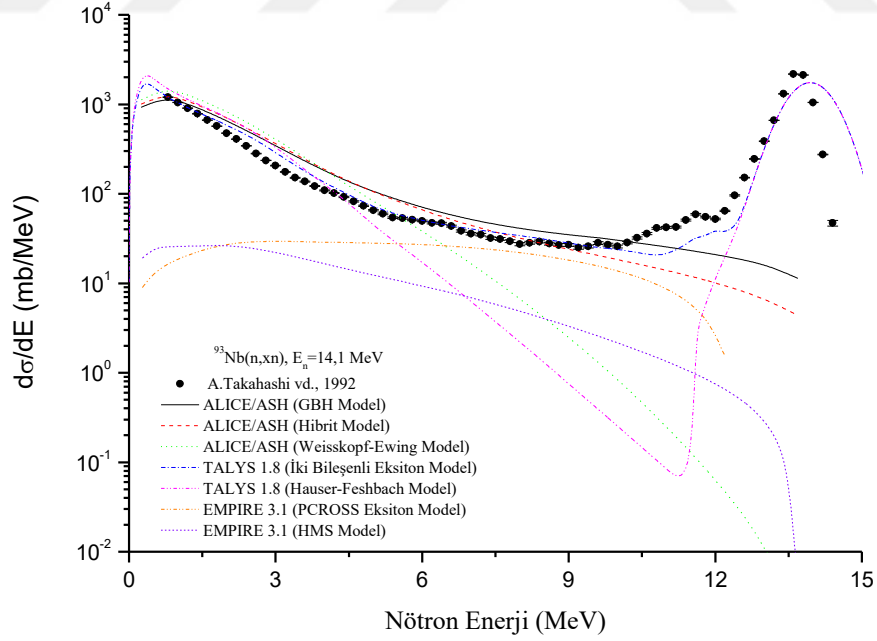
oldukça uyumlu oldukları, Hibrit Model'inin deneysel verileri açıklamakta en başarılı model olduğu saptanmıştır. Döteron spektrumu için yapılan analiz sonucunda; Weisskopf-Ewing, HMS ve Hauser-Feshbach Model hesaplamalarının deneysel verileri açıklamakta başarısız oldukları saptanmıştır. PCROSS Eksiton Model, 44 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yukarıdan, bu enerji değerinden sonra aşağıdan takip etmiştir. GBH, Hibrit ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının deneysel verilerle uyum içerisinde oldukları gözlemlenmiştir. Nötron spektrumu için, Weisskopf-Ewing, Hauser-Feshbach ve HMS Modelleri kullanılarak elde edilen sonuçlar deneysel verilerle uyum göstermemiştir. Diğer modeller genel olarak deneysel verileri aşağıdan paralel takip etmiştir. GBH ve Hibrit Model hesaplamaları, 45 MeV nötron yayınlanma enerjisinden sonra deneysel verileri yakalamıştır.



Şekil 5. 86. 7 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



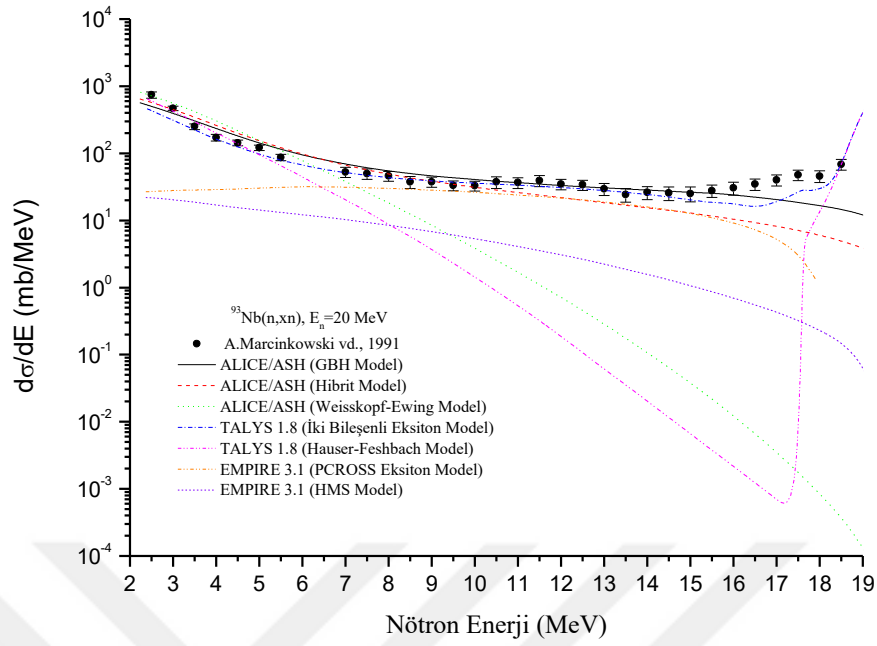
Şekil 5. 87. 9 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



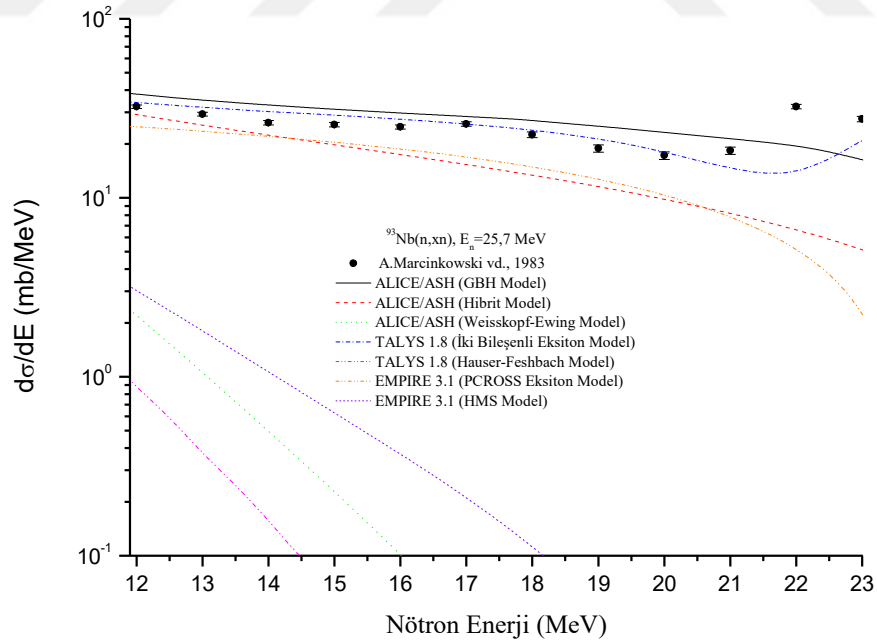
Şekil 5. 88. 14,1 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

7 MeV ve 9 MeV enerjili nötronlarla bombardıman sonucunda oluşan $^{93}\text{Nb}(n,xn)$ reaksiyonu için nükleer modeller yardımıyla hesaplanan değerlerin, EXFOR verileriyle kıyaslanması sırasıyla Şekil 5.86 ve Şekil 5.87’de verilmiştir. Her iki reaksiyon içinde, PCROSS Eksiton Model hesaplamalarının uyum sağlamadıkları görülmüştür. Hauser-Feshbach hesaplamalarının 4 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle benzerlik gösterse de, bu değerden sonra deneysel verileri açıklamakta başarısız oldukları görülmüştür. HMS Model hesaplamaları; 7 MeV enerjili nötron kullanılarak gerçekleştirilen reaksiyon için 3 MeV, 9 MeV enerjili nötron kullanılarak gerçekleştirilen reaksiyon için ise yaklaşık 5 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum göstermiştir. ALICE/ASH kodu denge-öncesi hesaplamaları yaklaşık 5 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle örtüşmüş bu değerden sonra aşağıdan takip etmiştir. İki Bileşenli Eksiton Model, deneysel verileri açıklamada en başarılı model olarak bulunmuştur.

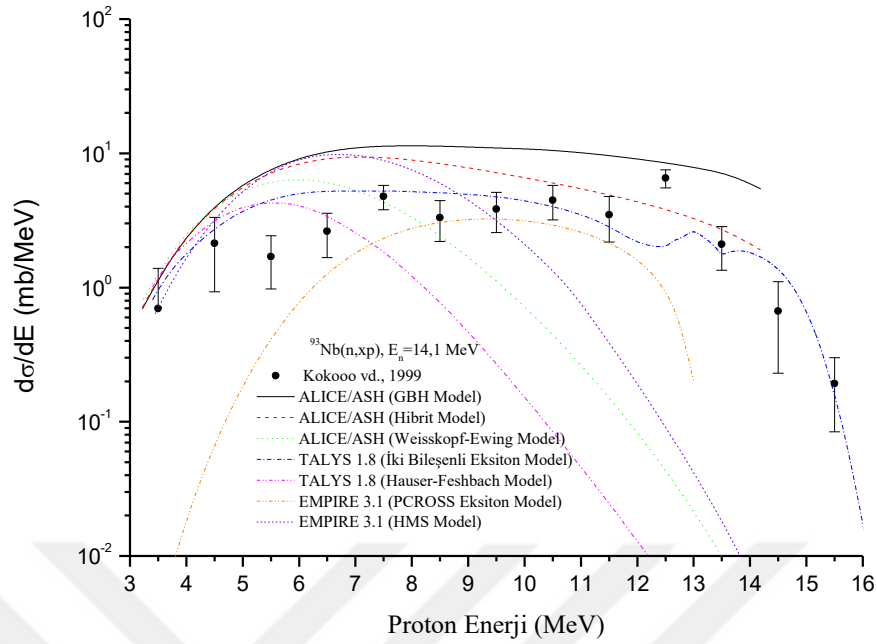
Şekil 5.88’de, 14,1 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Weisskopf-Ewing Model hesaplamalarının 6 MeV enerjisinden sonra EXFOR verileri ile uyumunu yitirdikleri gözlenmiştir. Hauser-Feshbach Model hesaplamaları ise, 4 MeV enerjisine kadare deneysel verilerle uyum göstermiş, 4-13 MeV enerji aralığında uyumunu yitirmiştir. 13 MeV enerji değerinde pik yaptığı ve tekrardan deneysel verilere yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. PCROSS Eksiton Model yalnızca 7-10 MeV enerji aralığında deneysel verilere yakın sonuçlar vermiştir. HMS Model deneysel verilerden daha düşük değerler vererek deney sonuçlarını aşağıdan takip etmiştir. Hibrit, GBH ve İki Bileşenli Eksiton Model deney sonuçlarına oldukça yakın değerler vermiştir. İki Bileşenli Eksiton Model, en başarılı model olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 5. 89. 20 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 90. 25,7 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 91. 14,1 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

20 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması, Şekil 5.89’da verilmiştir. Analiz sonucunda; GBH, Hibrit ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının deney sonuçlarıyla örtüştüğü saptanmıştır. Hauser-Feshbach ve Weisskopf-Ewing Model hesaplamalarının sırasıyla 5,5 MeV ve 7 MeV enerji değerlerine kadar deneysel verilerle uyum sağladıkları görülmüştür. Hauser-Feshbach Model hesaplamalarının; 5,5 MeV enerji değerinden sonra giderek azaldığı, 17 MeV enerji değerinde minimumdan geçerek 19 MeV enerjisinde deneysel verileri tekrar yakaladığı gözlenmiştir. HMS Model bütün enerji değerlerinde deneysel verilerden düşük sonuçlar vermiştir. PCROSS Eksiton Model ise 8-14 MeV enerji aralığında deneysel verilerle uyum sağlamış, diğer bölgelerde aşağıdan takip etmiştir.

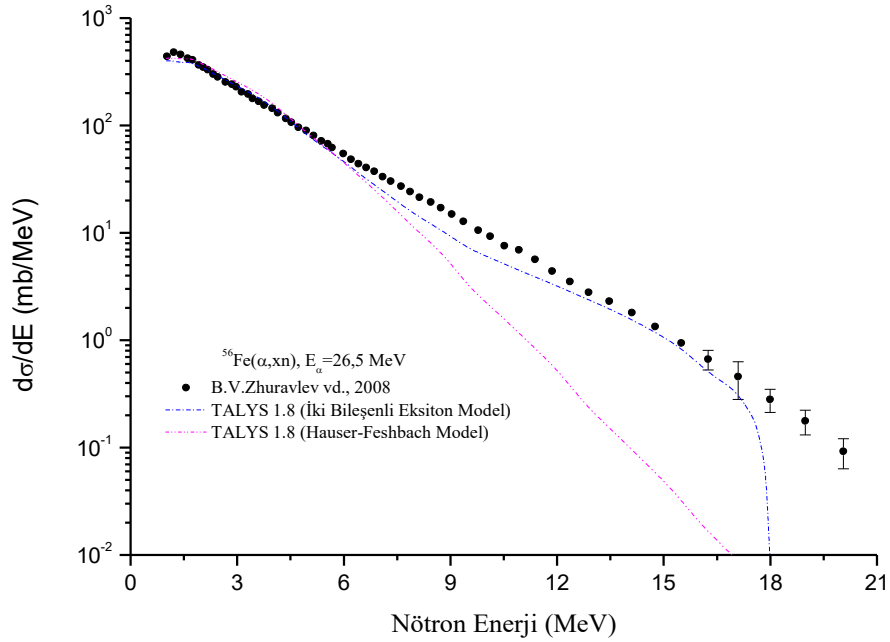
Şekil 5.90’da verilen, 25,7 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması analiz edildiğinde; Hauser-Feshbach, Weisskopf-Ewing ve HMS Model dışındaki diğer modellerin deneysel verilerle benzer geometrik desen sergiledikleri saptanmıştır.

GBH ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamaları deneysel verilerle oldukça uyumlu bulunmuştur. Diğer modellerin deneysel verileri aşağıdan paralel takip ettikleri gözlenmiştir.

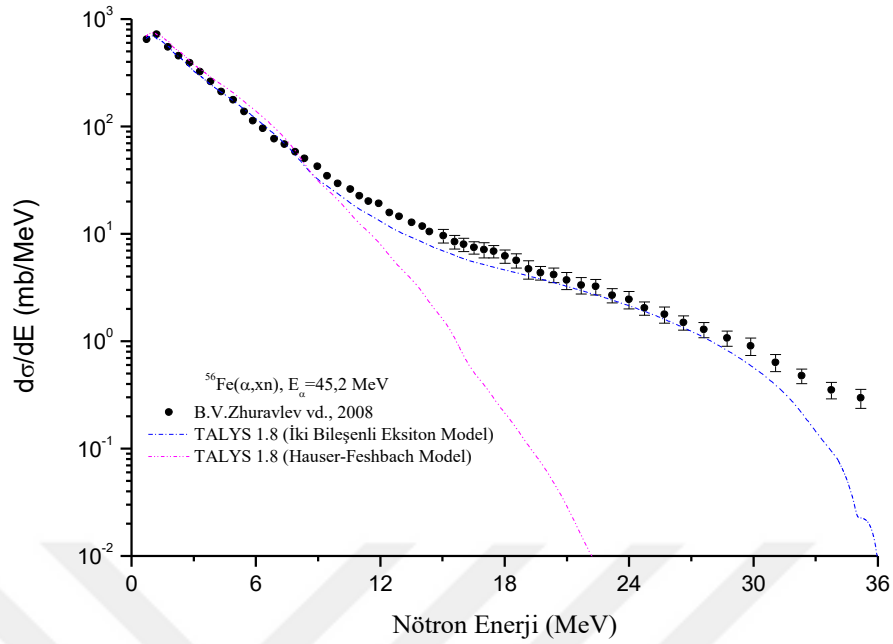
14,1 MeV enerjili nötronlarla bombardıman edilen ^{93}Nb için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması, Şekil 5.91’de verilmiştir. Analiz sonucunda İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının deneysel verilerle oldukça uyumlu olduğu saptanmıştır. Hauser-Feshbach Model 6 MeV, Weisskopf-Ewing Model ise 7,5 MeV proton yayınlanma enerjisine kadar deneysel verilerle uyuşmuştur. Diğer modeller, deneysel verilerle benzer geometri sergilemiştir.

