

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

(α, n) NÜKLEER REAKSİYONLARI İÇİN YARI-AMPİRİK
ASTROFİZİKSEL S-FAKTÖR FORMÜLLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ERCAN YILDIZ

AĞUSTOS - 2016

Fizik Anabilim Dalında Ercan YILDIZ tarafından hazırlanan ““(α,n) Nükleer Reaksiyonları için Yarı-ampirik Astrofiziksel S-Faktör Formüllerinin Geliştirilmesi”” adlı Doktora Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Saffet NEZİR
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Doktora Tezi** olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Abdullah AYDIN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Eyyüp TEL
Üye : Prof. Dr. Abdullah AYDIN
Üye : Doç. Dr. M. Hicabi BÖLÜKDEMİR
Üye : Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN
Üye : Doç. Dr. Mahmut BÖYÜKATA

.../.../ 2016

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

(α,n) NÜKLEER REAKSİYONLARI İÇİN YARI-AMPİRİK ASTROFİZİKSEL S-FAKTÖR FORMÜLLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

YILDIZ, Ercan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Abdullah AYDIN

AĞUSTOS 2016, 97 sayfa

Bu çalışmada ^{45}Sc , ^{46}Ti , ^{51}V , ^{50}Cr , ^{55}Mn , ^{54}Fe , ^{59}Co , ^{62}Ni , ^{63}Cu , ^{68}Zn , ^{69}Ga , ^{70}Ge , ^{75}As , ^{76}Se , ^{85}Rb , ^{86}Sr , ^{89}Y , ^{92}Mo , ^{100}Ru , ^{103}Rh , ^{107}Ag , ^{106}Cd , ^{113}In , ^{116}Sn , ^{121}Sb , ^{130}Te , ^{127}I , ^{130}Ba , ^{139}La , ^{141}Pr ve ^{150}Nd hedef çekirdeklerinde (α,n) reaksiyonları için tesir kesitleri TALYS 1.6 nükleer reaksiyon kodu ve NON-SMOKER web tabanlı hesaplama kodu kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen teorik tesir kesiti değerleri, EXFOR nükleer veri kütüphanesinde var olan deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu hedef çekirdekler, yarı-ampirik astrofiziksel S-faktör formüllerini elde etmek ve test etmek için örnekleme ve test çekirdekleri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Test çekirdekleri keyfi olarak ^{46}Ti , ^{69}Ga , ^{75}As , ^{103}Rh , ^{121}Sb ve ^{130}Ba olarak seçilmiş, diğer çekirdekler ise örnekleme grubunu oluşturmuştur. Daha sonra, örnekleme çekirdeklerinde matematiksel fit işlemi yapılarak (α,n) reaksiyonlar için yarı-ampirik astrofiziksel S-faktörü (Fit1, Fit2 ve Fit3) denklemleri elde edilmiştir. Bu denklemler kullanılarak test çekirdeklerinin S-faktör değerleri hesaplanmış ve literatürdeki değerlerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Astrofiziksel S-faktörü, EXFOR, NON-SMOKER, TALYS 1.6, Tesir kesiti

ABSTRACT

THE DEVELOPMENT OF SEMI-EMPIRICAL ASTROPHYSICAL S-FACTOR FORMULAS FOR THE (α ,n) NUCLEAR REACTIONS

YILDIZ, Ercan
Kırıkkale University

Institute of Sciences

Department of Physics, Ph.D. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Abdullah AYDIN

AUGUST 2016, 97 pages

In this thesis, (α ,n) reaction cross-sections have been calculated in ^{45}Sc , ^{46}Ti , ^{51}V , ^{50}Cr , ^{55}Mn , ^{54}Fe , ^{59}Co , ^{62}Ni , ^{63}Cu , ^{68}Zn , ^{69}Ga , ^{70}Ge , ^{75}As , ^{76}Se , ^{85}Rb , ^{86}Sr , ^{89}Y , ^{92}Mo , ^{100}Ru , ^{103}Rh , ^{107}Ag , ^{106}Cd , ^{113}In , ^{116}Sn , ^{121}Sb , ^{130}Te , ^{127}I , ^{130}Ba , ^{139}La , ^{141}Pr and ^{150}Nd target nuclei with TALYS 1.6 and NON - SMOKER web-based code. Theoretical cross-sections were compared with available experimental values in EXFOR nuclear data library. These nuclei were divided into two groups as sampling and test nuclei to get and test of semi empirical equation of astrophysical S-factor formulas. ^{46}Ti , ^{69}Ga , ^{75}As , ^{103}Rh , ^{121}Sb and ^{130}Ba have been selected arbitrarily as test nuclei, and other nuclei formed the sampling nuclei group. Then, astrophysical S-factor (Fit1, Fit2 and Fit3) semi-empirical equations obtain by using mathematical fit for the (α ,n) reactions performed in the sampling kernel process. These semi-empirical equations have been used to calculate S-factor values of test nuclei to compare with values in literature.

Keywords: Astrophysical S-factor, Cross-section, EXFOR, NON-SMOKER, TALYS

TEŞEKKÜR

Doktora tezim boyunca kaynaklarını ve tecrübesini benimle paylaşan danışmanım Sayın Prof. Dr. Abdullah AYDIN’a, bu çalışmayı yapmam için beni cesaretlendirip yol gösteren Sayın Doç.Dr. İsmail Hakkı SARPÜN’e ve bilgi ve yapıcı eleştirileri ile yol gösteren Sayın Doç.Dr. Mustafa Hicabi BÖLÜKDEMİR’e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Lisans eğitimimden başlayarak bütün akademik çalışmam boyunca bana yol gösteren bilgi ve becerilerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Eyyüp TEL’e minnettarlığımı belirtirim.

Doktora çalışmam boyunca destek ve sabrını esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Nükleer Reaksiyonlar	4
1.2. Tesir Kesiti ve Nükleer Reaksiyonlar	7
1.3. Büyük Patlama (Big Bang) ve Gelişim Süreci	11
1.4. Büyük Patlama Çekirdek Sentezi	13
1.5. $A < 60$ Çekirdeklerinin Sentezi	13
1.5.1. Hidrojen Yanması	14
1.5.2. CNO Çevrimi	15
1.6. $A > 60$ Çekirdeklerinin Sentezi	19
1.6.1. s-süreci	19
1.6.2. r-süreci	20
1.6.3. p-süreci	21
1.7. Astrofiziksel S-faktörü ve Tesir Kesiti.....	23
2. MATERYAL VE YÖNTEM	26
2.1. Çalışma Yöntemi ve Aşamaları.....	26
2.1.1. Talys Kodu	26
2.1.2. Non-Smoker web	27

2.1.3. Hesaplama Yöntemi	27
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	28
3.1. $^{45}\text{Sc}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	28
3.2. $^{46}\text{Ti}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	29
3.3. $^{51}\text{V}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	30
3.4. $^{50}\text{Cr}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	31
3.5. $^{55}\text{Mn}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	32
3.6. $^{54}\text{Fe}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	32
3.7. $^{59}\text{Co}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	34
3.8. $^{62}\text{Ni}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	34
3.9. $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	35
3.10. $^{68}\text{Zn}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	36
3.11. $^{69}\text{Ga}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	37
3.12. $^{70}\text{Ge}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	37
3.13. $^{75}\text{As}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	38
3.14. $^{76}\text{Se}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	39
3.15. $^{85}\text{Rb}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	40
3.16. $^{86}\text{Sr}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	41
3.17. $^{89}\text{Y}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	41
3.18. $^{92}\text{Mo}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	42
3.19. $^{100}\text{Ru}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	44
3.20. $^{103}\text{Rh}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	45
3.21. $^{107}\text{Ag}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	45
3.22. $^{106}\text{Cd}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	46
3.23. $^{113}\text{In}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	47
3.24. $^{116}\text{Sn}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	48