5.8. Alfa Girişli Reaksiyonlar İçin Yayınlanma Spektrumu Hesaplamaları

$^{56,57}\text{Fe}$ ve $^{90,94}\text{Zr}$ izotoplarının alfa mermi parçacığı ile bombardımanı sonucunda yayınlanan parçacıkların enerji spektrumlarına ait yapılan incelemelerin literatürden alınan verilerle karşılaştırılması, Şekil 5.92 ve Şekil 5.98 arasında verilmiştir. Hesaplamalarda, TALYS 1.8 kodu; İki Bileşenli Eksiton ve Hauser-Feshbach Modelleri kullanılmıştır. Seviye yoğunluğu için, CTFGM yaklaşımı dikkate alınmıştır.



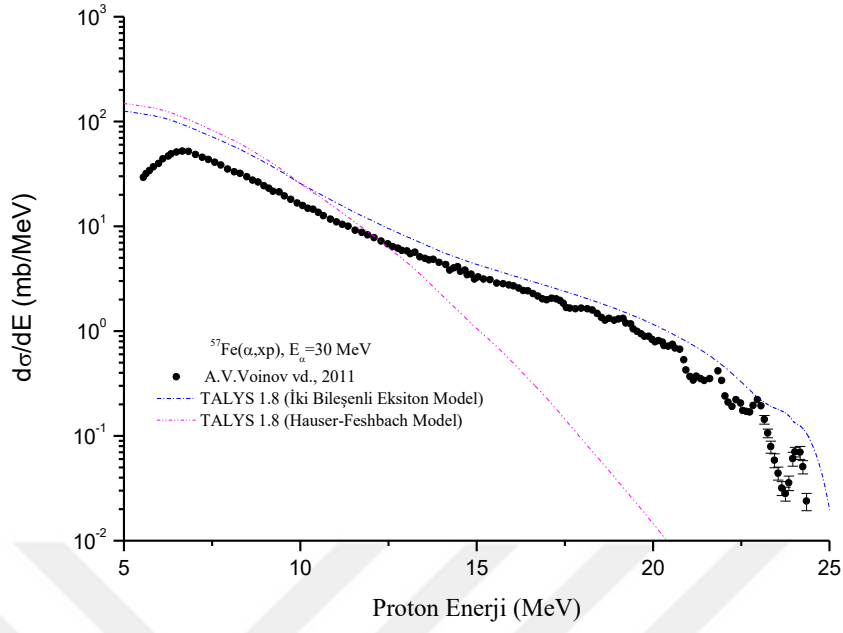
Şekil 5. 92. 26,5 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



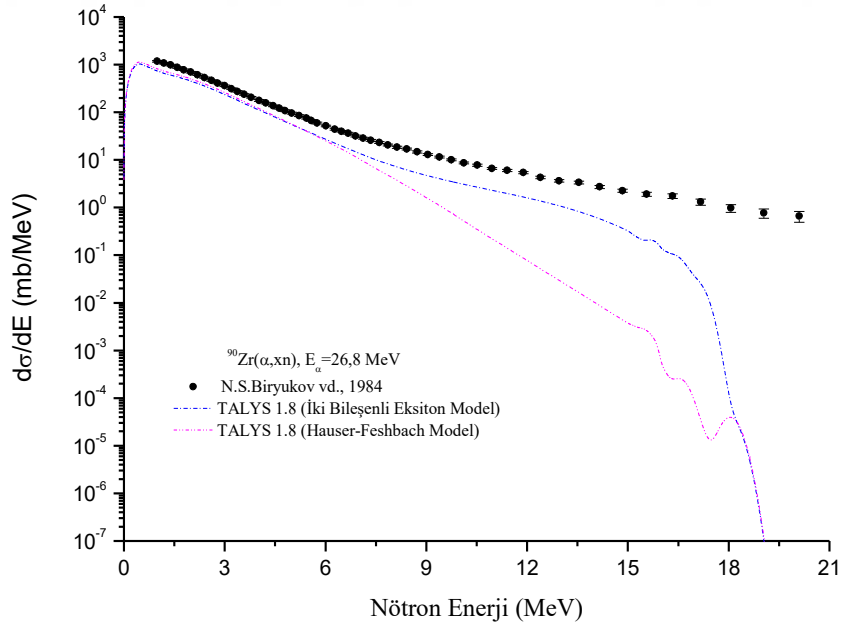
Şekil 5. 93. 45,2 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{56}Fe için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.92’de verilen, 26,5 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{56}Fe için elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması incelendiğinde, İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının 17,5 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum sergilediği saptanmıştır. Hauser-Feshbach Model ise, 7 MeV enerjisine kadar deneysel verileri yakalamış bu değerden sonra ise uyumunu yitirmiştir.

^{56}Fe hedef çekirdeğine 45,2 MeV enerjili alfa mermi çekirdeği yollanarak oluşturulan (α, xn) reaksiyonu için elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının, deneysel verilerle karşılaştırılması için Şekil 5.93’de gösterilmiştir. Denge hesaplamalarının yaklaşık 10 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyumlu oldukları görülmüştür. İki Bileşenli Eksiton Model ise 30 MeV nötron yayınlanma enerjisine kadar deneysel verilere yakın sonuçlar vermiştir.



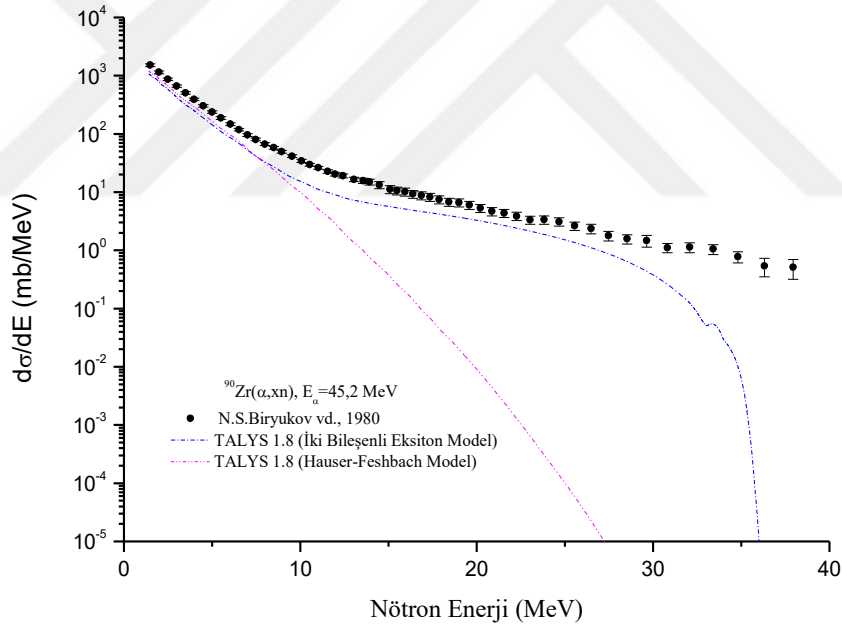
Şekil 5. 94. 30 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{57}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



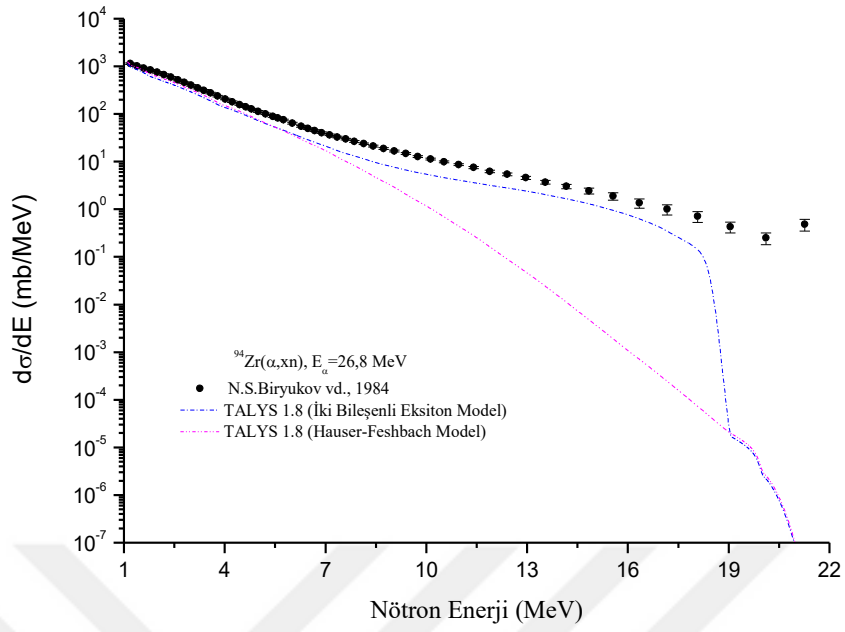
Şekil 5. 95. 26,8 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{90}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

30 MeV enerjili alfalarla nötronlarla bombardıman edilen ^{57}Fe için, elde edilen proton yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.94’de verilmiştir. 13 MeV enerji değerine kadar her iki modelinde deneysel verileri üstten takip ettikleri bu enerjiden sonra Hauser-Feshbach Model hesaplamalarının deneysel verilerden uzaklaşıp sıfıra gittiği, İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının ise deneysel verileri yakaladığı gözlenmiştir.

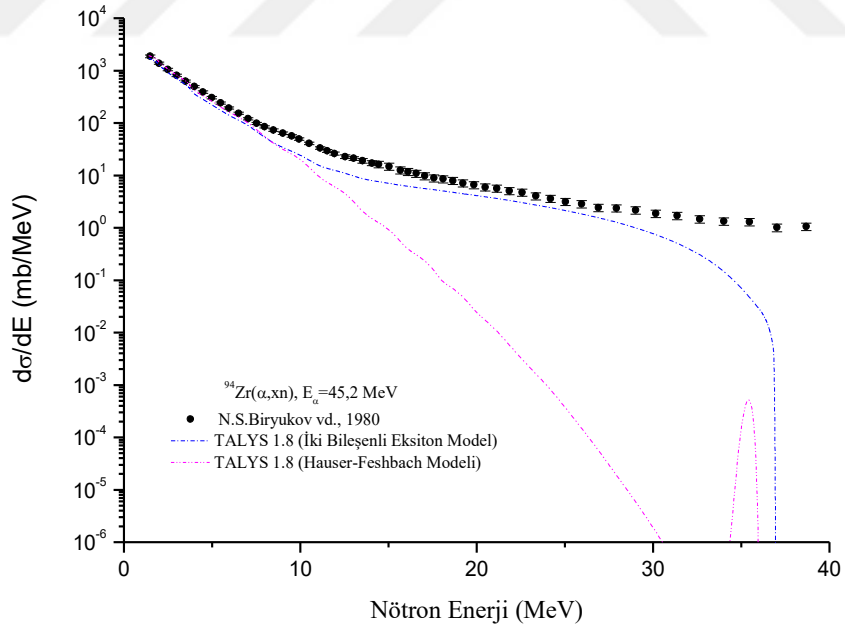
Şekil 5.95’de 26,8 MeV enerjili alfalarla nötronlarla bombardıman edilen ^{90}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Analiz sonucunda, iki modelinde 5 MeV enerji değerine kadar EXFOR verilerine çok yakın sonuçlar verdikleri saptanmıştır. Bu değerden sonra ise, deneysel verileri aşağıdan takip etmişlerdir.



Şekil 5. 96. 45,2 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{90}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 97. 26,8 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{94}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 98. 45,2 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{94}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

45,2 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{90}Zr için, elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması, Şekil 5.96'da verilmiştir. Hauser-Feshbach Model hesaplamalarının deneysel verilerle 7 MeV enerjisine kadar uyum sağladığı görülmüştür. İki Bileşenli Eksiton Model ise, 25 MeV nötron yayınlanma enerjisine kadar deneysel verilere yakın sonuçlar vermiştir.

Şekil 5.97'de verilen, 26,8 MeV enerjili alfalarla bombardıman edilen ^{94}Zr için elde edilen nötron yayınlanma spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması analiz edildiğinde; Hauser-Feshbach Model'in 7 MeV, İki Bileşenli Eksiton Model'in ise 18 MeV enerjisine kadar EXFOR verileriyle uyum sergiledikleri saptanmıştır.

45,2 MeV enerjili alfa mermi çekirdeği kullanılarak oluşturulan $^{94}\text{Zr}(\alpha, xn)$ reaksiyonu için hesaplanan nötron enerji spektrumunun, deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.97'de verilmiştir. Analiz sonucunda; Hauser-Feshbach Model'in 7 MeV; İki Bileşenli Eksiton Model'in ise, yaklaşık 30 MeV enerjisine kadar deneysel sonuçlarla uyumlu oldukları bulunmuştur.

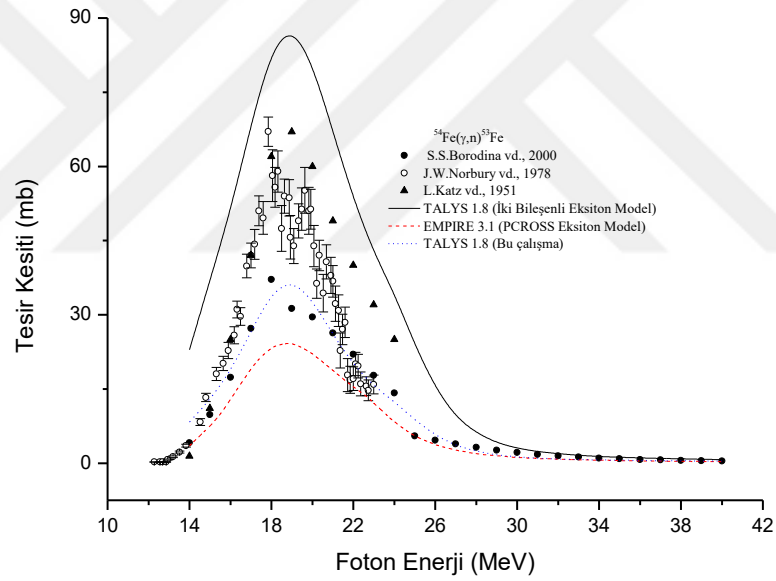
5.9. GDR (Dev Dipol Rezonans) Parametreleri ve Foto-nötron Tesir Kesiti Hesaplamaları

Bilgisayar kodları GDR bölgesi için tesir kesiti hesaplamaları gerçekleştirirken deneysel verilerle ya da sistematik çalışmalarla elde edilmiş GDR parametrelerini kullanmaktadır.

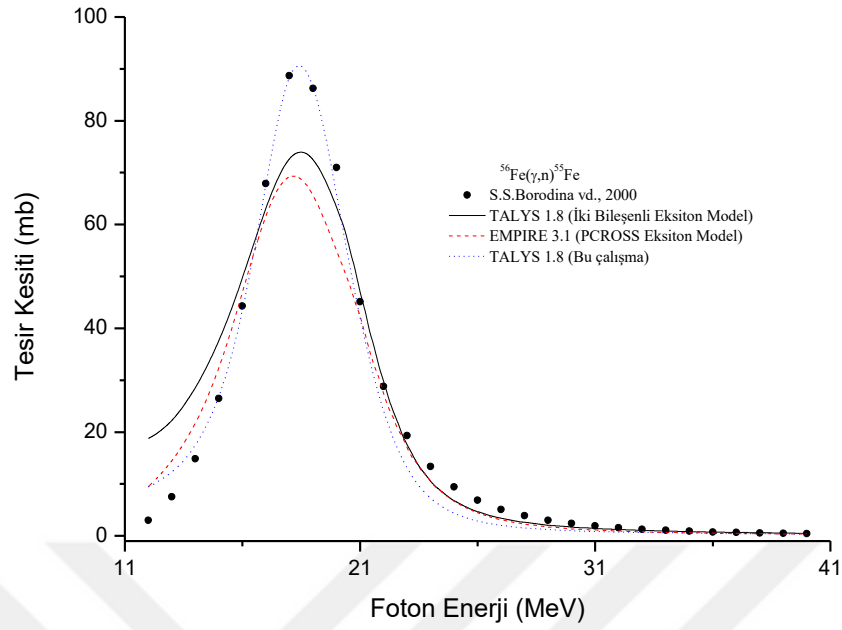
Bu çalışmada, $^{54,56}\text{Zr}$, $^{90,91,92,94}\text{Zr}$, ^{93}Nb ve $^{107,109}\text{Ag}$ izotopları için Denklem 3.12 ile verilen tesir kesiti ifadesi EXFOR'dan alınan verilere optimize edilerek, $\sigma_{E,i}$, $E_{i,1}$ ve $\Gamma_{E,i}$ parametreleri elde edilmiştir. Yeni GDR parametreleri ile TALYS 1.8 kütüphanesindeki değerlerin karşılaştırılması Çizelge 5.1'de verilmiştir. Elde edilen yeni GDR parametreleri, TALYS 1.8 kütüphanesinde bulunan varsayılan değerlerle değiştirilerek yeni GDR parametreleri ile tesir kesiti hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Fotonükleer reaksiyonlara ait hesaplanan tesir kesitleri ile EXFOR verilerinin karşılaştırılması Şekil 5.99 – Şekil 5.113'de verilmiştir.

Çizelge 5. 1. TALYS 1.8 GDR parametreleri ile Standart Lorentz Model ile elde edilen GDR parametreleri

Çekirdek	TALYS 1.8			Yeni GDR Parametreleri		
	E_R	σ_R	Γ	E_R	σ_R	Γ
^{54}Fe	18,85	87,16	7,09	18,84	35,93	6,02
^{56}Fe	18,69	91,57	6,98	18,40	94,62	4,46
^{90}Zr	16,74	211	4,16	16,94	200,52	4,36
^{91}Zr	16,58	184	4,20	16,56	190,05	3,80
^{92}Zr	16,26	166	4,68	15,64	162,10	3,04
^{94}Zr	16,22	161	5,29	14,99	136,75	3,19
^{93}Nb	16,59	200	5,05	16,81	194,55	5,76
^{107}Ag	15,90	150	6,71	15,70	157,49	5,28
^{109}Ag	15,96	237,63	5,16	15,66	135,66	7,29



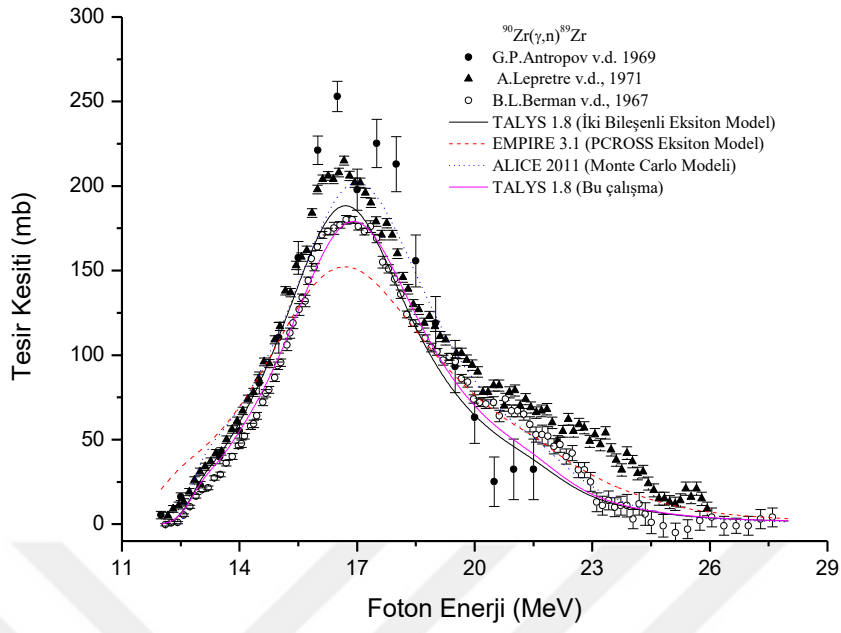
Şekil 5. 99. $^{54}\text{Fe}(\gamma,n)^{53}\text{Fe}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



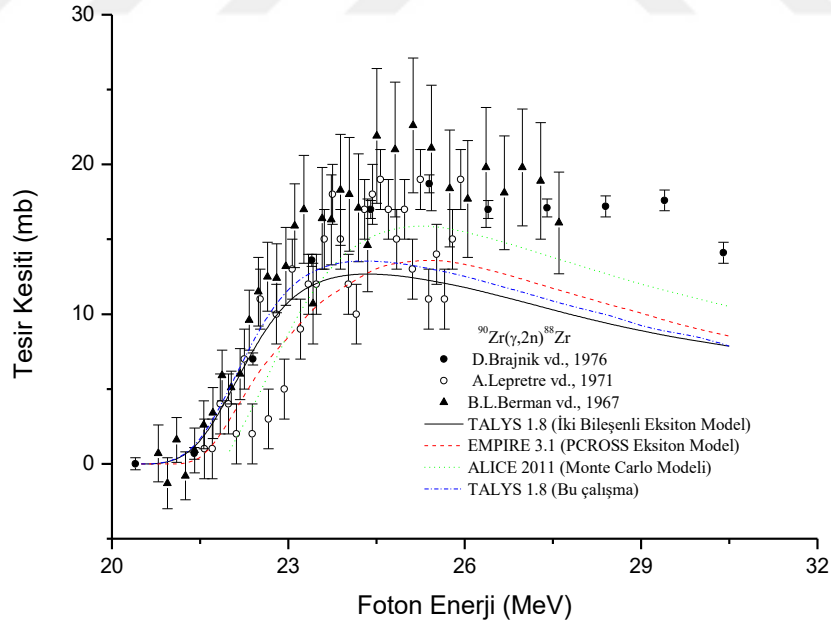
Şekil 5. 100. $^{56}\text{Fe}(\gamma,n)^{55}\text{Fe}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.99’da $^{54}\text{Fe}(\gamma,n)^{53}\text{Fe}$ reaksiyonuna ait hesaplanan tesis kesiti değerlerinin literatürden alınan verilerle karşılaştırılması verilmiştir. İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının EXFOR verileri ile aynı geometriyi izlemesine rağmen, 30 MeV enerjisine kadar daha yüksek sonuçlar verdiği gözlenmiştir. EMPIRE 3.1 hesaplamaları ise, 16 MeV-30 MeV enerji değerleri arasında deneysel verilerden daha düşük sonuçlar vermiştir. GDR parametreleri değiştirilerek yapılan hesaplamaların deneysel verilerle diğer iki modelden daha uyumlu olduğu saptanmıştır.

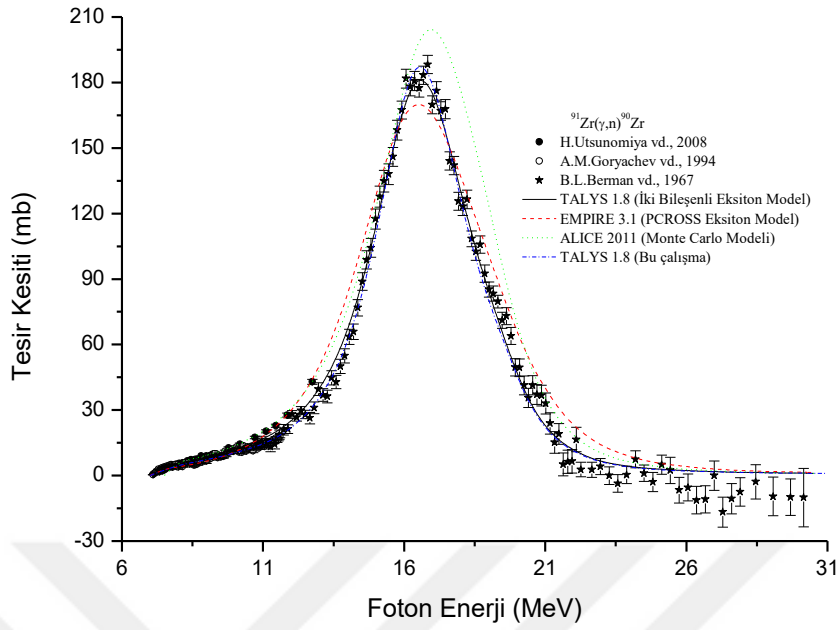
$^{56}\text{Fe}(\gamma,n)^{55}\text{Fe}$ reaksiyonuna ait hesaplanan tesis kesiti değerlerinin literatürden alınan verilerle analizi Şekil 5.100’de verilmiştir. Analiz sonucunda; tüm modellerin EXFOR verileri ile benzer geometrik yapı sergiledikleri saptanmıştır. İki Bileşenli Eksiton Model 22 MeV enerjisinden sonra literatürden alınan verilere yakın sonuçlar vermiştir. PCROSS Eksiton Model ise, tepe noktası dışında uyum göstermiştir. GDR parametresi değiştirilerek gerçekleştirilen TALYS 1.8 hesaplamalarının, EXFOR verilerini açıklamakta her iki modelden de daha başarılı olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5. 101. $^{90}\text{Zr}(\gamma,n)^{89}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 102. $^{90}\text{Zr}(\gamma,2n)^{88}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

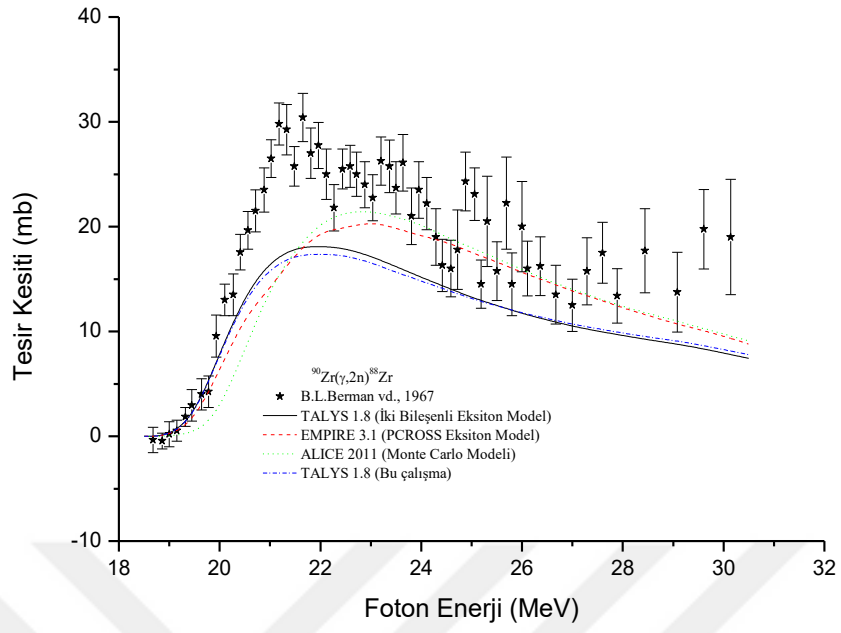


Şekil 5. 103. $^{91}\text{Zr}(\gamma,n)^{90}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

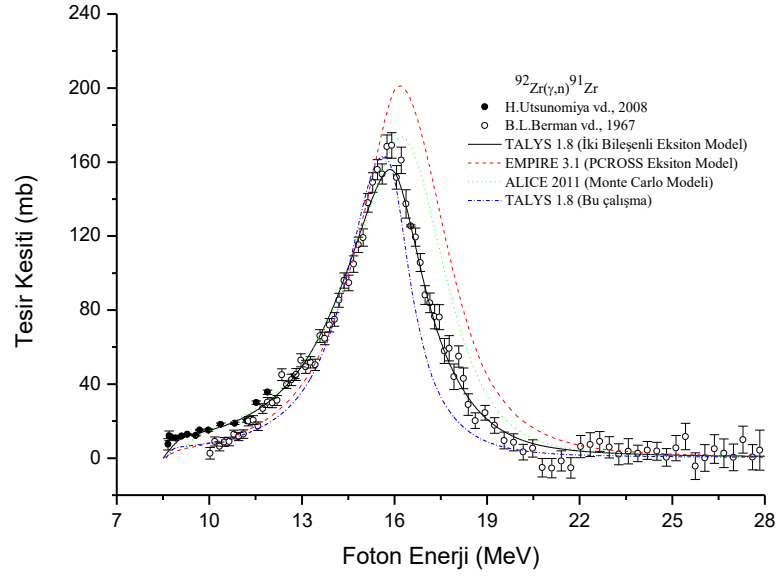
Şekil 5.101’de, $^{90}\text{Zr}(\gamma,n)^{89}\text{Zr}$ reaksiyonuna ait hesaplanan tesis kesiti değerlerinin literatürden alınan verilerle karşılaştırılması verilmiştir. PCROSS Eksiton Model dışındaki tüm hesaplamalar deneysel verilerle uyumlu bulunmuştur. PCROSS Eksiton Model ise; 15 - 18,5 MeV enerji değerleri arasında deneysel verilerden düşük sonuçlar vermiş, diğer tüm enerji değerlerinde deneysel verilerle uyum sağlamıştır.

$^{90}\text{Zr}(\gamma,2n)^{88}\text{Zr}$ reaksiyonu için nükleer modeller kullanılarak hesaplanan tesis kesiti değerlerinin EXFOR verileri ile karşılaştırılması Şekil 5.102’de verilmiştir. Tüm hesaplamaların deneysel verilerle harmonik uyum içinde oldukları görülmüştür. ALICE 2011 hesaplamaları 28 MeV, diğer modeller ise 26 MeV enerjisine kadar deneysel verilerin hata oranları içerisinde sonuçlar vermişlerdir. Bu enerji değerlerinden sonra deneysel verileri aşağıdan paralel olarak izlemişlerdir.

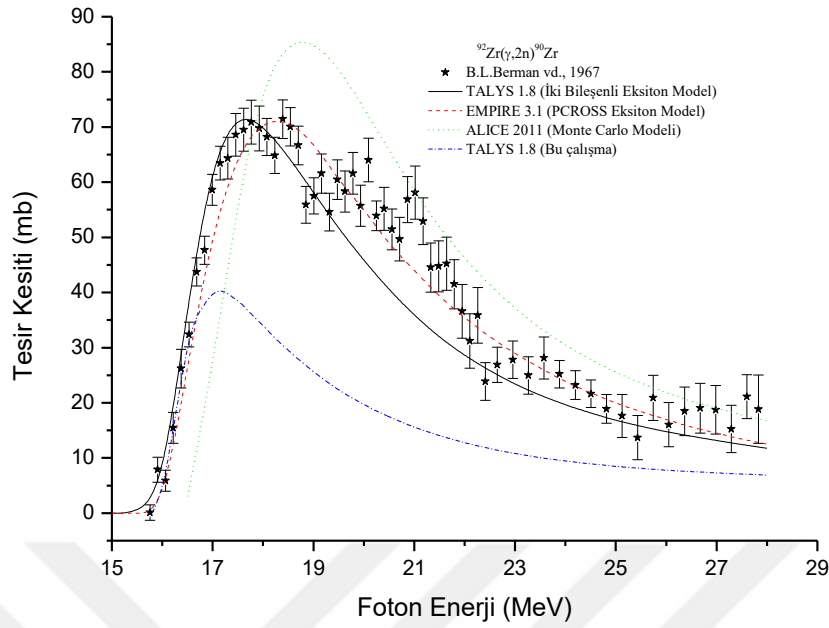
Şekil 5.103’de verilen, $^{91}\text{Zr}(\gamma,n)^{90}\text{Zr}$ reaksiyonuna ait hesaplanan tesis kesiti değerleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması incelendiğinde, ALICE 2011 hesaplamaları dışındaki tüm modellerin deneysel verilerle uyum gösterdikleri gözlenmiştir. ALICE 2011 hesaplamalarının deneysel verilerle genel olarak uyumlu olmasına rağmen, deney sonuçlarından daha yüksek bir tepe değeri vermiştir.