3.25. $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)$ Reaksiyonu.....	49
3.26. $^{130}\text{Te}(\alpha, n)$ Reaksiyonu.....	50
3.27. $^{127}\text{I}(\alpha, n)$ Reaksiyonu.....	51
3.28. $^{130}\text{Ba}(\alpha, n)$ Reaksiyonu.....	52
3.29. $^{139}\text{La}(\alpha, n)$ Reaksiyonu.....	52
3.30. $^{141}\text{Pr}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	53
3.31. $^{150}\text{Nd}(\alpha, n)$ Reaksiyonu	54
3.32. Fit1 İşlemi.....	57
3.33. Fit2 İşlemi.....	59
3.34. Fit3 İşlemi.....	63
3.35. $^{46}\text{Ti}(\alpha, n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2, Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)	66
3.36. $^{69}\text{Ga}(\alpha, n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)	67
3.37. $^{75}\text{As}(\alpha, n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)	68
3.38. $^{103}\text{Rh}(\alpha, n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)	69
3.39. $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)	70
3.40. $^{130}\text{Ba}(\alpha, n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)	71
4. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	72
4.1. $^{69}\text{Ga}(\alpha, n)$ Reaksiyonunda $E=8,082$ MeV İçin Fit1, Fit2 ve Fit3 Tesir Kesiti Değerleri.....	73
KAYNAKÇA	75

ULUSLARARASI KONFERANSLARDA SUNULAN BİLDİRİLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	82



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

Sayfa

1. 1. $^{64}\text{Zn}^*$ bileşik çekirdeği için farklı çıkış kanalları.....	5
1. 2. Zn bileşik çekirdeğinin oluşmasıyla sonuçlanan farklı reaksiyonlar için tesir kesitleri..	6
1.3. Reaksiyon geometrisi (saçılan parçacık demeti ile θ ve ϕ açılar doğrultusundaki bir $d\Omega$ katı açı elemanı içerisine yayınlanan parçacıklar kastedilmektedir).....	8
1.4. İki kürenin çarpışması; soldaki R_1 ve R_2 yarıçaplı iki kürenin çarpışması, sağdaki noktasal parçacığın R_1+R_2 yarıçaplı küre ile çarpışmasına ait tesir kesiti ile aynı değerdedir.....	10
1.5. Çekirdek Sentezi Teorisi.....	12
1.6. Kütle numarasına göre nükleon başına düşen bağlanma enerjisi değişimi.....	18
1.7. Ağır bir yıldızın süpernova patlamasından önceki durumunun şematik gösterimi	19
1.8. s-r ve p süreçlerinin şematik gösterimi.....	20
1.9. $\text{Si} = 10^6$ atomu referansında s-süreci , r-süreci ve p-süreci için güneş sistemi bollukları eğrisi.....	22
1.10. p-çekirdekleri için güneş sistemi bollukları eğrisi.....	22
1.11. Tesir kesiti ve astrofiziksel S-faktörünün enerjiye bağımlılığı.....	25
3.1. $^{45}\text{Sc}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	28
3.2. $^{46}\text{Ti}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	29
3.3. $^{51}\text{V}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	30
3.4. $^{50}\text{Cr}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	31
3.5. $^{55}\text{Mn}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	32
3.6. $^{54}\text{Fe}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	33
3.7. $^{59}\text{Co}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	34
3.8. $^{62}\text{Ni}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	34
3.9. $^{63}\text{Cu}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	35

3.10.	$^{68}\text{Zn}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	36
3.11.	$^{69}\text{Ga}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	37
3.12.	$^{70}\text{Ge}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	38
3.13.	$^{75}\text{As}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	38
3.14.	$^{76}\text{Se}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	39
3.15.	$^{85}\text{Rb}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	40
3.16.	$^{86}\text{Sr}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	41
3.17.	$^{89}\text{Y}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	42
3.18.	$^{92}\text{Mo}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	43
3.19.	$^{100}\text{Ru}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	44
3.20.	$^{103}\text{Rh}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	45
3.21.	$^{107}\text{Ag}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	46
3.22.	$^{106}\text{Cd}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	47
3.23.	$^{113}\text{In}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	47
3.24.	$^{116}\text{Sn}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	48
3.25.	$^{121}\text{Sb}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	49
3.26.	$^{130}\text{Te}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	50
3.27.	$^{127}\text{I}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	51
3.28.	$^{130}\text{Ba}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	52
3.29.	$^{139}\text{La}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	53
3.30.	$^{141}\text{Pr}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	54
3.31.	$^{150}\text{Nd}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri.....	55
3.32.	$^{46}\text{Ti}(\alpha, n)^{49}\text{Cr}$ için Fit1'in elde edilmesi.....	57
3.33.	$\ln S$ -Z grafiği (Örnekleme grubu).....	59
3.34.	C_0 'ın fit edilmesi ile elde edilen grafik	60
3.35.	C_1 'in fit edilmesi ile elde edilen grafik.....	61
3.36.	C_2 'in fit edilmesi ile elde edilen grafik.....	61
3.37.	C_3 'ün fit edilmesi ile elde edilen grafik.....	62
3.38.	$\ln[S\text{-Faktör}]$ - B_{tot} Grafiği.....	63
3.39.	C_0 'ın gelen E_α 'lara göre fit edilmesi yoluyla elde edilen grafik.....	65
3.40.	C_1 'in gelen E_α 'lara göre fit edilmesi yoluyla elde edilen grafik.....	65
3.41.	$^{46}\text{Ti}(\alpha, n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3	

değerleri.....	66
3.42. $^{69}\text{Ga}(\alpha,n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri.....	67
3.43. $^{75}\text{As}(\alpha,n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri.....	68
3.44. $^{103}\text{Rh}(\alpha,n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri.....	69
4.45. $^{121}\text{Sb}(\alpha,n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri.....	70
3.46. $^{130}\text{Ba}(\alpha,n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri.....	71
4.1. $^{69}\text{Ga}(\alpha,n)$ reaksiyonunda $E=8,082$ MeV için Fit1, Fit2 ve Fit3 tesir kesiti değerleri.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. X hedef çekirdeği, a gelen parçacığı ile etkileşmeye girdiğinde gözlenen nükleer durumlar.....	5
1.2. Tesir kesitlerinin sınıflandırılması.....	9
1.3. Proton-proton zincirinde üç farklı yoldan ${}^4\text{He}$ üretimi.....	14
1.4. CNO dönüşümü I. aşama.....	15
1.5. CNO dönüşümü II. aşama.....	16
1.6. CNO dönüşümü III. aşama.....	17
1.7. CNO dönüşümü IV. aşama.....	17
3.1. Reaksiyonların Q ve E_{thr} , İndirgenmiş kütle (μ), B_{tot} değerler.....	56
3.2. $\ln[S\text{-Faktör}]-Z(\text{Atom numarası})$ Grafiğinden elde edilen değerlerin enerji değerleri kullanılarak fit edilmesi sonucu elde edilen sabitleri.....	60
3.3. C_0 , C_1 ve C_2 nin fit edilmesiyle elde edilen C_{00} , C_{11} ve C_{12} sabitleri.....	62
3.4. C_0 ve C_1 'in, $\ln[S\text{-Faktör}]-B_{\text{tot}}$ Grafiğindeki değerler kullanılarak elde edilen değerleri.....	64
3.5. C_0 ve C_1 'in fit edilmesiyle elde edilen (C_{00} , C_{01} , C_{02} , C_{03} , C_{10} , C_{11} , C_{12} , C_{13}) değerleri.....	66

SİMGELER DİZİNİ

σ	tesir kesiti
$d\Omega$	katı açısı
$\sigma(\theta)$	diferansiyel tesir kesiti
b	Barn (1 b=100 fm ²)
$d\Omega$	Katı açısı
$d\sigma/d\varepsilon$	Diferansiyel tesir kesiti (Enerjiye bağlı)
$d\sigma/d\Omega$	Diferansiyel tesir kesiti (Açısalıya bağlı)
E_f, ε_F	Fermi enerjisi
eV	Elektron volt
μ	İndirgenmiş kütle
E	Enerji, (MeV)
e	Elektron yükü, (C)
E_0	Gamow enerjisi, (MeV)
E_C	Coulomb bariyerinin yüksekliği, (MeV)
$\hbar$	Planck Sabiti / 2π , (J.s)
K	Kelvin
k	Boltzman sabiti
$S(E)$	Astrofiziksel S-faktör, (MeV.b)
Z	Atom numarası
α	Alfa parçacığı
η	Sommerfeld parametresi
E	Gelen parçacık enerjisi
E_B	Nükleon bağlanma enerjisi
Φ	Birim zamanda hedefe çarpan parçacık sayısı
Q	Reaksiyon enerjisi

KISALTMALAR DİZİNİ

CNO Karbon-Azot-Oksijen



1. GİRİŞ

Astrofizik çalışmalarının temel amacı, evrendeki elementlerin nasıl oluştuğu, nereden geldiği, Güneş gibi büyük yıldızlardaki enerji üretimi, yıldızların yapısı ve evrimi gibi temel problemlere çözümler bulabilmektir. Bu problemleri çözmek için çok büyük miktarda deneysel veriye ve teorik modellemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Nükleer fizikte yıllardır yapılan çalışmalar ve kullanılan modeller astrofizik çalışmalarında çok önemli bir yere sahiptir. Evrenin hala devam eden genişleme sürecinde en önemli yapıtaşlarından biri de nükleer süreçlerdir ve bu süreçler yıldızlardaki enerji üretimi ve evrendeki elementlerin sentezinden de doğrudan sorumludur. Bu nedenle, nükleer fizik ve astrofizik dallarının birleşmesiyle nükleer astrofizik adı altında gelişen bilim dalı çok büyük önem kazanmış ve bu konuda ayrıntılı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Clayton, 1983; Rolfs ve Rodney, 1988).