Şekil 5. 104. $^{90}\text{Zr}(\gamma,2n)^{88}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 105. $^{92}\text{Zr}(\gamma,n)^{91}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



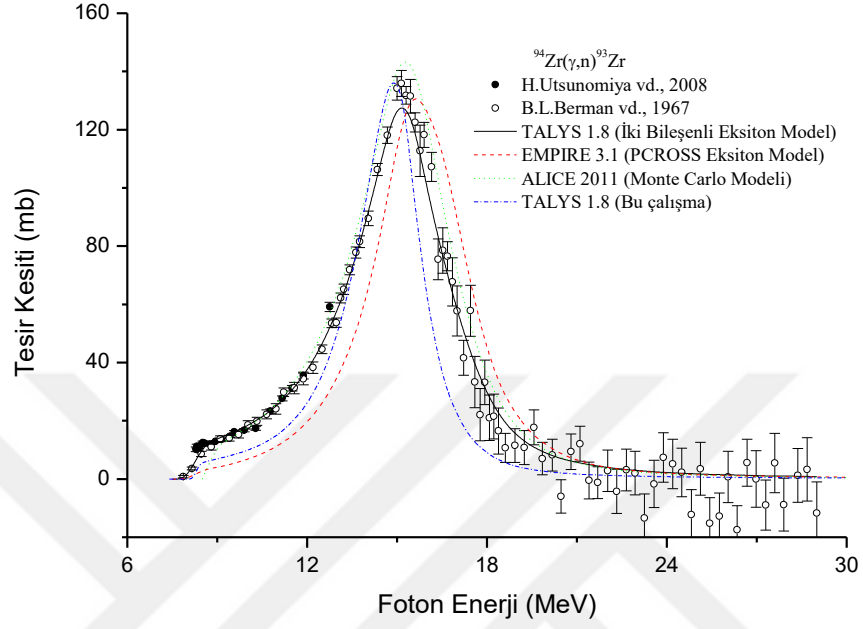
Şekil 5. 106. $^{92}\text{Zr}(\gamma,2n)^{90}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.104’de, $^{91}\text{Zr}(\gamma,2n)^{89}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesiti değerleri ile deneysel verilerin analizi verilmiştir. Bütün modellerin deneysel verilerle uyumlu oldukları ancak daha düşük bir maksimum tesis kesiti değeri verdikleri gözlenmiştir.

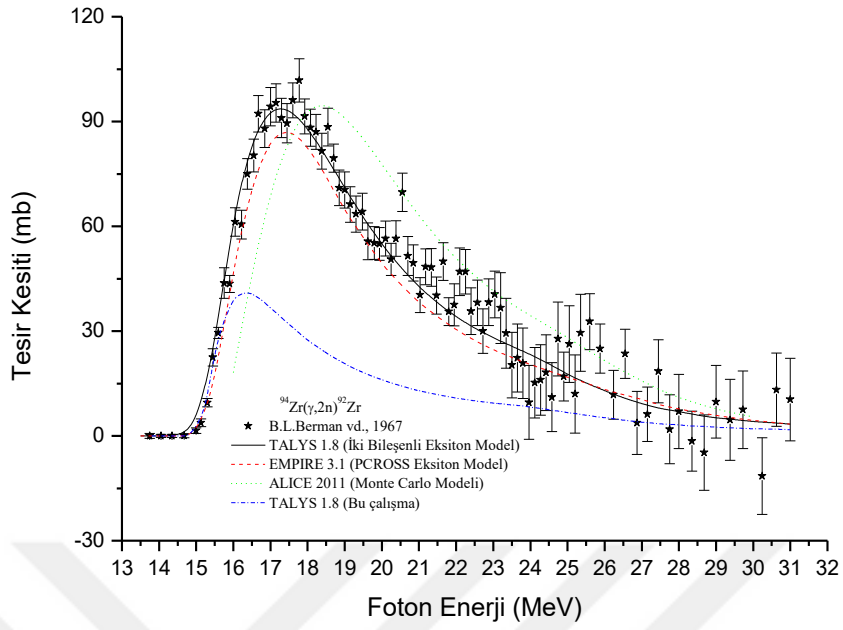
$^{92}\text{Zr}(\gamma,n)^{91}\text{Zr}$ reaksiyonu için yapılan tesis kesiti hesaplamalarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.105’de verilmiştir. PCROSS Eksiton Model 16-22 MeV enerji değerleri dışında deneysel verilere çok yakın sonuçlar vermiştir. GDR parametresi değiştirilerek yapılan hesaplamalar genel olarak deneysel verilerle uyumlu bulunmuştur. İki Bileşenli Eksiton Model’in deneysel verileri açıklamakta en başarılı model olduğu gözlenmiştir. ALICE 2011 hesaplamaları; 16-19 MeV enerji aralığında deneysel verilerden farklılıklar göstermiş, diğer tüm noktalarda deney sonuçlarını yakalamıştır.

Şekil 5.106’da, $^{92}\text{Zr}(\gamma,2n)^{90}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesiti değerleri ile EXFOR verileri karşılaştırılmıştır. İki Bileşenli Eksiton ve PCROSS Eksiton Model hesaplamalarının deneysel verilerle oldukça uyumlu oldukları gözlenmiştir. ALICE 2011 kodu ile gerçekleştirilen Monte Carlo hesaplamaları; deney sonuçlarına göre daha yüksek bir rezonans tesis kesiti değeri vermesine rağmen, genel olarak

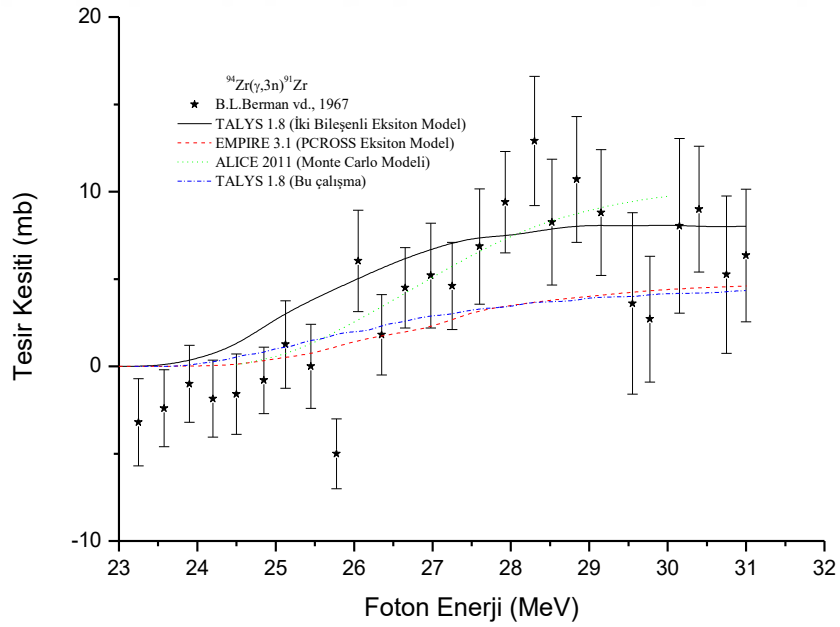
literatürden alınan sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. GDR parametresi değiştirilerek yapılan hesaplamalar, EXFOR verileriyle aynı geometriye sahip olmalarına rağmen daha düşük rezonans tesir kesiti değeri vermiştir.



Şekil 5. 107. $^{94}\text{Zr}(\gamma, n)^{93}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesis kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



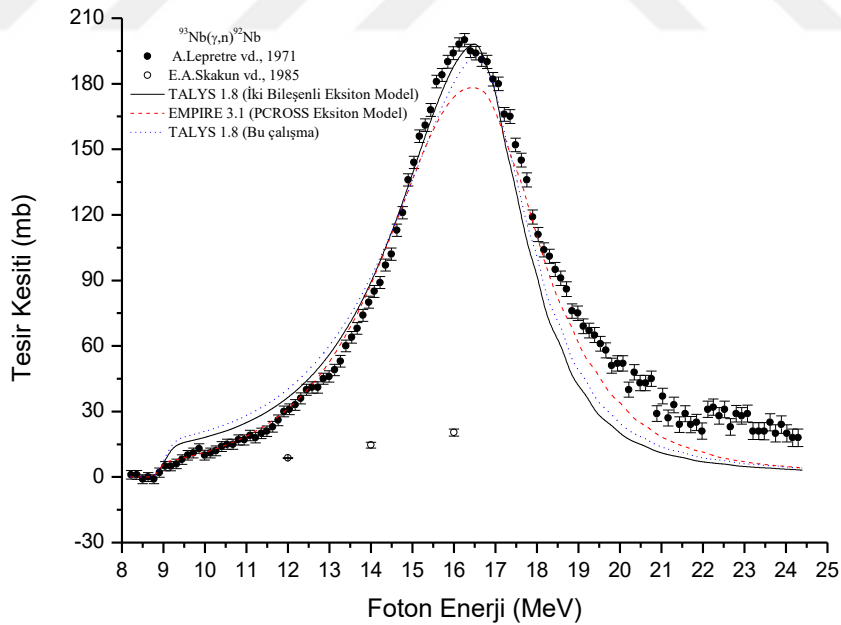
Şekil 5. 108. $^{94}\text{Zr}(\gamma,2n)^{92}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



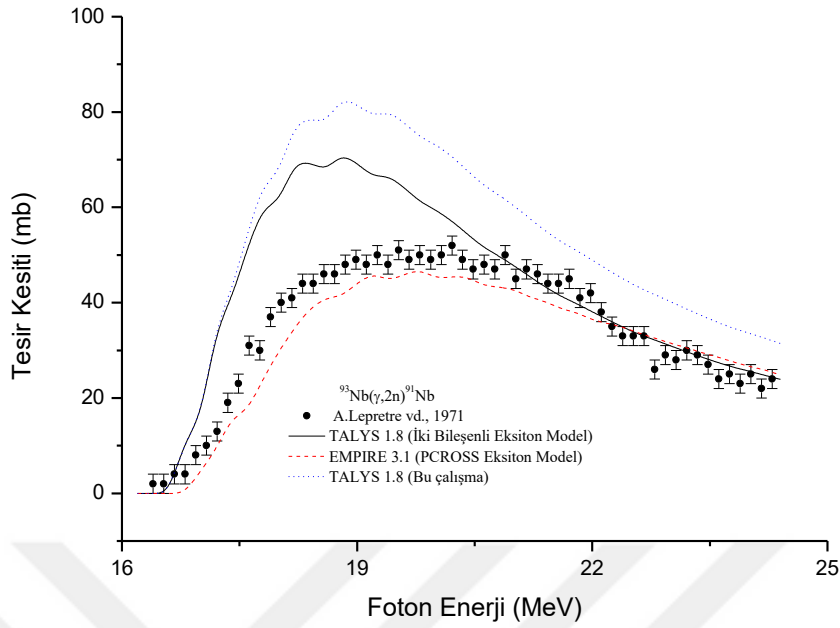
Şekil 5. 109. $^{94}\text{Zr}(\gamma,3n)^{91}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

$^{94}\text{Zr}(\gamma, n)^{93}\text{Zr}$ reaksiyonu için nükleer modeller kullanılarak hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması Şekil 5.107’de verilmiştir. Tüm modellerin EXFOR verilerine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. ALICE 2011 Monte Carlo Model ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamalarının daha başarılı oldukları saptanmıştır.

$^{94}\text{Zr}(\gamma, 2n)^{92}\text{Zr}$ ve $^{94}\text{Zr}(\gamma, 3n)^{91}\text{Zr}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması sırasıyla Şekil 5.108 ve Şekil 5.109’da verilmiştir. Her iki reaksiyon içinde, İki Bileşenli Eksiton ve PCROSS Eksiton Model hesaplamalarının deneysel verilerle uyumlu olduğu gözlenmiştir. GDR parametreleri değiştirilerek yapılan hesaplamaların; (2n) çıkış kanalı için deneysel verilerle aynı geometriye sahip olduğu ancak daha düşük bir maksimum verdiği, (3n) çıkış kanalı için ise literatürden alınan sonuçlarla uyumlu olduğu gözlenmiştir. ALICE 2011 hesaplamaları ($\gamma, 2n$) reaksiyonu için oldukça başarılı sonuçlar ortaya koymuştur.

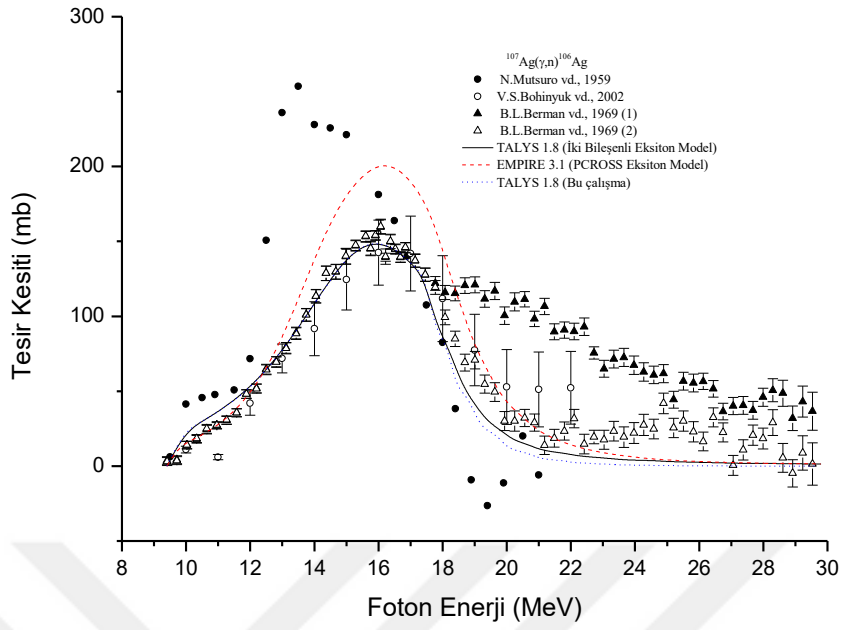


Şekil 5. 110. $^{93}\text{Nb}(\gamma, n)^{92}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

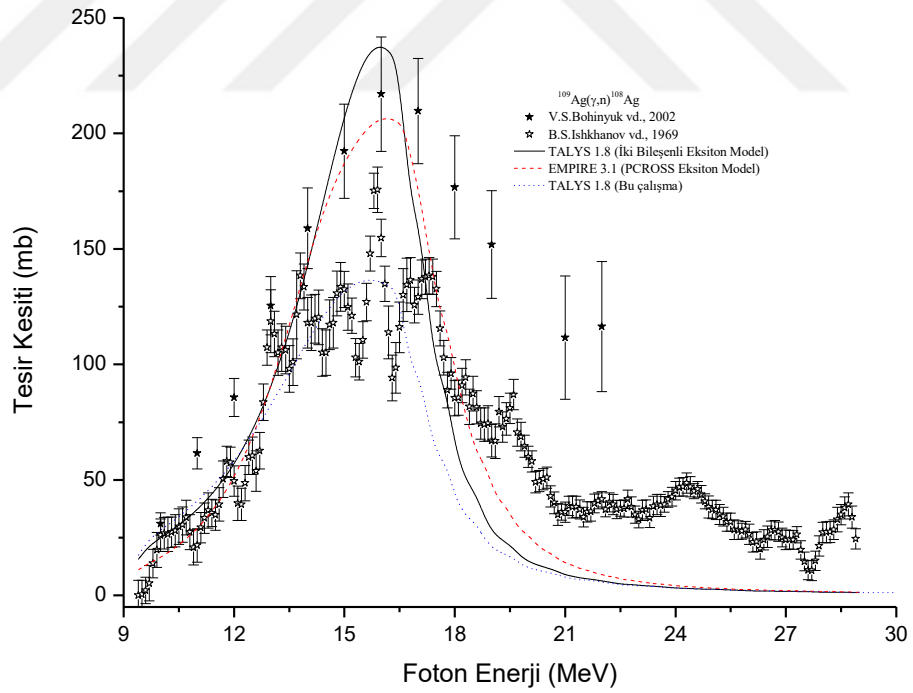


Şekil 5. 111. $^{93}\text{Nb}(\gamma,2n)^{91}\text{Nb}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Şekil 5.110 ve Şekil 5.111’de, sırasıyla $^{93}\text{Nb}(\gamma,n)^{92}\text{Nb}$ ve $^{93}\text{Nb}(\gamma,2n)^{91}\text{Nb}$ reaksiyonları için hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması verilmiştir. Analiz sonucunda; (γ,n) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile yapılan hesaplamaların deneysel verilerle uyum gösterdiği saptanmıştır. PCROSS Eksiton Model hesaplamalarının aynı reaksiyon için deneysel verilerden daha düşük rezonans tesir kesiti değeri vermesine rağmen deney sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. $(\gamma,2n)$ reaksiyonu için, İki Bileşenli Eksiton Model ve GDR parametresi değiştirilerek yapılan hesaplamaların deneysel verilerle aynı geometriye sahip oldukları ancak onları yukarıdan paralel olarak takip ettikleri gözlenmiştir. PCROSS Eksiton Model, $(\gamma,2n)$ reaksiyonu için deneysel verileri en uyumlu model olarak bulunmuştur.



Şekil 5. 112. $^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106}\text{Ag}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 5. 113. $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108}\text{Ag}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

$^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106}\text{Ag}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5.112’de gösterilmiştir. İki Bileşenli Eksiton Model ve GDR parametreleri değiştirilerek gerçekleştirilen hesaplamalar deneysel veriler ile uyumlu bulunmuştur. PCROSS Eksiton Model’in, EXFOR verilerinden daha yüksek bir rezonans değeri hesaplamasına rağmen genel olarak deney sonuçlarına yakın değerler verdiği gözlenmiştir.

Şekil 5.113’de verilen $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108}\text{Ag}$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması incelendiğinde, GDR parametresi değiştirilerek gerçekleştirilen hesaplamaların, diğer iki modele göre daha düşük bir rezonans tesir kesiti değeri verdiği gözlenmiştir. Ancak, literatürden alınan deneysel veriler birbirlerinden farklı rezonans değerleri içerdikleri için tüm hesaplamalar 19 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyumlu bulunmuştur.

5.10. Yarı-ampirik Tesir Kesiti Hesaplamaları

Sistemik çalışmalar; deneysel verilerin bulunmadığı, deney yapma imkanı olmayan durumlarda araştırmacılara bir öngörü sağlarlar. Tesir kesiti verilerinin enerji bağımlılığı çok iyi bilinmediği için araştırmacılar sistemik çalışmalar ile var olan deney sonuçlarından bir yaklaşım geliştirme ihtiyacı hissetmişlerdir.

İlk olarak, Levkovskii ve arkadaşları (Levkovskii, vd., 1964), 14 MeV enerjili nötronlar ile oluşturulan (n,p) reaksiyonu için; N, Z, ve A sırasıyla nötron sayısı, atom numarası ve kütle numarası olmak üzere, Denklem 5.1’de verilen ampirik tesir kesiti formülünü önermişlerdir.

$$\sigma_{n,p} = \sigma_{inel} \exp(-33((N - Z)/A)) \quad (5.1)$$

Burada, $\sigma_{inel} = \pi r_0^2 (A^{1/3} + 1)^2$ ve $r_0 = 1.2 \times 10^{-13}$ olarak verilir.

Tel ve arkadaşları farklı reaksiyonlar için bu yaklaşımı kullanarak; (n,t) ve (n,d) reaksiyonları için yeni katsayı elde etmişlerdir (Tel, vd., 2003; Tel, vd., 2007). Ayrıca proton girişli (p,n), (p,np), (p,n α) reaksiyonu için katsayılar Yalçiner (Yalçiner, 2008)

tarafından hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda nötronlarla oluşturulan reaksiyonlar için genel olarak Denklem 5.2 ifadesi ortaya konulmuştur.

$$\sigma_{n,x} = C\sigma_{inel}e^{as} \quad (5.2)$$

Burada; $s=(N-Z)/A$ ile hesaplanan asimetri parametresi, C ve a deneysel verilere fit edilerek hesaplanan sabitlerdir. İnelastik etkileşim tesir kesiti, $\sigma_{inel} = \pi r_0^2 (A^{1/3} + 1)^2$ ile verilir. Alfa parçacığı için inelastik tesir kesiti ifadesi;

$$\sigma_{inel} = \pi r_0^2 (A^{1/3} + 4^{1/3})^2 \quad (5.3)$$

olarak ifade edilir. Denklem 5.3’de verilen yaklaşım herhangi bir Coloumb etkisi içermediği için yüklü mermi çekirdeklerle oluşturulan reaksiyonlar için yetersiz kalmaktadır. O yüzden, Coloumb etkisini içeren bir parametre eklenmelidir. Alfa parçacığı için Coloumb potansiyeli dikkata alınırsa,

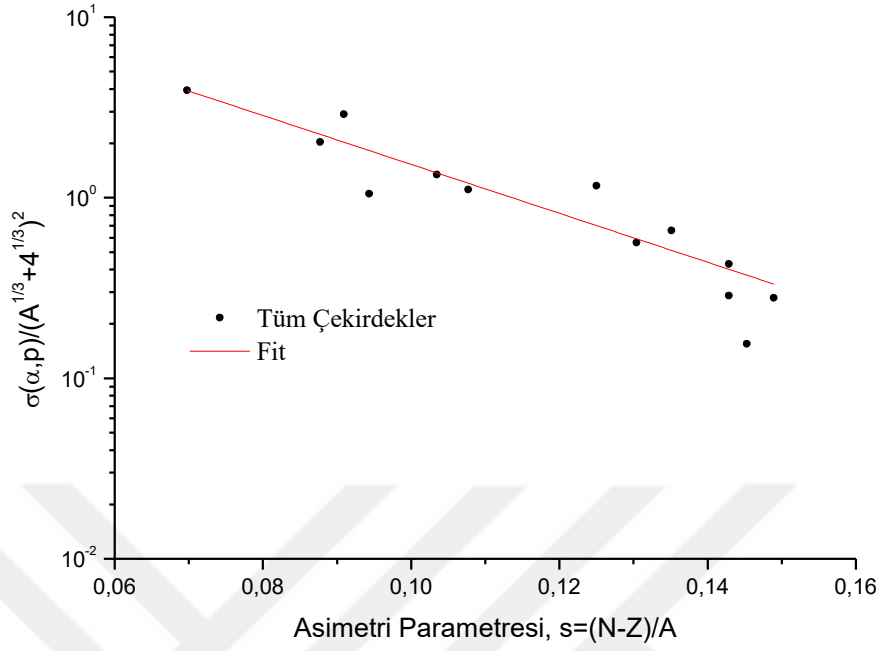
$$\sigma_{Coloumb} = a \frac{Z^2}{(A^{1/3} + 4^{1/3})} \quad (5.4)$$

ifadesi elde edilir (Akça, vd., 2015). Bu durumda, hem inelastik hemde Coloumb etkisi içeren tesir kesiti formülü C ve a fit parametresi olmak üzere,

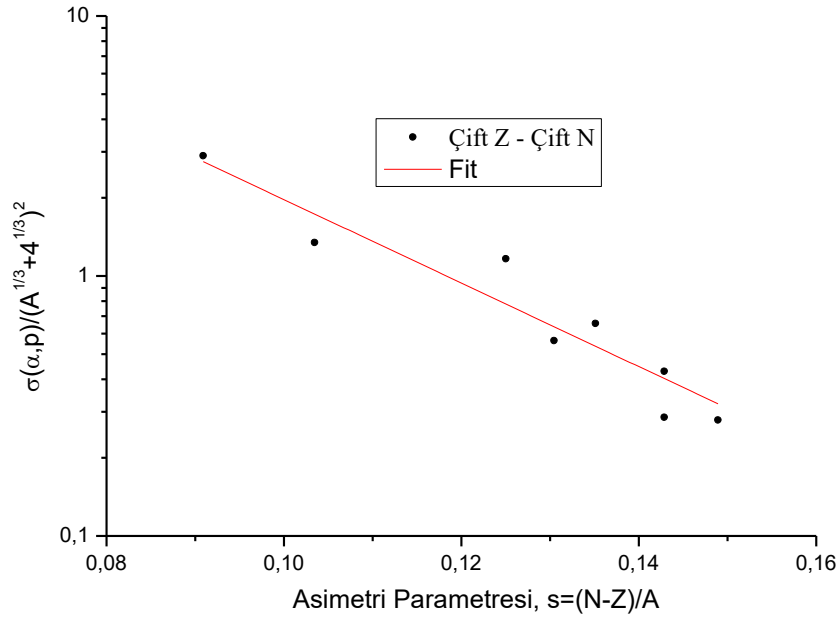
$$\sigma_{\alpha,p} = CZ^2(A^{1/3} + 4^{1/3})e^{as} \quad (5.5)$$

olarak elde edilir.

(α,p) reaksiyonunu 19 ± 1 MeV enerjisinde fit etmek için EXFOR’dan alınan $43 \leq A \leq 138$ aralığında kütle numarasına sahip 13 adet tesir kesiti verisi kullanılmıştır. Verilerin 8 tanesinin proton ve nötron sayılarının çift olması dolayısıyla Çift–Çift etkileşimi ayrıca incelenmiştir. İnelastik, Coloumb ve her iki etkiyi de içeren gruplara ait fit yapılarak elde edilen sonuçlar, Şekil 5.114 ve Şekil 5.119 arasında görülmektedir. Elde edilen fit parametreleri ile oluşturulan denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2), Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de verilmiştir.



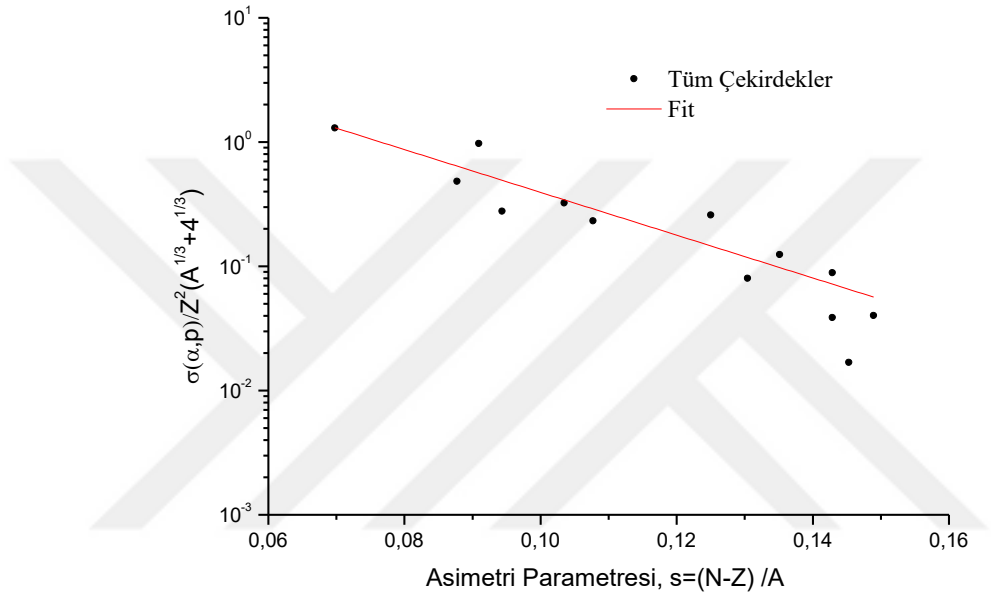
Şekil 5. 114. 19-20 MeV gelme enerjisi aralığındaki alfalarla bombardıman edilen tüm çekirdekler için inelastik tesir kesiti etkisi içeren (α,p) tesir kesiti sistemiği



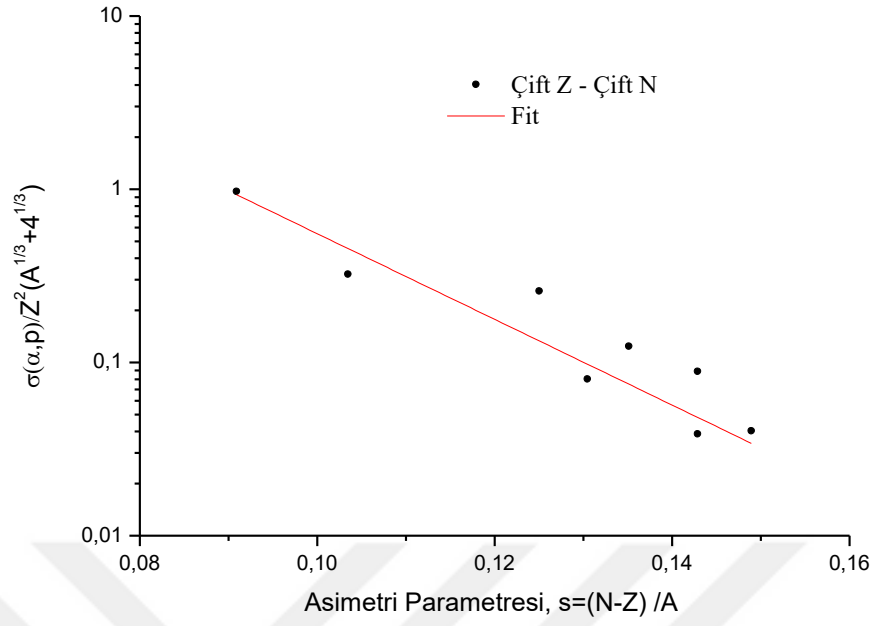
Şekil 5. 115. 19-20 MeV gelme enerjisi aralığındaki alfalarla bombardıman edilen Çift Z – Çift N sayısına sahip çekirdekler için inelastik tesir kesiti etkisi içeren (α,p) tesir kesiti sistemiği

Çizelge 5. 2. Nötron – proton sayılarına göre (α,p) reaksiyonu için üretilen, inelastik saçılma etkisini içeren yarı–ampirik tesir kesiti fonksiyonları