Rutherford, 20. yüzyılın başlarında çekirdeği çok büyük bir enerji deposu olarak tanımlamış olup aynı dönemde yapılan çalışmalar ile nükleer reaksiyonların yıldızlardaki enerji üretiminde oynadığı rol ifade edilmeye başlanmıştır (Atzeni vd. 2004)

Aston 1920’de helyum atomunun kütlesinin hidrojen atomunun kütlesinin 4 katından biraz daha az olduğunu keşfetti Burbidge vd. (1957). Bundan hemen sonra yine 1920’de Eddington, Güneşin enerjisinin hidrojenin helyuma dönüşmesiyle üretilebileceğini öne sürdü. Fakat Eddington yıldızlarda gözlenen sıcaklıkların füzyon reaksiyonu için gerekli enerjiye sahip olmadığı halde bunun nasıl gerçekleştiğini açıklayamamıştır. Bu soruya cevap bulabilmek amacıyla evrenin oluşumu için ortaya atılan modellerden en önemlisi ve kabul göreni Büyük Patlama (Big Bang) teorisinden faydalanmak gerekir. 1940’lı yıllarda Gamow ve Alpher tarafından bu teorinin en çok kabul gören biçimi ortaya atılmışlardır; buna göre, yaklaşık 14 milyar yıl önce çok sıcak ve yoğun bir toz bulutunun meydana getirdiği patlamayla evreni oluşturan parçacıkların oluştuğu öne sürülmüştür. Bu teoride, çok yüksek sıcaklıktaki bu yoğun maddenin soğuyarak elementleri oluşturduğu ve bütün kimyasal elementlerin Büyük Patlama’da oluştuğu varsayımı ortaya atılmıştır. Burbidge vd. (1957) ve Cameron (1957) yukarıda anlatılanları birbirlerinden bağımsız olarak inceleme makalesinde toplayarak bugünkü modern astrofiziğin

temellerini atmışlardır.

Büyük Patlamadan sonra evrenin soğuması ile ^1H , ^4He , ^7Li elementlerinin oluştuğu öne sürülmektedir. Daha sonra geçen milyonlarca yıl boyunca yıldızlar oluşmuş ve yıldızlarda element sentezi başlamıştır. Yıldızlarda meydana gelen nükleer yanma reaksiyonları sonucunda demire kadar olan elementler üretilir. Demirden daha ağır elementlerin üretilmesi ise kütlesi güneşin kütlesinden çok daha büyük olan yıldızların evrimleri sonucunda meydana gelen süpernova gibi patlama ortamlarında gerçekleşir. Bu patlama sırasında meydana gelen oluşum mekanizmaları s-, r- ve p-süreci olarak adlandırılır. İzotop tablosunun nötronca zengin kısımdaki izotoplar s- ve r-süreci ile protonca zengin kısımda bulunan izotoplar ise p-süreci ile üretilirler.

Bütün elementlerin elde edilmesinde ister Güneşteki füzyon reaksiyonu olsun ister laboratuarda suni element üretim reaksiyonları olsun karşımıza çıkan en önemli parametrelerden bir tanesi reaksiyonun olma olasılığının ifadesi olan reaksiyon tesir kesitleridir. Ayrıca reaksiyon tesir kesitleri kullanılarak nükleer astrofizikte önemli bir parametre olan S-faktörde hesaplanmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında, keyfi olarak seçilen hedef çekirdekler için (α, n) reaksiyon tesir kesitleri teorik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen formüllerin özellikle düşük enerji bölgesindeki tesir kesiti değerlerinin hesaplanması için yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Çekirdeklerin üretiminde sorumlu mekanizmaları olan s-, r- ve p-süreçlerinin de etkinliklerini açıklamak için faydalı olabileceği ifade edilebilir.

Literatür araştırması sürecinde astrofiziksel S-faktörü ile ilgili son yıllarda yapılan bazı çalışmaların özetleri aşağıdaki kısımda ifade edilmiştir.

Hayder vd. (2013) ^{45}Sc , ^{46}Ti , ^{51}V , ^{50}Cr , ^{55}Mn , ^{54}Fe , ^{59}Co , ^{62}Ni , ^{63}Cu ve ^{68}Zn çekirdeklerinde 7-10 MeV'lik enerjilere sahip alfalarla (α, n) reaksiyonunu çalışmışlardır. Bu çekirdeklerin içerisinden, ^{46}Ti , ^{50}Cr , ^{62}Ni ve ^{68}Zn çift-çift çekirdekleri için yarı-ampirik formül yoluyla S-faktör formülleri elde etmişlerdir.

Yalçın (2010), doktora tez çalışmasında, $^{113}\text{In}(\alpha, \gamma)^{117}\text{Sb}$ ve $^{113}\text{In}(\alpha, n)^{116}\text{Sb}$ reaksiyon tesir kesitlerini Macaristan Bilimler Akademisi Nükleer Araştırma Merkezinde

(ATOMKI) MGC-20E siklotronunu kullanarak ölçmüştür. Reaksiyonlar astrofiziksel enerji aralığını kısmen içeren 8,66-13,64 MeV etkin kütle merkezi enerji aralığında gerçekleştirilmiştir. Ölçülen tesir kesiti ve astrofiziksel S-faktör sonuçları, üç farklı α +çekirdek potansiyeli kullanılarak elde edilen Hauser-Feshbach istatistiksel model hesaplamalarıyla karşılaştırmıştır.

Korkulu (2014), doktora tez çalışmasında, 9,74 MeV ve 15,48 MeV α aralığı için $^{121}\text{Sb}(\alpha,\gamma)^{125}\text{I}$, $^{121}\text{Sb}(\alpha,n)^{124}\text{I}$ ve $^{123}\text{Sb}(\alpha,n)^{126}\text{I}$ reaksiyonlarının ilgili p-proses tesir kesitlerini ölçmüştür. Bu ölçümlerden elde ettiği deneysel S-faktör değerleri ile NON-SMOKER ve TALYS kodları ile elde ettiği S-faktör sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Kiss vd. (2014), $^{162}\text{Er}(\alpha,\gamma)^{166}\text{Yb}$, $^{162}\text{Sb}(\alpha,n)^{165}\text{Yb}$ reaksiyonlarının deneysel tesir kesitlerini ve S-faktör değerlerini elde etmişlerdir. Bu çalışmalarında enerji aralığı olarak 7,8-11,48 MeV alfa enerji aralığını kullanmışlardır.

Gyürk vd. (2010), $^{151}\text{Eu}(\alpha,\gamma)^{155}\text{Tb}$ ve $^{151}\text{Eu}(\alpha,n)^{154}\text{Tb}$ reaksiyonlarının düşük enerji bölgesinde 12-17 MeV enerji aralığında tesir kesiti değerlerini elde etmişlerdir. Deneysel ve teorik S-faktör değerlerini karşılaştırmışlardır.

Tarkanyi vd. (2010), yüklü parçacıklarla oluşturulan reaksiyonlar yoluyla uygun medikal radyoizotopların üretildiği uyarılma fonksiyonlarının sistematik çalışmaları çerçevesinde, ^{165}Ho çekirdeğinde (α,n) , $(\alpha,2n)$, $(\alpha,3n)$ ve $(\alpha,4n)$ reaksiyonları için istifli folye ışıma tekniği ve gama ışın spektroskopisi ile 40 MeV'e kadar ölçüm yapmışlardır. Elde ettikleri deneysel sonuçları ALICE-IPPE ve EMPIRE-II kodlarından elde ettikleri teorik sonuçlarla karşılaştırılmışlardır.