C	a	$\sigma(\alpha,p)$	Proton- Nötron Durumu	R^2	Denklemler Numarası
34,62	-31,19	$34,62 \cdot \sigma_{inel} \exp(-31,19s)$	Bütün Çekirdekler	0,88	(5.6)
79,38	-36,98	$79,38 \cdot \sigma_{inel} \exp(-36,98s)$	Çift Z-Çift N	0,92	(5.7)



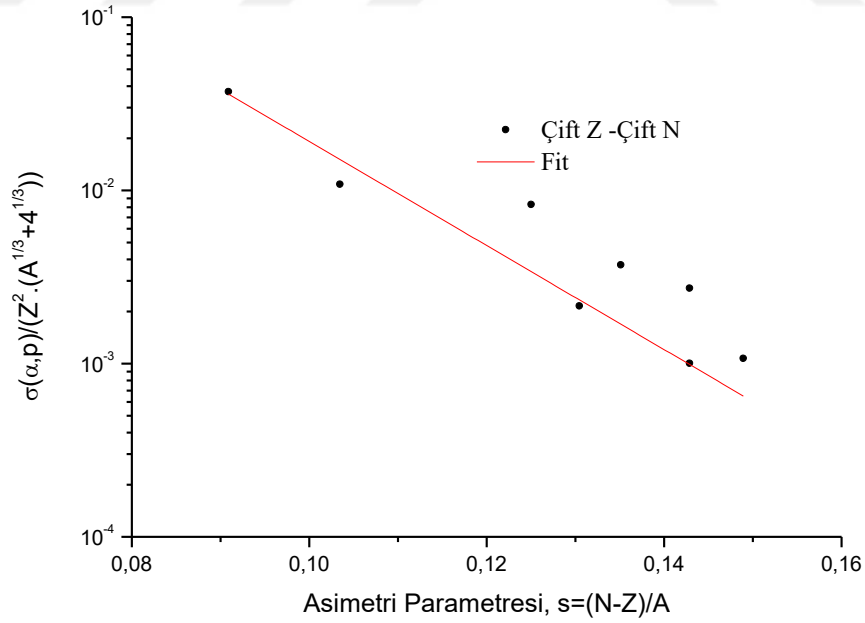
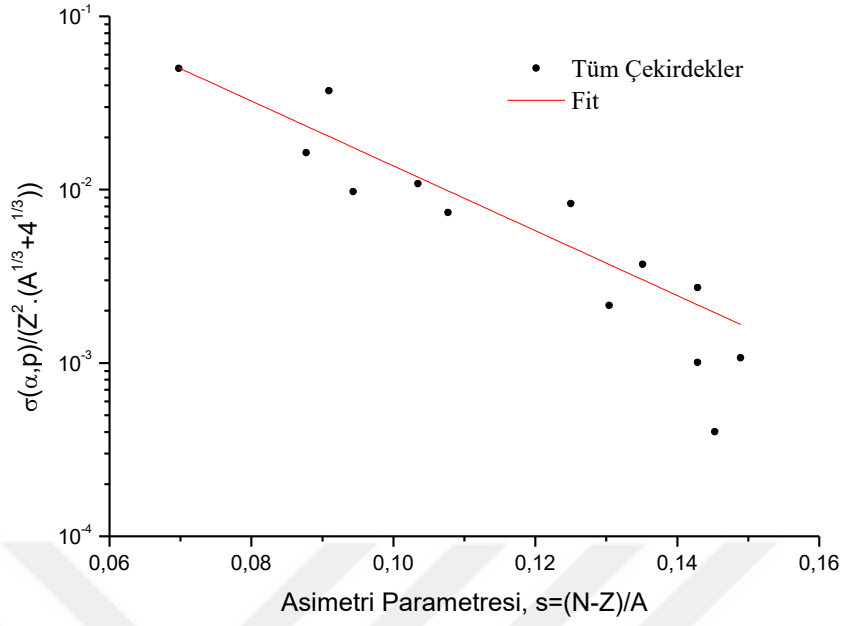
Şekil 5. 116. 19-20 MeV gelme enerjisi aralığındaki alfalarla bombardıman edilen tüm çekirdekler için Coloumb etkisi içeren (α,p) tesir kesiti sistematığı



Şekil 5. 117. 19-20 MeV gelme enerjisi aralığındaki alfalarla bombardıman edilen, Çift Z – Çift N sayısına sahip çekirdekler için Coloumb etkisini içeren (α, p) tesir kesiti sistematığı

Çizelge 5. 3. Nötron – proton sayılarına göre (α, p) reaksiyonu için üretilen, Coulomb etkisini içeren yarı–ampirik tesir kesiti fonksiyonları

<i>C</i>	<i>a</i>	$\sigma(\alpha, p)$	<i>Proton-Nötron Durumu</i>	R^2	<i>Denklem Numarası</i>
20,76	-39,65	$20,75 \cdot \sigma_{coul} \exp(-39,65s)$	Bütün Çekirdekler	0,84	(5.8)
164,71	-56,95	$164,71 \cdot \sigma_{coul} \exp(-56,95s)$	Çift Z-Çift N	0,93	(5.9)



Çizelge 5. 4. Nötron – proton sayılarına göre (α, p) reaksiyonu için üretilen, Coulomb ve inelastik saçılma etkilerini içeren yarı–ampirik tesir kesiti fonksiyonları

C	a	$\sigma(\alpha, p) =$	<i>Proton-Nötron Durumu</i>	R^2	<i>Denklem Numarası</i>
1,02	-43,06	$1,02. \sigma_{inel} \sigma_{coul} \exp(-43,06s)$	Bütün Çekirdekler	0,84	(5.10)
19,30	-69,15	$19,30. \sigma_{inel} \sigma_{coul} \exp(-69,15s)$	Çift Z-Çift N	0,94	(5.11)

Oluşturulan denklemler ile hesaplanan tesir kesiti değerlerinin, deneysel sonuçlarla ve nükleer reaksiyon modelleri kullanılarak hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılması Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5. 5. Yarı-ampirik tesir kesiti hesaplamaları ile deneysel ve nükleer modellerle hesaplanan değerlerin karşılaştırılması

Hedef Çekirdek	Deneysel σ (mb)	Denklem 5.6	Denklem 5.7	Denklem 5.8	Denklem 5.9	Denklem 5.10	Denklem 5.11	ALICE/ASH (GBH Model)	ALICE/ASH (Hibrit Model)	ALICE/ASH (Weisskopf-Ewing Model)	TALYS 1.8	EMPIRE 3.1
⁴³ Ca	102	90,44	Ç-T	102,54	Ç-T	91,46	Ç-T	136,52	128,91	97,81	69,06	166,60
⁴⁴ Ca	76	47,02	63,69	44,11	72,65	36,80	64,98	133,82	97,09	127,42	161,65	183,24
⁵³ Cr	30	44,11	Ç-T	53,01	Ç-T	45,72	Ç-T	57,41	53,36	27,91	32,80	81,50
⁵⁷ Fe	62	55,17	Ç-T	79,65	Ç-T	71,36	Ç-T	32,43	60,45	57,72	79,54	106,12
⁵⁸ Fe	39	33,92	42,72	42,52	56,37	36,25	46,14	63,48	61,58	39,76	33,26	95,97
⁶⁴ Ni	28,7	17,73	19,71	20,50	18,72	16,62	12,06	69,50	68,63	47,67	19,52	87,62
⁶⁵ Cu	34,86	30,53	T-T	43,51	T-T	37,56	T-T	76,36	76,98	48,07	17,61	97,33
⁷⁰ Zn	14	10,38	10,41	445	7,61	8,84	4,02	32,35	31,37	15,01	6,68	25,14
⁷⁴ Ge	20	13,38	14,03	17,30	13,25	14,03	7,81	43,14	45,62	25,43	11,59	33,68
⁹² Zr	20	16,34	17,61	30,88	25,67	26,84	16,90	9,51	9,74	3,59	4,18	13,73
⁹⁴ Zr	9,7	9,23	8,92	14,75	8,90	12,10	4,70	7,13	7,37	1,35	1,76	5,63
⁹⁸ Mo	9,5	11,27	11,30	20,48	13,73	17,33	7,89	5,39	5,52	1,24	1,78	4,27
¹¹⁷ Sn	3,7	10,91	Ç-T	25,20	Ç-T	22,11	Ç-T	7,88	8,01	3,76	4,60	9,59

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Füzyon reaktörü yapısal materyallerinden olan; Fe, Zr, Nb ve Ag elementlerinin farklı gelme enerjili parçacıklarla bombardımanı sonucu oluşan reaksiyonlar için yapılan hesaplamalar Bölüm 5’de verilmiştir. Yapılan tüm hesaplamalar, EXFOR’dan alınan verilerle karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Proton girişli reaksiyonlar için hesaplanan tesir kesiti değerlerinin literatürden alınan verilerle analizi sonucunda elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir.

- Denge-öncesi modeller, deneysel verilerle benzer geometrik desen ortaya koymuşlardır. Genellikle; deneysel verilere yakın sonuçlar vermişler, deneysel verileri yakalayamadıkları enerji değerlerinde ise, verileri paralel olarak takip etmişlerdir.
- Denge sürecine ait modeller kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamalarda, Weisskopf-Ewing ve Hauser-Feshbach Model hesaplamalarının genel olarak reaksiyon sonucu açığa çıkan parçacık başına 10 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum sağladığı gözlenmiştir. Weisskopf-Ewing Model hesaplamalarının deneysel sonuçlarla daha uyumlu olduğu görülmüştür.
- İki Bileşenli Eksiton Model, proton girişli tesir kesiti hesaplamalarında en başarılı model olarak bulunmuştur.

Nötron girişli reaksiyonlar için hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- (n,α) reaksiyonu haricinde, denge-öncesi hesaplamaları deneysel verilerle uyum sağlamıştır. Deneysel verilerden farklı sonuçlar verdikleri enerji değerlerinde, deneysel tesir kesiti verilerinin enerji bağımlılıklarına benzer geometrik yapı ortaya koymuşlardır. İki Bileşenli Eksiton Model deneysel verileri açıklamada en başarılı model olarak ortaya çıkmaktadır.
- EMPIRE 3.1 kodu hesaplamaları olan; PCROSS Eksiton ve HMS Model deneysel verilere ya yakın sonuçlar vermiş ya da paralel olarak takip

etmişlerdir. Özellikle, çıkış kanalı ikiden fazla parçacık içeren reaksiyonlarda (Şekil 5.21) deneysel verilerle aynı geometrik yapı sergilemelerine rağmen farklı tesir kesiti sonuçları ortaya koymuşlardır.

- Weisskopf-Ewing ve Hauser-Feshbach Modelleri, reaksiyon çıkış kanalında nötron bulunan reaksiyonlar için deneysel verilerle uyum göstermişlerdir.

$^{107,109}\text{Ag}(\alpha, xn)$ reaksiyonları için hesaplanan tesir kesiti değerlerinin EXFOR verileri ile karşılaştırılmasında, ALICE/ASH ve TALYS 1.6 kodunun denge ve denge-öncesi modelleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Denge sürecine ait hesaplamalar yapan modeller, yayınlanan nükleon başına 15 MeV gelme enerjisine kadar deneysel verilerle uyum sağlamıştır.
- Denge-öncesi modeller deneysel verilerle uyumlu sonuçlar ortaya koymuştur. GBH ve Hibrit, İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamaları deneysel verilere yakın sonuçlar ortaya koymuşlardır.

Döteron girişli reaksiyonlar için elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- TALYS 1.6 kodu hesaplamaları deneysel verilerle uyum sağlamıştır. ALICE 2011 hesaplamaları ise, genel olarak deneysel verilerle benzer geometri ortaya koymuştur.
- GBH, Hibrit ve PCROSS Eksiton Model hesaplamaları; deneysel verilerle uyum sağlamış, deneysel verilerden farklı değerler aldıkları enerji değerlerinde deney sonuçlarını paralel takip etmişlerdir.
- Weisskopf-Ewing Model, (d,p) reaksiyonu dışında deneysel verilere yakın sonuçlar ortaya koymuştur.

Seviye yoğunluğu parametrelerine bağı olarak gerçekleştirilen tesir kesiti hesaplamalarının deneysel verilerle analizi aşağıda özetlenmiştir.

- TALYS 1.6 kodu ile gerçekleştirilen hesaplamalar, genel olarak deneysel verilerle uyumlu sonuçlar vermiştir.
- EMPIRE 3.1 kodu hesaplamaları, genel olarak deneysel verilere yakın geometrik şekil ortaya koymuştur.
- TALYS 1.6 kodu; CTFGM ve BSFGM deneysel verilerle en uyumlu modellerdir.

Alfa optiksel model potansiyellerinin tesir kesiti hesaplamalarına etkisi TALYS 1.8 kodu kullanılarak incelendiğinde elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- Kullanılan optiksel modeller, birbirlerine çok yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Modellerin deneysel verileri açıklamada birbirlerine üstünlükleri bulunmamıştır.

Proton girişli reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan parçacıkların incelenen enerji spektrumlarının deneysel verilerle karşılaştırılması sonucunda aşağıda özetlenen bulgular elde edilmiştir.

- PCROSS Eksiton Model; deneysel sonuçlarla aynı geometrik yapı sergilemesine rağmen, genellikle deneysel verileri aşağıdan ya da yukarıdan paralel olarak takip etmiştir.
- HMS Model, deneysel verileri açıklamakta başarısız olmuştur.
- GBH, Hibrit ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamaları deneysel verilerle oldukça uyumludur. İki Bileşenli Eksiton Model, deneysel verilerle en uyumlu model olarak bulunmuştur.

- Denge bileşenine ait hesaplamalar; beklendiği gibi, deney sonuçları ile düşük enerjilerde uyum göstermiş, enerji değeri yükseldikçe uyumlarını yitirmiştir.

Tek enerjili nötronlar kullanılarak oluşturulmuş reaksiyonlar için hesaplanan enerji spektrumlarının literatürden alınan verilerle karşılaştırılması sonucu elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir.

- HMS Model genellikle deneysel verilerden farklı sonuçlar vermiş ve deneysel verilerle uyum göstermemiştir. PCROSS Eksiton Model ise, deneysel verilerle benzer geometri sergilemiş ve deneysel verilerden farklı sonuçlar verdiği enerji değerlerinde onları paralel takip etmiştir.
- Denge-öncesi modeller düşük enerjilerde uyum göstermiş, sonrasında uyumlarını yitirmiştir. Hauser-Feshbach Model belli bir enerji değerine kadar azalıp, bu değerden sonra tekrardan artış gösterme eğilimine sahiptir.
- GBH, Hibrit ve İki Bileşenli Eksiton Model hesaplamaları deneysel verilerle oldukça uyumlu bulunmuştur. İki Bileşenli Eksiton Model, deney sonuçlarını açıklamada en başarılı modeldir.

Alfa girişli reaksiyonlar sonrası açığa çıkan nükleonlar için hesaplanan enerji spektrumlarının EXFOR'dan alınan verilerle karşılaştırılması TALYS 1.8 kodunun İki Bileşenli Eksiton ve Hauser-Feshbach Modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

- Hauser-Feshbach Model, $E_{\alpha}/4$ enerjisine kadar deneysel verilerle uyum göstermiş, daha yüksek enerjilerde, uyumunu yitirmiştir.
- İki Bileşenli Eksiton Model deneysel verilerle oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir.