Halász vd. (2012), protonca zengin baryum izotopundan (^{130}Ba) alfa parçacıklarının yakalandığı çalışmalarında astrofiziksel gama süreci modeli için tesir kesiti verisi sağlamaya çalışmışlardır. (α,γ) ve (α,n) reaksiyonlarının tesir kesitleri astrofiziksel uygun enerjilerin hemen üzerinde 11,6-16 MeV arasındaki kütle merkezi enerjileri için aktivasyon tekniği kullanılarak hesaplamışlardır.

1.1. Nükleer Reaksiyonlar

Hareketli parçacıklarla (nötron, proton ve elektronlar gibi) bombardıman edilen bir hedef çekirdek, hareketli parçacıkların yeterli enerjiye sahip olmaları durumunda taşımış oldukları yüke rağmen çekirdek tarafından yakalanacakları deneysel olarak ifade edilmiştir (Arya, 1999). Bu bize çekirdek yakınına kadar ulaşan bir parçacıkla çekirdek arasındaki kuvvetlerin çekici kuvvet olduğunu ifade eder. Gelen parçacığın yakalanmasından hemen sonra ($<10^{-13}$ s) çekirdek tarafından bir gama ışını veya gelen parçacıktan tamamen farklı bazı parçacıklar yayınlanabilir. Bu tür bir işlem nükleer reaksiyon olarak ifade edilir. Bir çekirdek, parçacık veya gama ışını yayınladıktan sonra kararlı ya da kararsız olabilir. Çekirdek bu süreçte radyoaktif elementlerin uydukları kanunlar uyarınca belirli bir yarı-ömürle bozunur. Bombardıman sonrası meydana gelen çekirdek, çoğu zaman hedef çekirdekten farklıdır (farklı atom ve kütle numaralarına sahiptir).

Nükleer reaksiyonlarla çalışılmasının önemi, çekirdek hakkındaki bir çok bilginin (büyüklük, yük dağılımı ve nükleer kuvvetlerin mahiyeti) bu tarz çalışmalarla elde edilmesinden ileri gelmektedir. Her bir nükleer reaksiyon için kimyasal reaksiyonlara benzer reaksiyon eşitliği yazabiliriz (Arya, 1999). Bir nükleer reaksiyon,

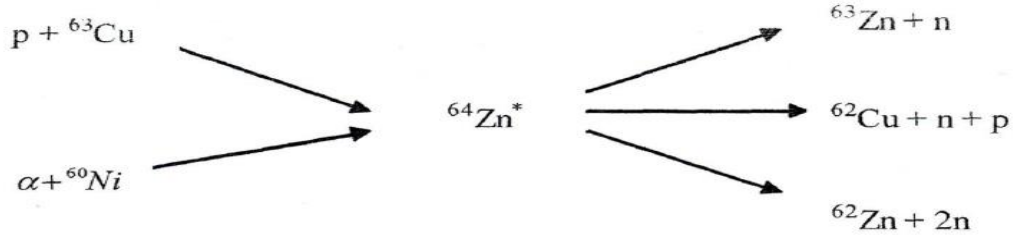
$$a + X \rightarrow C^* \rightarrow Y + b \quad (1.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; a mermi parçacık, X hedef çekirdek ve Y ile b reaksiyon ürünleridir. Genel olarak a ve b nükleon veya hafif çekirdekler olabilir, ancak bazen bir fotonda olabilir. Bu reaksiyonu göstermenin diğer bir şeklide $X(a,b)Y$ dir. Gelen ve giden parçacıklar aynı ise buna saçılma reaksiyonu, Y ve b taban durumunda iseler elastik saçılma, Y veya b uyarılmış durumda iseler elastik olmayan saçılma denir. Burada, C^* bileşik çekirdeği ifade eder. X hedef çekirdeği, a gelen parçacığı ile etkileşmeye girdiğinde Çizelge 1.1. deki nükleer durumlar gözlenebilir.

Çizelge 1.1. X hedef çekirdeği, a gelen parçacığı ile etkileşmeye girdiğinde gözlenen nükleer durumlar.

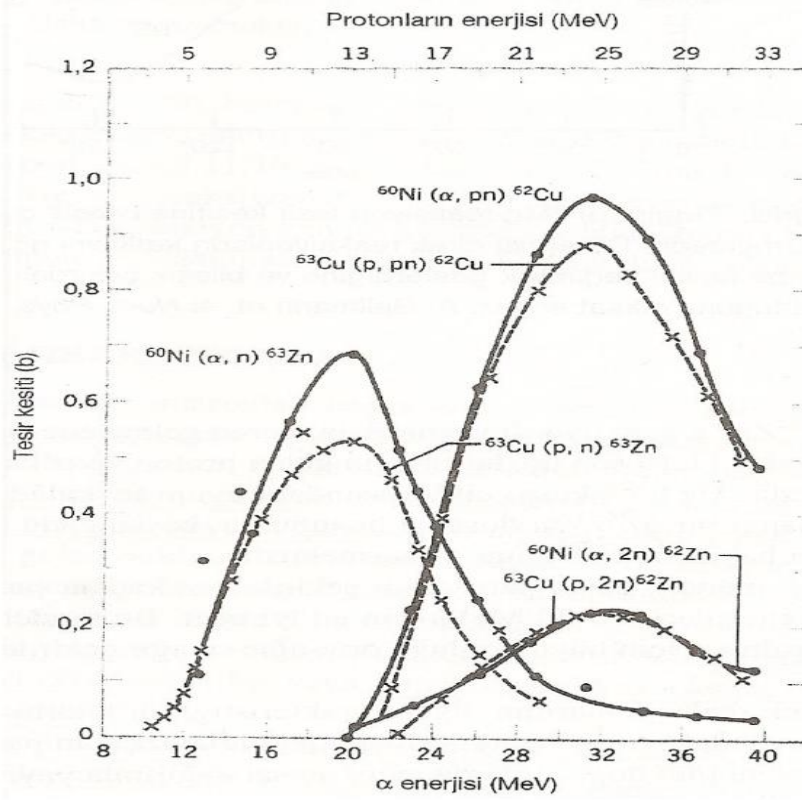
Gelen	Çıkan	Reaksiyon Durumu
$a + X$	$X + a$	Elastik saçılma
	$X^* + x$	Elastik olmayan saçılma
	$Y + b$	Çekirdek reaksiyonu

Bileşik çekirdeğin bozunma olasılığı bileşik çekirdeğin oluşum sürecinden bağımsızdır (Krane, 2002). Bileşik çekirdek bir kez oluştuğunda, oluşum sürecini unutarak farklı çıkış kanallarına belirli olasılıklarla bozunur. Bu duruma bir örnek olarak $^{64}\text{Zn}^*$ bileşik çekirdeğinin farklı çıkış kanalları Şekil 1.1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1. $^{64}\text{Zn}^*$ bileşik çekirdeği için farklı çıkış kanalları (Krane, 2002).

Bileşik çekirdeğinin oluşumu sonrasında farklı çıkış kanallarına karşılık gelen reaksiyon tesir kesitleri $^{64}\text{Zn}^*$ bileşik çekirdeği için Şekil 1.2'de verilmiştir. Bu reaksiyon tesir kesitleri, bileşik çekirdek modelinin temel varsayımlarıyla uyumlu, benzer özellikler göstermektedir.



Şekil 1. 2. Zn bileşik çekirdeğinin oluşmasıyla sonuçlanan farklı reaksiyonlar için tesisir kesitleri (Krane, 2002).

Nükleer reaksiyonlar, enerji taşıyan bombardıman parçacıklarının kütle numaralarına ve enerjilerine göre dört ayrı kategoride toplanabilir.