Fotonükleer reaksiyonlar için, EXFOR'dan alınan veriler kullanılarak yeni GDR parametreleri hesaplanmıştır. Foto-nötron tesir kesitleri; ALICE 2011, TALYS 1.8, EMPIRE 3.1 ve yeni elde edilen GDR parametreleri ile hesaplanmış ve EXFOR

kütüphanesinden alınan değerlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Bütün hesaplamalar, deneysel verilerle benzer geometrik doğaya sahiptir. Genellikle deneysel verilere yakın tesir kesiti değerleri elde edilmiştir.
- Standart Lorentz Model kullanılarak elde edilen GDR parametreleri ile yapılan hesaplamalar (γ, n) tesir kesitleri için başarılı sonuç vermiştir. $(\gamma, 2n)$ reaksiyonlarında ise, deneysel verilerle benzer geometri sergilemiş ve maksimum tesir kesiti değeri dışında uyum sağlamıştır.
- Bu sonuçların, farklı reaksiyonlar için de yeni GDR parametrelerinin hesaplanması ve elde edilen sonuçların analiz edilmesini gerektiren nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Deneysel veriler kullanılarak; (α, p) reaksiyonu için 19 ± 1 MeV enerjisinde tesir kesiti formülleri elde edilmiştir. Nükleer modeller kullanılarak ve yarı-ampirik tesir kesiti formüllerine göre hesaplanan tesir kesiti değerleri deneysel verilerle karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Elde edilen veriler şu şekilde özetlenebilir.

- Tesir kesiti değeri, asimetri parametresi ile ters orantılıdır. Asimetri parametresi arttıkça, tesir kesiti değeri düşmektedir.
- Yalnızca inelastik tesir kesiti etkisini içeren hesaplamalarda, tüm çekirdekler için; $R^2 = 0,88$, çift Z – çift N sayısına sahip çekirdekler için $R^2 = 0,92$ bulunmuştur.
- Yalnızca Coloumb etkisi dahil edilerek yapılan hesaplamalarda; tüm çekirdekler için $R^2 = 0,84$, çift Z – çift N sayısına sahip çekirdekler için $R^2 = 0,93$ bulunmuştur.

- Hem inelastik hem de Coloumb etkisi dahil edilerek yapılan hesaplamalarda; tüm çekirdekler için, $R^2 = 0,84$, çift Z – çift N sayısına sahip çekirdekler için $R^2 = 0,94$ bulunmuştur.
- Yarı-ampirik formül, deneysel verilere yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Bazı reaksiyonlar için, deneylerle uyumu teorik model hesaplamalarından daha iyidir.

Deney yapmanın mümkün olmadığı durumlarda simülasyon modelleri araştırmacılara bir öngörü sağlamaktadır. Füzyon ve fisyon reaktörlerinde, hızlandırıcılarda ve diğer nükleer araştırma merkezlerinde yüksek verimlilik elde edilmesi ve güvenliğin sağlanması için uygun malzemelerin seçilmesi önemlidir. Malzeme bilimi çalışmaları için ise, çekirdek ve yapısının daha iyi anlaşılması gereklidir. Bu yüzden, çekirdek deformasyonun bir ölçüsü olan GDR parametreleri daha iyi analiz edilmeli ve deneysel sonuçların bulunmadığı enerji değerleri için sistematik çalışmalar gerçekleştirilmelidir. Bu ve benzeri çalışmalar; nükleer yapının araştırılması, nükleer veri tabanının güçlenmesi, hızlandırıcı ve reaktör teknolojisinin geliştirilmesi, nötron üretimi için malzeme seçimi ve büyük maliyet gerektiren ya da yüksek enerjilerde yapılamayan deneysel çalışmalar için bir öngörü olması bakımından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Akça, S., Tel, E., Güngör, S., 2015. Semi-Empirical Formula with new Coefficients of the (α, n) Reaction Cross-Section. *Acta Polonica A*, (128), 128-131.
- Arya, A.P., 1983. Çekirdek fiziğinin esasları; Çev. Yusuf Şahin. Atatürk Üniversitesi yayınları, No:3, 370s. Erzurum.
- Asner, D., M., Burns, K., Campbell, L., W., Greenfield, B., Kos, M., S., Orrell, J., L., Schram, M., VanDevender, B., Wood, L., S., Wootan, D., W., 2015. Method of fission product beta spectra measurements for predicting reactor anti-neutrino emission. *Nucl. Instrum. Meth. A*, (776), 75-82.
- Avriganu, M., Avriganu, V., 2010. α -particle nuclear surface absorption below the Coulomb barrier in heavy nuclei. *Physical Review C*, (82), 1-7.
- Aydın, A., 1989. Eksiton modelde pauli ilkesi ve sonlu potansiyel kuyusu etkilerinin hesaplanması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, Ankara.
- Aydın, A., Pekdoğan, H., Kaplan, A., Sarpün, İ. H., Tel, E., Demir, B., 2015. Comparison of Level Density Models for the 60,61,62,64Ni(p,n) Reactions of Structural Fusion Material Nickel from Threshold to 30 MeV. *J. Fusion Energ.* 34 (5), 1105-1108.
- Belgaid, M., Ashgar, M., 1999. Semi-empirical Systematics of (n, α) Cross-Sections for 14,5 MeV Neutrons. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, 149 (4), 383-389.
- Bethe, H. A., 1937. Nuclear Physics B. Nuclear Dynamics, Theoretical. *Reviews of Modern Physics*, 9 (2), 69-244.
- Blann M., 1971. Hybrid model for pre-equilibrium decay in nuclear reactions. *Phys. Rev. Lett.*, 27 (6), 337.
- Blann, M., Konobeev, A., A., Wilson, W., B., Mashnik, S., G., 2008, Manual code for Alice version July 7, 2008.
- Bohr, N., 1936. Neutron capture and nuclear constitution. *Nature*, 137, 344-348
- Bothe, W., Becker, H., 1930. Eine Kern- γ -Strahlung bei leichten Elementen. *The Science of Nature*. 18(31), 705-705.
- Bölükdemir, M. H., Tel, E., Aydın, A., Okuducu, Ş., Kaplan, A., 2011. The effect of the initial eksiton numbers on 54,56Fe(p,xp) Pre-Equilibrium Reactions. *Phys. Atom Nucl.*, 74(2), 209-215.
- Broeders, C. H. M., Konobeyev, A. Yu., Korovin, Yu. A., Lunev, V. P., 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. Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft Wissenschaftliche Berichte FZKA 7183.

Canbula, D., 2012. Tüm çekirdek bölgesi için seviye yoğunluğu parametrelerinin yarı-klasik yaklaşımlar yardımıyla incelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 58 s, Manisa.

Chadwick, J., 1932. The Existence of a Neutron. Proc. Roy. Soc. Lond. A, 136 (830), 692-708.

Cline, C.K., 1972. The pauli exclusion principle in pre-equilibrium decay. Nucl. Phys. A, 195 (2), 353-360.

Cockcroft, J., D., Walton, E., T., S., 1930. Experiments with High Positive Ions, Proc. R. Soc. Lond. A, 129, 477-489.

Çapalı, V., 2015. Ni, Bi ve Pu Fisyon Reaktörleri Yapısal Elementlerinin Tesir Kesitlerinin Teorik Olarak İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 163 s, Isparta.

Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016. Reaction Cross Section Calculations in Neutron Induced Reactions and GEANT4 Simulation of Hadronic Interactions for the Reactor Moderator Material BeO, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(2), 161-166.

Demetriou, P., Goriely, S., 2001. Microscopic nuclear level densities for practical applications, Nucl. Phys. A, (695), 95-108.

Demetriou, P., Grama, C., Goriely, S., 2002. Improved global α -optical model potentials at low energies. Nuclear Physics A, 707, 253-276.

Demir, B., Sarpün, İ. H., Kaplan, A., Çapalı, V., Aydın, A. and Tel, E., 2015. Double Differential Cross Section and Stopping Power Calculations of Light Charged Particle Emission for the Structural Fusion Materials 50,52Cr, J. Fusion Energ. 34 (4), 808-816.

EXFOR (Experimental Nuclear Reaction Data File), Database Version of November 21, 2017. Brookhaven National Laboratory National Nuclear Data Centre. İnternet Sitesi. <http://www.nndc.bnl.gov/nndc/exfor/>. Erişim Tarihi: 21.11.2017.

Gadioli, E., Hodgson, P.E., 1992. Pre-equilibrium nuclear reactions. Oxford University Press, 518s, New York.

Gilbert, A. Cameron, A. G. W., 1965. A composite nuclear level density formula with shell corrections, Canadian Journal of Physics, 43 (8), 1446-1496.

- Gökçe, A. A., 2013. Alfalarla oluşturulan ve alfa yayımlanan nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin ve uygulama alanlarının araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 113 s, Adana.
- Griffin JJ, 1966. Statistical model of intermediate structure, *Phys. Rev. Lett.*, 17, 478.
- Grossjean, M. K., Feldmeier, H., 1985. Level density of a Fermi gas with pairing interactions. *Nucl. Phys. A*, 444, 113-132.
- Gruppelaar, H., Nagel, P., Hodgson, P., E., 1986. Pre-equilibrium processes in nuclear reaction theory: the state of the Art and Beyond. *Riv. Nuovo Cimento*, 9 (7), 1-46.
- Hahn, O., Strassmann, F., 1939. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. *Naturwissenschaften*, 27(1), 11-15.
- Harp, G., D., Miller, J., M., Berne, B., J., 1968. Attainment of Statistical Equilibrium in Excited Nuclei, *Phys. Rev.* (165), 1166-1169.
- Harp, G., D., Miller, j. M., 1971. Precompound Decay from a Time-Dependent Point of View, *Phys. Rev. C*, 3 (5), 1847-1855.
- Harries, D., R., 1983. Ferritic Martensitic Steels for Use in Near Term and Commercial Fusion Reactors. *Proceedings of the Topical Conference on Ferritic Alloys for Use in Nuclear Energy Technologies*, June 19-23, 1983, Snowbird Utah, 141-152.
- Harvey, R., R., Caldwell, J., D., Bramblett, R., L., Fultz, S., C., 1964. Photoneutron Cross Sections of Pb206 , Pb207 , Pb208 , and Bi209, *Phys. Rev.* (18), 126-131.
- Hauser, W., Feshbach, H., 1952. The Inelastic Scattering of Neutrons, *Phys. Rev.* 87 (2), 366-393.
- Herman, M., Capote, R., Sin, M., Trkov, A., Carlson, B. V., Oblozinsky, P., Mattoon, C. M., Wienkey, H., Hoblit, S., Young-Sik Cho, Plujko, V. and Zerkov, V., 2012. EMPIRE-3.1 Rivoli Modular System For Nuclear Reaction Calculations And Nuclear Data Evaluation, User's Manual.
- Hillairet, J., Chen, Z., Lombard, G., Delaplanche, J., M., Vulliez, K., Yang, Q., Beaumont, B., Calarco, F., Charabot, N., Kazarian, F., Lamalle, P., Bernard, J., M., Bruno, V., Hatchressian, J., C., Laloo, R., Mollard, P., Song, Y., Turq, V., Volpe, R., 2017. Radiofrequency and Mechanical Tests of Silver Coated CuCrZr Contacts for the ITER Ion Cyclotron Antenna, *Erişim Tarihi: 20/11/2017*. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1710/1710.03632.pdf>.
- Hodgson, P. E., Field, M. G., Gruppelaar, H., Nagel, P., 1986. Pre-Equilibrium Processes in Nuclear Reactions. *Radiat. Eff.* 95, 27-46.

- Hofstadter, R., 1957. Nuclear and Nucleon Scattering of High-Energy Electrons, *Annu. Rev. Nucl. Sci.* 7, 231-316.
- Holub, H., Caplar, E., Cindro, N., 1980. A Consistent Study of Precompound and Compound–Nucleus Emission Mechanisms in Neutron–Induced Reactions. *Zeithschrift Physik A. Atom and Nuclei*, 296, 341–357.
- Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A., Tel, E., 2013a, Deuteron-Induced Cross Section Calculations of Some Structural Fusion Materials, *J. Fusion Energ.* 32 (1), 97-102.
- Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A., Tel, E., 2013b, Photo-neutron Cross Section Calculations of Several Structural Fusion Materials, *J. Fusion Energ.* 32 (3), 344-349.
- Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A., Tel, E., 2013c, (g,2n) Reaction Cross Section Calculations on Several Structural Fusion Materials, *J. Fusion Energ.* 32 (4), 431-436.
- Kaplan, A., Çapalı, V., 2014, Cross Section Calculations on Several Structural Fusion Materials for (g,3n) Reactions in the Photon Energy Range of 20-110 MeV, *J. Fusion Energ.* 33 (3), 299-303.
- Kaplan, A., Şekerci, M., Çapalı, V., Özdoğan, H., 2016, Computations of (α ,xn) Reaction Cross-Section for 107,109Ag Coated Materials with Possible Application in Accelerators and Nuclear Systems, *J. Fusion Energ.* 35 (4), 715–723.
- Koning, A. J., Akkermans J. M., 1998. Pre-equilibrium nuclear reactions: An introduction to classical and quantum-mechanical mod. Erişim Tarihi: 05.05.2017.
ftp://ftp.nrg.eu/pub/www/talys/bib_koning/1998_Koning_preeq_ICTP.pdf.
- Koning, A. J., Hilarie, S., Goriely, S., 2008. Global and Local Level Density Models, *Nuclear Physics A*, 810, 13-76.
- Koning, A. J., Hilaire, S., Goriely S., 2013. TALYS–1.6 A Nuclear Reaction Program. Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), User Manual, Netherlands.
- Koning, A. J., Hilaire, S., Goriely S., 2015. TALYS–1.8 A Nuclear Reaction Program. Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), User Manual, Netherlands.
- Krane, K. S., 2002. Nükleer Fizik–II. Çev. Şarer, B., Palme Yayıncılık, 460s. Ankara.
- Levkovskii, V., N., 1964, Empirical behavior of the (n,p) cross section for 14-15 mev neutrons, *Sov. Phys. JETP*, (18), 213-218.
- Magaud, M., Marbach, G., 2004. Nuclear Fusion Reactors. Cleveland, C., J., (Ed.), *Encyclopedia of Energy* (365-381), Elseiver Inc., 775 s.

- McFadden, L., Satchler, G. R., 1966. Optical model analysis of the scattering of 24,7 MeV alpha particles. Nuclear Physics, 84, 177-200.
- Murray, R., L., Holbert, K., E., 2014. Nükleer Enerji Nükleer Süreç Kavramlarına, Sistemlerine, ve Uygulamalarına Giriş. Nobel Yayıncılık, 548s, Ankara
- Özdoğan, H., Çapalı, V., Kaplan, A., 2015. Reaction Cross-Section, Stopping Power and Penetrating Distance Calculations for the Structural Fusion Material 54Fe in Different Reactions. J. Fusion Energ. 34 (2), 379-385.
- Plujko, V., A., Capote, R., Gorbachenko, O. M., 2011. Giant dipole resonance parameters with uncertainties from photonuclear cross sections. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 97, 567-585.
- Sahan, M., Tel, E., Sahan, A., Kara, A., Aydın, A., Kaplan, A., Sarpun I. H., Demir, B., Akca, S., Yildiz, E., 2015, Calculations of Double-Differential Neutron Emission Cross Sections for 9Be Target Nucleus at 14.2 MeV Neutron Energy. J. Fusion Energ., 34 (3), 493-499.
- Sarpün, İ. H., Aydın, A., Kaplan, A., Demir, B., Tel, E., Çapalı, V., 2015. Double Differential Charged Particle Emission Cross Sections and Stopping Power Calculations for Structural Fusion Materials 58,60Ni. J. Fusion Energ., 34 (6), 1306-1313.
- Satchler, G., R., 1990, Introduction to Nuclear Reactions, Macmillan Education LTD, 318, Hong Kong.
- Segebade, C., Weise H. P., Lutz G. J., 1987, Photon Activation Analysis, Walter de Gruyter and Co., Berlin.
- Suri, A., K., Krishnamurthy, N., Batra, I., S., 2010. Materials Issues on Fusion Reactors, J. Phys.: Conf. Ser. 208, 1-16.
- Şarer, B., Hançerlioğlu, A., Savruk, N., 2005, A Design For Apex Fusion Reactor Model By Using Monte Carlo Method, G. U. Journal of Science, 18 (1), 201-210.
- Şekerci, M., Çapalı, V., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016, LiH Reaktör Moderatör Malzemesi İçin Hadronik Etkileşimlerin Geant4 Benzetimi, Süleyman Demirel University Journal of Science (e-journal), 11(2), 82-88.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2014. Nükleer güç santralleri ve Türkiye, Erişim Tarihi: 19.05.2017.
http://nepud.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F2%2FDocuments%2FYay%C4%B1n%2FNukleer_Enerji_ve_Turkiye.pdf
- Tel, E., Sarer, B., Okuducu, S., Aydın, A., Tanir, G., 2003. A new empirical Formula for 14–15 MeV neutron-induced (n,p) reaction cross-sections. Journal of Physics G, 29, 2169–2177.

- Tel, E., Aydın, A., Tanir, G., 2007. Investigation of the pairing effect using newly evaluated empirical studies for 14–15 MeV neutron reaction cross sections. *Physical Review C*, 75, 034614.
- Tel, E., Durgu, C., Aydın, A., Bölükdemir, M. H., Kaplan, A., Okuducu Ş., 2009. New Evaluated Semi-empirical Formula Using Optical Model for 14-15 MeV (n,t) Reaction Cross Sections, *J. Fusion Energ.* 28 (4), 377-384.
- Tel E., Akca, S., Kara, A., Yigit, M., Aydın, A., 2013. (p,α) Reaction Cross Sections Calculations of Fe and Ni Target Nuclei Using New Developed Semi-empirical Formula., *J. Fusion Energ.*, 32, 531-535.
- Uluslararası Enerji Ajansı, 2012. World Energy Outlook. Erişim Tarihi: 05.05.2017. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2012_free.pdf.
- Victoria, M., Baluc, N., Spätig, P., 2002. Structural Materials For Fusion Reactors. Erişim Tarihi: 01.06.2017. http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/029/33029033.pdf.
- Watanabe, S., 1958. High energy scattering of deuterons by complex nuclei. *Nuclear Physics*, 8, 484-492.
- Weisskopf, V.F., Ewing, D.H., 1940. On the yield of nuclear reactions with heavy elements. *Physical Review*, 57, 472-485.
- Yılmaz, M., 1998. Çekirdek Fiziği. Balıkesir Üniversitesi Yayınları, 201s, Balıkesir.
- Yalçiner, E. G., 2008. Proton hızlandırıcılarının nükleer uygulama alanları ile protonlarla oluşturulan nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 132s, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hasan ÖZDOĞAN

Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul, 1986

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : hasanozdogan@akdeniz.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Antalya Anadolu Lisesi, 2004

Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı

Mesleki Deneyim

Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi 2013-..... (halen)

Yayınları

Kaplan, A., Şekerci, M., Çapalı, V., Özdoğan, H., 2016, Computations of (a,xn) Reaction Cross-Section for 107,109Ag Coated Materials with Possible Application in Accelerators and Nuclear Systems, J. Fusion Energ. 35 (4), 715–723.

Kaplan, A., Sarpün, İ. H., Aydın, A., Tel, E., Çapalı, V. and Özdoğan H., 2015, (g,2n) Reaction Cross Section Calculations of Several Even–Even Lanthanide Nuclei Using Different Level Density Models, Phys. Atom Nucl. 78 (1), 53-64.

Özdoğan, H., Çapalı, V., Kaplan, A., 2015, Reaction Cross–Section, Stopping Power and Penetrating Distance Calculations for the Structural Fusion Material 54Fe in Different Reactions, J. Fusion Energ. 34 (2), 379-385.

Demir B., Kaplan A., Çapalı V., Özdoğan H., Sarpün İ. H., Aydın A. and Tel E., 2015, Neutron Production Cross–Section and Geant4 Calculations of the Structural Fusion Material 59Co for (a,xn) and (g,xn) Reactions, J. Fusion Energ. 34 (3), 636-641.

Kaplan, A., Çapalı, V., Özdoğan, H., Aydın, A., Tel, E., Sarpun, İ. H., 2014, (3He,xn) Reaction Cross-Section Calculations for the Structural Fusion Material 181Ta in the Energy Range of 14-75 MeV, J. Fusion Energ. 33 (5), 510-515.

- Kaplan, A., Özdoğan H., Aydın, A., Tel, E., 2014, Photo-Neutron Cross-Section Calculations of $^{142,143,144,145,146,150}\text{Nd}$ Rare-Earth Isotopes for (g,n) Reaction, Phys. Atom Nucl. 77 (11), 1371-1377.
- Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A., Tel, E., 2013, Deuteron-Induced Cross Section Calculations of Some Structural Fusion Materials, J. Fusion Energ. 32 (1), 97-102.
- Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A., Tel, E., 2013, Photo-neutron Cross Section Calculations of Several Structural Fusion Materials, J. Fusion Energ. 32 (3), 344-349.
- Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A., Tel, E., 2013, (g,2n) Reaction Cross Section Calculations on Several Structural Fusion Materials, J. Fusion Energ. 32 (4), 431-43
- Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016, Reaction Cross Section Calculations in Neutron Induced Reactions and GEANT4 Simulation of Hadronic Interactions for the Reactor Moderator Material BeO, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(2), 161-166.
- Kaplan, A., Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., 2016, Effects of Mean Free Path Parameters for Reaction Cross-Section Calculations, Cumhuriyet University Science Journal, Vol 37: Special Issue II, 94-99.
- Şekerci, M., Çapalı, V., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016, Production Cross-Section of Medical ^{177}Lu Using Neutron and Proton Induced Reactions, Cumhuriyet University Science Journal, Vol 37: Special Issue II, 117-121.
- Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016, Reaction Cross-Section Calculations of the Structural Reactor Materials $^{58,60,61,62,64}\text{Ni}$ for Different Level Density Models, Cumhuriyet University Science Journal, Vol 37: Special Issue II, 151-160.
- Özdoğan, H., Şekerci, M., Çapalı, V., Kaplan, A., 2016, Cross-Section Calculations of (g,xn) and (p,xn) Reactions for Au-197, Cumhuriyet University Science Journal, Vol 37: Special Issue II, 217-222.
- Şekerci, M., Çapalı, V., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016, LiH Reaktör Moderatör Malzemesi İçin Hadronik Etkileşimlerin Geant4 Benzetimi, Süleyman Demirel University Journal of Science (e-journal), 11(2), 82-88.
- Doğan, S. S., Çapalı, V., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2014, Eriyik Tuz Reaktörlerinde Yakıt Malzemesi Olarak Kullanılan Na Çekirdeğinin Üretim Tesir Kesiti Hesaplamaları, Süleyman Demirel University, Arts and Sciences Faculty, Journal of Science (E-journal), 9 (2), 100-106.
- Çapalı, V., Özdoğan, H., Doğan, S. S., Kaplan, A., 2014, ^{27}Al , ^{54}Fe , ^{58}Ni ve ^{90}Zr Hedef Çekirdekleri İçin 10–30 MeV Enerji Aralığında (g,p) Reaksiyon Tesir

Kesiti Hesaplamaları, Süleyman Demirel University, Arts and Sciences Faculty, Journal of Science (E-journal), 9 (2), 107-112.

Özdoğan, H., Kaplan, A., 2013, 197Au İçin Reaksiyon Tesir Kesiti Hesaplamaları, Süleyman Demirel University, Arts and Sciences Faculty, Journal of Science (E-journal), 8 (1), 82-91.

Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., Demir, B., Kaplan, A., 2016, Akciğer Tümörü İçin Foton Ve Proton Işın Tedavilerinin Geant4-Monte Carlo Yöntemiyle Karşılaştırmalı Benzetimi, ADIM Fizik Günleri-V, 21-23 Nisan 2016, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ESKİŞEHİR.

Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016, Lu-177 Radyoizotopunun Üretim Tesir Kesiti Hesaplamaları, XI. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 12-14 Ekim 2016, Kuşadası/AYDIN.

Çapalı, V., Özdoğan, H., Şekerci, M., Kaplan, A., 2015, Geant4 Simülasyon Programı Kullanılarak Protonlarla Işınlanan Beyin Dokusu İçin Penetrasyon ve Depo Edilen Enerji Hesaplamaları, ADIM Fizik Günleri-IV, 28-29 Mayıs 2015, Dumlupınar Üniversitesi, KÜTAHYA.

Şekerci, M., Çapalı, V., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016, LiH Reaktör Moderator Malzemesi İçin Hadronik Etkileşimlerin Geant4 Benzetimi , ADIM Fizik Günleri-V, 21-23 Nisan 2016, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ESKİŞEHİR.

Kaplan, A., Çapalı, V., Özdoğan, H., Şekerci, M., 2015, Zırhlama Malzemesi Olarak Kullanılan Ağır Beton Duvarların Radyasyon Geçirgenliği Geant4 Yazılımı İle İncelenmesi, ADIM Fizik Günleri-IV, 28-29 Mayıs 2015, Dumlupınar Üniversitesi, KÜTAHYA.

Şekerci, M., Çapalı, V., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2015, Nükleer Reaktörlerde Moderatör Malzeme Olarak Kullanılan Doğal Karbon Çekirdeği İçin Tesir Kesiti Hesaplamaları, ADIM Fizik Günleri-IV, 28-29 Mayıs 2015, Dumlupınar Üniversitesi, KÜTAHYA.

Çapalı, V., Özdoğan, H., Doğan, S. S., Kaplan, A., 2014, 27Al, 54Fe, 58Ni ve 90Zr Hedef Çekirdekleri İçin 10-30 MeV Enerji Aralığında (g,p) Reaksiyon Tesir Kesiti Hesaplamaları, ADIM Fizik Günleri-III, 17-18 Nisan 2014, Süleyman Demirel Üniversitesi, ISPARTA.

Doğan, S. S., Özdoğan, H., Çapalı, V., Kaplan, A., 2014, Eriyik Tuz Reaktörlerinde Yakıt Malzemesi Olarak Kullanılan Na Çekirdeğinin Üretim Tesir Kesiti Hesaplamaları, ADIM Fizik Günleri-III, 17-18 Nisan 2014, Süleyman Demirel Üniversitesi, ISPARTA.

Özdoğan, H., Çapalı, V., Doğan, S. S., Kaplan, A., 2014, Foton Girişli Reaksiyonlarda Bazı Nd İzotoplarının Tesir Kesiti Hesaplamaları, ADIM Fizik Günleri-III, 17-18 Nisan 2014, Süleyman Demirel Üniversitesi, ISPARTA.

- Özdoğan, H., Kaplan, A., Ergün, Y., 2012, Pre-equilibrium and Equilibrium Emission in Nucleon Induced Reactions for Some Fusion Structural Materials, ADIM Fizik Günleri-II, 25-27 Mayıs 2012, Pamukkale Üniversitesi, DENİZLİ.
- Özdoğan, H., Kaplan, A., Ergün, Y., 2012, Cross Section Calculations in Nucleon Induced Reactions for ^{197}Au , ADIM Fizik Günleri-II, 25-27 Mayıs 2012, Pamukkale Üniversitesi, DENİZLİ.
- Kaplan, A., Ergün, Y., Özdoğan, H., 2012, 15 MeV'lik Siklotronunda Üretilen Bazı Tıbbi Radyoizotopların Nötron Yayınlanma Spektrumlarının İncelenmesi, ADIM Fizik Günleri-II, 25-27 Mayıs 2012, Pamukkale Üniversitesi, DENİZLİ.
- Ergün, Y., Kaplan, A., Özdoğan, H., 2012, Tıbbi Görüntüleme Tekniklerinde Kullanılan Radyoizotopların Tesir Kesitlerinin Hesaplanması, ADIM Fizik Günleri-II, 25-27 Mayıs 2012, Pamukkale Üniversitesi, DENİZLİ.
- Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016, Geant4 Simulation of Nuclear Interactions for Some Polymers Used as Radiation Shielding Material, International Workshop on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT 2016), April 28-30 2016, Mustafa Kemal University, Hatay/TURKEY.
- Şekerci, M., Çapalı, V., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016, Cross Section Computations of $^{238-242}\text{Pu}$ Nuclei Used as Nuclear Reactor Fuel Recycle Material, International Workshop on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT 2016), April 28-30 2016, Mustafa Kemal University, Hatay/TURKEY.
- Kaplan, A., Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., 2016, Neutron Emission Spectra for ^{208}Pb Target Nucleus, International Workshop on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT 2016), April 28-30 2016, Mustafa Kemal University, Hatay/TURKEY.
- Kaplan, A., Şekerci, M., Özdoğan, H., Çapalı, V., 2017, (g,abs) Cross-section Calculations of Some Fusion Structural Materials, International Workshop on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT2017), May 9-12 2017, Çukurova University, Adana/TURKEY.
- Kaplan, A., Çapalı, V., Özdoğan, H., 2015, Fission Cross Section Calculations for ^{209}Bi Target Nucleus Based on Fission Reaction Model in High Energy Regions, EPJ Web of Conferences 100, 01003.
- Şekerci, M., Çapalı, V., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2017, Total Cross-section Calculations of Neutron Induced Reactions for Some Control Rod Materials Used in Nuclear Reactors, International Workshop on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT2017), May 9-12 2017, Çukurova University, Adana/TURKEY.
- Özdoğan, H., Şekerci, M., Çapalı, V., Kaplan, A., 2017, Production Cross-section Calculations of Medical Tb Isotopes, International Workshop on Theoretical

and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT2017), May 9-12 2017, Çukurova University, Adana/TURKEY.

Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2017, Investigation of Neutron and Gamma Induced Reaction Effects on TiO₂ and Al₂O₃ coated Nickel Used at Nuclear Reactors, International Workshop on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT2017), May 9-12 2017, Çukurova University, Adana/TURKEY.

Özdoğan, H., Yaraş, N., Kaplan, A., 2017, Radiation Effects on Membrane Proteins of Voltage Gated Sodium Channels, International Workshop on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT2017), May 9-12 2017, Çukurova University, Adana/TURKEY.

Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2017, A New Developed Semi-Empirical Formula for Nuclear Reaction Cross-Section Calculations, 4th International Conference on Recent Advances in Pure and Applied Mathematics (ICRAPAM 2017), May 11-15, 2017, Kuşadası, Aydın/TURKEY.

Kaplan, A., Özdoğan, H., Şekerci, M., Çapalı, V., 2017, Semi-Empirical Systematic Development for Photon Induced Nuclear Reaction Cross-Section Calculations, 4th International Conference on Recent Advances in Pure and Applied Mathematics (ICRAPAM 2017), May 11-15, 2017, Kuşadası, Aydın/TURKEY

Çapalı, V., Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2016, Reaction Cross-Section Calculations of the Structural Reactor Materials ^{58,60,61,62,64}Ni for Different Level Density Models, 1st INTERNATIONAL UNDERGROUND RESOURCES AND ENERGY CONFERENCE , 6-8 October 2016 , Bozok Üniversitesi, Yozgat.

Akbaş, U., Okutan, M., Demir, B., Köksal, C., Sarpün, İ. H., Çapalı, V., Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A., 2015, Dosimetric Comparison of Tools Used in the Quality Assurance of Intensity Modulated Radiation Therapy: A Phantom Study, International Workshop on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT2015), April 23-26 2015, Osmaniye Korkut Ata University.