- i) Kütle numarası $A \leq 4$ ve nükleon başına enerjisi 10 MeV ya da daha az olan bombardıman parçacıkları için klasik düşük enerjili nükleer reaksiyon kuralları geçerlidir.
- ii) $A < 40$ olan bombardıman parçacıkları ile oluşturulan nükleer reaksiyonlar, ağır iyon reaksiyonları olarak adlandırılır.
- iii) Kinetik enerjisi 100 MeV - 1 GeV olan bombardıman parçacıkları ile meydana getirilen nükleer reaksiyonlar orta enerjili reaksiyonlar sınıfındadır ve bu reaksiyonlarda proton ve nötronlar birbirlerine dönüşebilirken, mezon oluşumu gözlenir.
- iv) 1 GeV üzerinde enerjiye sahip parçacıklar için, nükleonları oluşturan kuarklar yeniden yapılanabilir ve tüm egzotik parçacıklar oluşturulabilir. Bu tür reaksiyonlar, yüksek enerjili reaksiyonlar grubundadır (Krane, 2002).

1.2. Tesir Kesiti ve Nükleer Reaksiyonlar

Nükleer etkileşmelerde, verilen bir reaksiyonun (veya saçılmanın) oluşabilme ihtimalini gösteren niceliksel bir olasılık ölçütüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, bir reaksiyonun (veya saçılmanın) oluşma ihtimalini veren tesir kesiti kavramı nükleer fizikte önemli bir yere sahiptir ve ölçülen niceliklerin başında gelmektedir (Satchler, 1980).

Gelen parçacıklar etkileşme sonucu hedeften saçıldığında (reaksiyonlarda ise yayınlanan parçacıklar), uygun bir uzaklıkta konumlandırılan dedektörler tarafından sayılır. $X(a,b)Y$ genel formundaki bir nükleer reaksiyon için tesir kesiti şu şekilde açıklanabilir; N tane çekirdek içeren bir hedefe birim alan başına I_0 akısına sahip a tipi parçacık demetinin geldiği kabul edilirse, birim zamanda yayınlanan (ya da saçılan) b parçacıklarının sayısının (N_b 'nin) I_0 ve N niceliklerinin her ikisi ile de orantılı olacağı açıktır. Bu orantı sabiti tesir kesiti (σ) olarak bilinir ve alan boyutuna sahiptir. Bu tanımdan hareketle tesir kesiti,

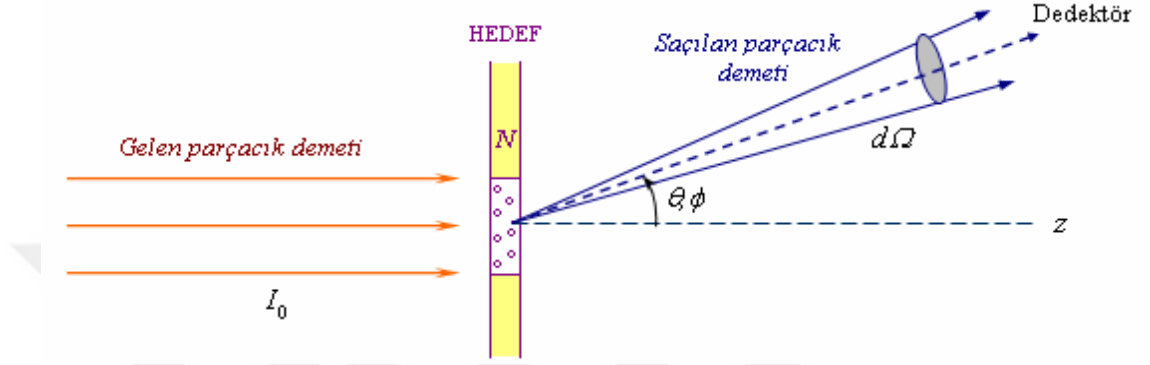
$$\sigma = \frac{\text{Yayınlanan } b \text{ parçacıklarının sayısı}}{(\text{Birim yüzeyden geçen } a \text{ parçacıklarının sayısı})(\text{Hedef çekirdeğin sayısı})}$$
$$= \frac{N_b}{I_0 N} \quad (1.2)$$

şeklinde yazılabilir. Nükleer fizik için uygun alan birimi (dolayısı ile tesir kesitinin birimi) “barn” dır ve $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2 = 100 \text{ fm}^2$ dır.

Eğer gelen demete göre θ ve ϕ kutupsal açıları doğrultusundaki bir $d\Omega$ katı açı elemanı içerisine birim zamanda yayınlanan b parçacıklarının sayısını kaydetmek için bir dedektör kullanıldığı düşünülürse, bu yayınlanan b parçacıklarının sayısı, I_0 ve N niceliklerinin yanı sıra katı açısına da bağlı olacaktır (Şekil 1.3). Bu durumdaki orantı sabiti ise diferansiyel tesir kesiti, $d\sigma/d\Omega$, olarak adlandırılır ve bu niceliğin ölçülmesi, reaksiyon ürünlerinin açısal dağılımı ile ilgili önemli bilgiler verir. Katı açı steradyan cinsinden ölçüldüğünden, diferansiyel tesir kesiti de alan boyutunda olup birimi barn/steradyan dır.

Genel olarak, b 'nin yayınlanma olasılığı (dolayısıyla diferansiyel tesir kesiti), θ ve ϕ

kutupsal açılarına bağlıdır. Açısal dağılımın izotropik (açıya bağımlı) olduğu özel durumlarda diferansiyel tesir kesiti $d\sigma(\theta, \phi)/d\Omega$ şeklinde gösterilmektedir. Bununla birlikte, parçacık spinleri kutuplanmadıkça, saçılma işlemi gelen demet doğrultusunda oldukça simetrik ve diferansiyel tesir kesiti $(d\sigma(\theta)/d\Omega)$, azimütal açısı ϕ den bağımsızdır.



Şekil 1.3. Reaksiyon geometrisi (saçılan parçacık demeti ile θ ve ϕ açıları doğrultusundaki bir $d\Omega$ katı açı elemanı içerisinde yayınlanan parçacıklar kastedilmektedir.

Yukarıda bahsedilen tesir kesiti ve diferansiyel tesir kesiti arasındaki ilişki,

$$\sigma = \int_0^{4\pi} (d\sigma / d\Omega) d\Omega \quad (1.3)$$

şeklindedir. Bu denklemde $d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi$ olmak üzere, her iki kutupsal açıya bağımlılık söz konusu ise

$$\sigma(\theta, \phi) = \int_0^\pi \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi} d\phi (d\sigma(\theta, \phi) / d\Omega) \quad (1.4)$$

ve spin polarizasyonu yoksa yani diferansiyel tesir kesiti ϕ den bağımsız ise

$$\sigma(\theta) = 2\pi \int_0^\pi (d\sigma(\theta) / d\Omega) \sin\theta d\theta \quad (1.5)$$

biçiminde verilmektedir. Literatürde zaman zaman $\sigma(\theta, \phi)$ ve $\sigma(\theta)$ tanımları arasında dikkatli bir ayırım yapılmaksızın sadece “ σ ” veya “tesir kesiti” şeklinde nitelermelere rastlanabilmektedir. θ açısına göre bir “tesir kesiti” grafiği ile karşılaşıldığında, diferansiyel tesir kesitinin kastedildiği anlaşılmalıdır. Belirli bir reaksiyon tartışılırken, tesir kesiti teriminin anlamı, ne ölçüldüğüne bağlıdır. Çizelge 1.2 de farklı ölçümlere ait örnekler açıklamalı bir biçimde özetlenmektedir.

Çizelge 1.2. Tesir kesitlerinin sınıflandırılması (Krane, 1988)

Tesir Kesiti Türü	Sembolü	Teknik	Uygulaması
Toplam	σ_t	Demetin İncelenmesi	Zırhlanma
Reaksiyon	σ_f	Tüm açılar ve b ' nin tüm enerjileri üzerinden integrasyonu	Bir nükleer reaksiyonda Y radyoizotop üretimi
Diferansiyel (Açısal)	$\frac{d\sigma}{d\Omega}$	(θ, ϕ) de b ' nin gözlenmesi fakat tüm enerjiler üzerinden integrasyonu	Belirli bir doğrultuda b parçacıklar demetinin oluşumu
Diferansiyel (Enerji)	$\frac{d\sigma}{dE}$	b gözlenmez ama ardışık γ yayınlanması ile Y'nin uyarılması gözlenir	Y' nin uyarılmış durumları için, bozunmanın incelenmesi
Çift Diferansiyel	$\frac{d^2\sigma}{dE_y d\Omega}$	Belirli bir enerjide b , (θ, ϕ) ' de gözlenir	b açısal dağılımı ile Y'nin uyarılmış durumları hakkında bilgi edinme

Diferansiyel tesir kesiti, b parçacıklarının demet eksenine göre belirli bir açıda (θ, ϕ) gözlemlenmesi olasılığından elde edilmektedir. Diferansiyel tesir kesiti tüm açılar üzerinden integre edildiğinde, toplam tesir kesitini vermektedir. Toplam tesir kesiti belirli bir kalınlıktaki hedefin içinden geçen demetin şiddetindeki kayıp ölçülerek doğrudan elde edilebilmektedir. Bir nükleer etkileşmeye ait toplam tesir kesiti, σ_t esnek saçılma tesir kesiti, σ_e ile reaksiyon tesir kesiti (esnek olmayan saçılmalar için soğrulma tesir kesiti) σ_r nin toplamından oluşmaktadır:

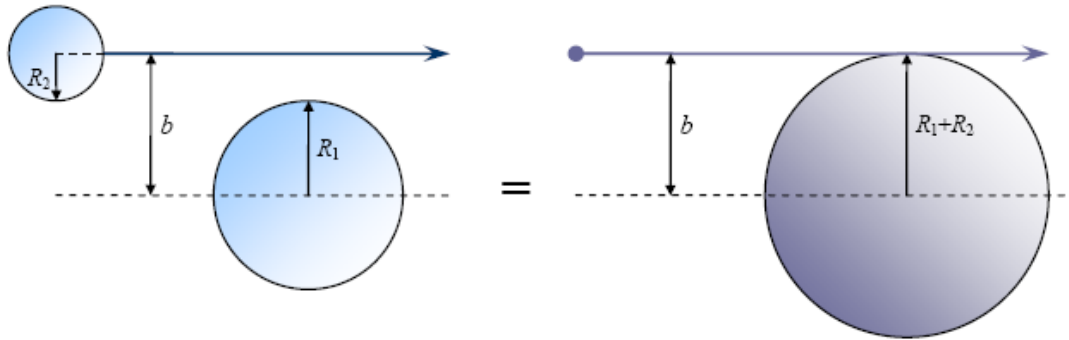
$$\sigma_t = \sigma_e + \sigma_r \quad (1.6)$$

Birden fazla reaksiyonun olduğu durumlarda her bir reaksiyon türüne ait tesir kesitleri farklı olacağından, toplam reaksiyon tesir kesiti

$$\sigma_r = \sigma_{r1} + \sigma_{r2} + \sigma_{r3} \quad (1.7)$$

şeklinde, kısmi reaksiyon tesir kesitlerinin doğrultu ve yönlerine bakılmaksızın toplanmasıyla bulunur. Eşitlik $\sigma_{r1}, \sigma_{r2}, \sigma_{r3}, \dots$ reaksiyonların kısmi tesir kesitleridir (Aydın, 1997).

Tesir kesiti kavramını daha fiziksel bir hale getirebilmek için Şekil 1.4'deki klasik olarak çarpışan iki kürenin durumu ele alınabilir. Burada 2 nolu küre, hareketsiz olan 1 nolu küre üzerine gönderilmektedir. Çarpma mesafesi b iki kürenin yarıçapları toplamından daha küçük veya eşit olmadıkça küreler çarpışmayacaktır ($b \leq R_1 + R_2$). Noktasal bir parçacık ile $R_1 + R_2$ yarıçaplı bir diskin çarpışması için de durum aynıdır. Bu diskin alanı, $\pi(R_1 + R_2)^2$ çarpışmanın tesir kesitidir.



Şekil 1.4. İki kürenin çarpışması; soldaki R_1 ve R_2 yarıçaplı iki kürenin çarpışması, sağdaki noktasal parçacığın $R_1 + R_2$ yarıçaplı küre ile çarpışmasına ait tesir kesiti ile aynı değerdedir (Satchler, 1980).

Şekil 1.4 incelenirse tesir kesitinin yalnızca hedefe ait bir özellik olmadığı, aynı zamanda merminin özelliklerini de yansıttığı gibi çok önemli bir bilgi açıkça görülmektedir.

Klasik örneğimizdeki (R_1 ve R_2 yarıçapları toplamı olan) tesir kesiti, hedefimiz aynı olsa bile farklı yarıçaplı ($R_2' \neq R_2$) bir mermi için elde edilecek tesir kesitinden farklı olacaktır. Bir saçılma ölçümünün sonuçlarından hedef çekirdeğin yarıçapı bulunmak

istendiğinde merminin etkisi mutlaka hesaba katılmalıdır (Satchler, 1980).

1.3. Büyük Patlama (Big Bang) ve Gelişim Süreci

Evrenin nasıl oluştuğu sorusu bilim adamlarının hep merak ettiği ve çeşitli teoriler geliştirdikleri bir soru olarak her zaman önümüzde durmaktadır. Bu konuda yapılmış olan çalışmalar özellikle evrenin oluşumunu açıklamaya çalışırken yeni sorularda üretmiştir.

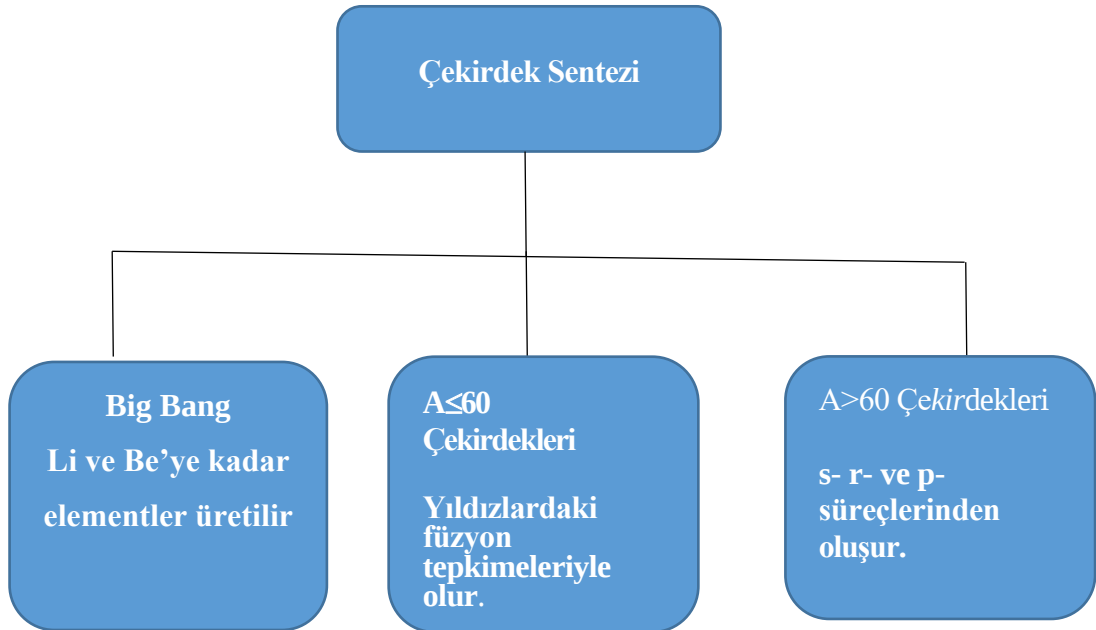
Element sentezi teorisinin oluşum süreci 1920'li yıllara kadar uzanır. Aston 1920'de Helyum ve Hidrojen atomu kütlelerini bağıl olarak ifade ederken Eddington, Güneş'in enerjisinin Hidrojen-Helyum çevrimi ile üretilebileceğini söylemiştir. Eddington Güneş'in sıcaklığının bu çevrim için gerekli enerjiye yeterli olmadığı halde gerekli enerjinin nasıl elde edildiğini açıklayamamıştır.

1928 yılında Gamow ve bağımsız olarak Condon ve Gourney bir potansiyel engelinden bir parçacığın kuantum mekaniksel olarak tünelleme olasılığını hesaplayarak alfa bozunmasını açıklamış oldular. (Gamow, 1928; Condon, 1928). Atkinson ve Houtermans, Gamow'un çalışmasının sonuçlarını kullanarak, yıldızlarda enerji üretiminin kuantum mekaniksel tünelleme olayıyla açıklanabileceğini ifade ettiler (Atkinson vd,1936). Cockcroft ve Walton, 1932 de yapay olarak hızlandırılmış parçacıkları kullanarak ilk nükleer reaksiyonu gerçekleştirmişlerdir. Bir kaç keV enerjili protonlarla lityumun bombardımanı sonucunda lityumu parçalayarak iki helyum çekirdeği oluşturdular. Bu nükleer reaksiyon daha sonra element sentezinde önemli olan pp (proton-proton) zinciri olarak adlandırılmıştır. Lauritsen ve Crane'in, 1934 yılında karbonu protonlarla bombardıman ederek gerçekleştirmiş oldukları nükleer reaksiyon ise gerçekte daha sonra CNO (Karbon-Azot-Oksijen) çevrimi olarak adlandırılacak olan reaksiyon çevrimi idi. 1936 yılında Atkinson iki hidrojenin birleşerek döteryumu oluşturma reaksiyonunun yıldızların enerji kaynağı olduğunu ileri sürmüştür. Bu reaksiyonu detaylı olarak ele alan Bethe ve Critchfield gerçekten de pp reaksiyonu sonucunda yıldızlardaki enerji üretiminin hesaplamışlar ve bunun güneş için doğru olduğunu göstermişlerdir. (Bethe ve Critchfield, 1938). CNO çevrimi ile yıldızlardaki enerji üretimi ise birbirlerinden bağımsız olarak 1938 yılında Weisacker (1938) ve 1939 yılında Bethe (1939) tarafından keşfedilmiştir. CNO

çevriminde daha sonraki çalışmalar özellikle enerji üretim hızı ve CNO çevriminin sıcaklığa bağılılığı üzerinde olmuştur.

Buraya kadar anlatılan çalışmalar Burbidge vd. (1957) ayrıca Cameron (1957), birbirlerinden ayrı olarak inceleme makalelerinde ifade ederek modern nükleer astrofiziğin temelini atmışlardır.

Çekirdek sentezinin Büyük Patlama ile başladığı, daha sonra hem genişleyen hemde soğuyan evrende meydana gelen füzyon reaksiyonları sonunda bazı hafif elementlerin (^1H , ^4He , ^7Li) oluştuğu öne sürülmüştür (Gamow, 1928). Devam eden süreç boyunca yıldızlar oluşmuş ve yıldızlarda element sentezi başlamıştır. Demire kadar olan elementler yıldızlardaki nükleer yanma reaksiyonları ile üretilirken demirden ağır elementlerin üretilmesi ancak süpernova gibi patlama ortamlarında gerçekleşir. Bu patlama sırasında meydana gelen oluşum mekanizmaları; İzotop tablosunun nötronca zengin kısmındaki izotoplar s- ve r-süreçleriyle protonca zengin kısmında bulunan izotoplar ise p-süreci ile üretilirler. İzotopların üretildiği s- ve r- süreç ile protonca zengin kısımların üretildiği p- süreci olarak adlandırılır. Şekil 1.5 de elementlerin üretilmesine ait olan Çekirdek Sentezi Teorisi gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Çekirdek Sentezi Teorisi

1.4. Büyük Patlama Çekirdek Sentezi

Büyük patlama çekirdek sentezi, standart modele göre büyük patlamadan çok kısa bir süre sonra yani evrenin ilk döneminde hidrojen ^1H , onun izotopu döteryum ^2H , helyumun izotopları ^3He , ^4He , ve lityumun izotopu ^7Li 'nin sentezine verilen isimdir (Wallerstein, 1997; Reeves vd., 1973; Coc, 2009). Büyük patlama çekirdek sentezinin iki önemli özelliği vardır. Bunlardan birincisi, Büyük patlama çekirdek sentezinin yaklaşık üç dakika içinde son bulmasıdır. Bundan sonra evrenin sıcaklık ve yoğunluğu, gerekli nükleer füzyon reaksiyonlarını gerçekleştiremeyeceği düzeye iner. Büyük patlama çekirdek sentezinin kısa olması da çok önemlidir. Çünkü bu durum Berilyumdan daha ağır çekirdeklerin üretilmesini engellerken aynı zamanda döteryum gibi yanmamış hafif elementlerin kalmasına da olanak sağlar. İkincisi ise Büyük patlama çekirdek sentezi yerel bir olay değildir, tüm evreni kapsayan ve eş zamanlı olarak gerçekleşen bir olaydır (Yalçın, 2010).

Büyük patlama çekirdek sentezi sonucunda, evrendeki görünür madde kütlece şu dağılımdadır; yaklaşık % 75 ^1H ve % 25 ^4He . Ancak ^1H ve ^4He yanısıra % 0,01 oranında döteryum ve çok daha az miktarda lityum ve berilyum bulunmaktadır (Philips, 1999). Büyük patlama çekirdek sentezinde berilyumdan daha ağır çekirdek üretilmemektedir (Yalçın, 2010).

1.5. $A < 60$ Çekirdeklerinin Sentezi

Yıldızlar, hidrojen ve helyum karışımı ile hayata başlar. Bu gaz bulutu çöktükçe atomların kütle-çekim potansiyel enerjileri kinetik enerjiye dönüşerek gaz bulutunun sıcaklığını artırır. Sonuç olarak sıcaklık o kadar yükselir ki protonlar itici Coulomb enerjisini yenebilir ve füzyon reaksiyonlarını başlatabilir. Yıldızlarda çekirdek sentezi, hafif çekirdeklerle başlayarak ağır çekirdeklerin üretilmesini sağlayan birbirleriyle alakalı zincirleme reaksiyondan meydana gelmektedir. $A < 60$ civarındaki elementlerin oluşumundaki baskın süreç, öncelikli protonlar ve alfa parçacıkları ile oluşturulan yüklü parçacık reaksiyonlarıdır. Bunlar füzyon ile gerçekleşir.

H-yanması, He-yanması, C-yanması, N-yanması, O-yanması ve Si-yanması, Fe ve Ni grubuna kadar olan elementlerin sentezindeki temel aşamalardır (Wallerstein, 1997).

1.5.1. Hidrojen Yanması

1938 yılında birbirlerinden bağımsız olarak Bethe ve Critchfield, p-p zincirini, Von Weizsacker ve Bethe de CNO çevrimini bularak, yıldızlarda bulunan hidrojenin çekirdek füzyonu yoluyla helyuma dönüşerek enerji üretebileceğini göstermişlerdir. Bir yıldız içinde hidrojenin çekirdek füzyonu ile helyuma dönüşümü, pp zinciri olarak ifade edilir. pp1 (küçük kütleli yıldızlarda) etkindir. Bu yıldızların merkez sıcaklığı 10-20 milyon K ve yoğunlukları 10^5 kg/m^3 civarındadır.

Burada önce iki ^1H çekirdeği birleşerek bir ^2H çekirdeği oluşur. Bundan sonra, ^2H ile ^1H birleşerek ^3He çekirdeği oluşurken enerji açığa çıkar. Sonunda, iki ^3He etkileşerek daha kararlı bir ^4He çekirdeği oluşur. Bu süreçte de iki proton açığa çıkar. Bütün bunların net etkisi, 4 tane ^1H nin birleşerek bir ^4He çekirdeği verirken, 26,7 MeV enerjinin açığa çıkmasıdır.

pp zincirinin, önce kısa ömürlü Li, Be ve B çekirdeklerinin üretilmesi ve süreç içinde kullanılmasıyla, diğer kanallardan da yürümesi mümkündür. Kütleli Güneşten daha büyük yıldızların merkezlerinde olduğu gibi, eğer ortam sıcaklığı 20 milyon K'den fazla ise ve ^4He oranı artmışsa, bir katalizör olarak helyumun rol oynadığı, pp2 ve pp3 zincirleri önem kazanır (Tamkaş, 2013).

Çizelge 1.3. Proton-proton zincirinde üç farklı yoldan ^4He üretimi

pp1	pp2	pp3
$p(p,e^+\nu)d$	$p(p,e^+\nu)d$	$p(p,e^+\nu)d$
$d(p,\gamma)^3\text{He}$	$d(p,\gamma)^3\text{He}$	$d(p,\gamma)^3\text{He}$
$^3\text{He}(^3\text{He},2p)\alpha$	$^3\text{He}(\alpha,\gamma)^7\text{Be}$	$^3\text{He}(\alpha,\gamma)^7\text{Be}$
	$^7\text{Be}(e^-, \nu)^7\text{Li}$	$^7\text{Be}(p,\gamma)^8\text{B}$
	$^7\text{Li}(p,\alpha)\alpha$	$^8\text{B}(\beta^+ \nu)^8\text{Be}$
		$^8\text{Be}(\alpha)\alpha$

1.5.2. CNO Çevrimi

Eğer bir yıldız sadece hidrojen ve helyumdan oluşmuş ise, hidrojen yanması aşamasında enerji sadece proton-proton zinciri ile üretilir. Ancak birçok yıldız daha ağır (özellikle C, N ve O) çekirdeklere de sahiptir. Bundan dolayı bu çekirdekler de hidrojen yanmasına katılabilirler. Bu çekirdeklerin katkısı ile hidrojenin helyuma dönüşmesi dört reaksiyon zinciriyle meydana gelir Bu zincirler CNO (Karbon-Azot-Oksijen) çevrimi olarak isimlendirilir. Bu reaksiyon zincirleri, pp zinciriyle aynı sonucu verirler. Yani pp zincirinde olduğu gibi 4 hidrojen, helyum çekirdeğini meydana getirir [Net reaksiyon: $4(^1\text{H}) \rightarrow ^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu$].

CNO çevriminde, yıldızı oluşturan gaz içinde hidrojen ve helyuma ek olarak, önceki nesilden yıldızlarda üretilip yıldızlararası ortama atılmış olan C, N ve O gibi ağır atomlar hidrojenin helyuma dönüşümü için katalizör rolü oynarlar. Diğer yandan da, CNO çekirdekleri ^{14}N ve kısmen de ^{20}Ne ye dönüşebilir. Bu tepkimelerin tesir kesitleri incelendiğinde, CNO çevrimi ile hidrojenin helyuma dönüşümü için ortam sıcaklığına bağlı olarak çeşitli alternatifler bulunduğu görülür. Karmaşık olan bu tepkime çevrimleri aşağıda şematik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 1.4. CNO dönüşümü I. aşama

$^{12}\text{C} + \text{p} \rightarrow \text{N} + \gamma$	$Q = 1,94 \text{ MeV}$
$^{13}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C} + e^+ + \gamma$	$Q = 2,2 \text{ MeV}$
$^{13}\text{C} + \text{p} \rightarrow ^{14}\text{N} + \gamma$	$Q = 7,55 \text{ MeV}$
$^{14}\text{N} + \text{p} \rightarrow ^{15}\text{O} + \gamma$	$Q = 7,55 \text{ MeV}$
$^{15}\text{O} \rightarrow ^{15}\text{N} + e^+ + \nu$	$Q = 2,8 \text{ MeV}$
$^{15}\text{N} + \text{p} \rightarrow ^{12}\text{C} + \alpha$	%99 $Q = 4,97 \text{ MeV}$
$\rightarrow ^{16}\text{O} + \gamma$	%1 $Q = 12,1 \text{ MeV}$

$T_c \sim 15 \times 10^6 \text{ K}$ olduğunda yıldızda mevcut olan karbon, proton denizi ile reaksiyona

girebilir; sonuçta ^{13}N üretilir. Üretilen ^{13}N ise ^{13}C ' e bozunur ve sırasıyla bir başka protonu yakalar. Yukarıda görüldüğü gibi, çevrimin birinci bölümünde dört proton bir helyum çekirdeğine dönüştürülür. Başlangıçtaki karbon ve azot bolluğu çevrim boyunca sabit kalır. $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ bu çevrimde en düşük tesir kesitine sahip olduğundan hidrojen yanmasının sonunda hemen hemen tüm çevrimin zamanı pp zincirinkinden daha küçüktür ve pp zinciri için yeterli olandan daha yüksek bir işletme sıcaklığı gerektirir.

Merkezi sıcaklık $20 \times 10^6 \text{ K}$ 'e ulaştığında da oksijenin proton yakalamasıyla çevrimin NO bölümü başlar; ^{16}O aracılığı ile oluşan bu bölümün olasılığı 10^4 kere daha azdır. Bunun temel etkisi, çevrimde, yıldızsal ortamda daha önceden var olan ^{16}O çekirdeğinin de yer almasıdır.

En yavaş tepkimeler başta $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ ile $^{15}\text{N}(p,\gamma)^{16}\text{O}$ olup, bunlar çevrimlerin hızını belirlerler. Karbon azota dönüşmüş olur.

Çizelge 1.5. CNO dönüşümü II. aşama

$^{16}\text{O} + p \rightarrow ^{17}\text{F} + \gamma$	$Q = 0,6 \text{ MeV}$
$^{17}\text{F} \rightarrow ^{17}\text{O} + e^+ + \nu$	$Q = 2,8 \text{ MeV}$
$^{17}\text{O} + p \rightarrow ^{14}\text{N} + \alpha$	$Q = 1,2 \text{ MeV}$
$^{18}\text{F} + \gamma$	$Q = 5,6 \text{ MeV}$

En hızlı olan (p, γ) tepkimeleri, ^{15}N , ^{17}O , ^{18}O gibi çekirdeklerin parçalanmasına yol açar. Sonuçta, hidrojen helyuma dönüşürken, bunun yanında, CNO çekirdeklerinin çoğu da ^{14}N çekirdeğine dönüşür (Tamkaş, 2013).

İki proton ve bir oksijen çekirdeği, bir helyum ve azot çekirdeğine dönüşür. Son iki olası çevrim;

Çizelge 1.6. CNO dönüşümü III. aşama

$^{18}\text{F} \rightarrow \rightarrow \rightarrow ^{18}\text{O} + e^+ + \nu$	$Q = 1,7 \text{ MeV}$
$^{18}\text{O} + p \rightarrow \rightarrow ^{15}\text{N} + \alpha$	$Q = 3,9 \text{ MeV}$
$^{19}\text{F} + \gamma$	$Q = 7,9 \text{ MeV}$

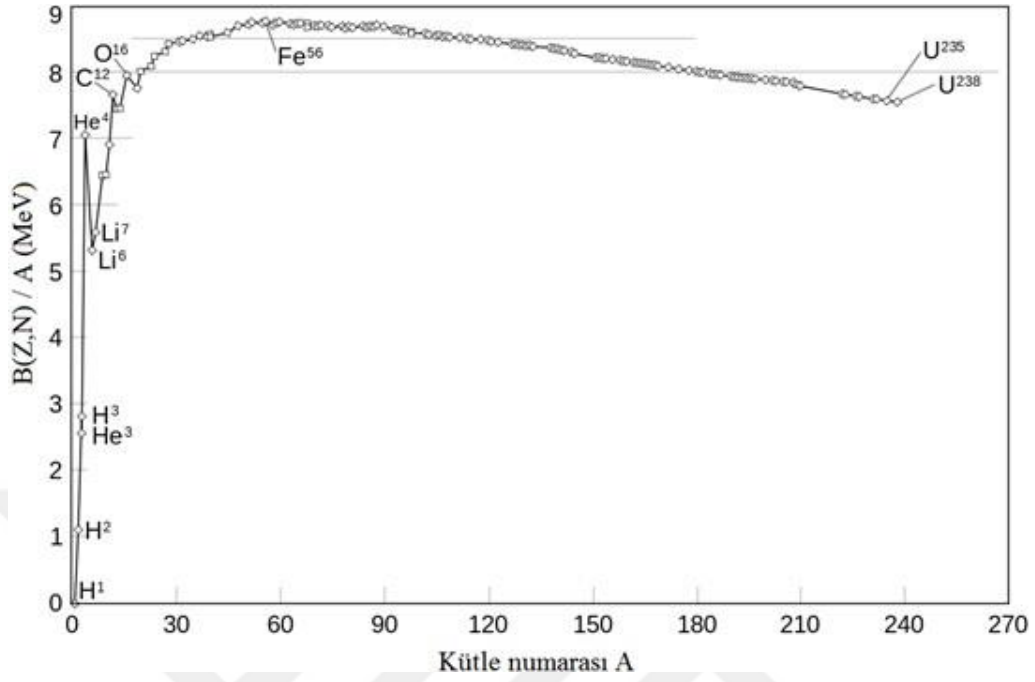
Çizelge 1.7. CNO dönüşümü IV. aşama

$^{19}\text{F} + p \rightarrow ^{16}\text{O} + \alpha$	$Q = 8,1 \text{ MeV}$
$^{20}\text{Ne} + \gamma$	$Q = 12,8 \text{ MeV}$

Çevrimin toplam sonucu, pp zincirindeki gibi bir helyum çekirdeğindeki dört protonun dönüşümüdür.

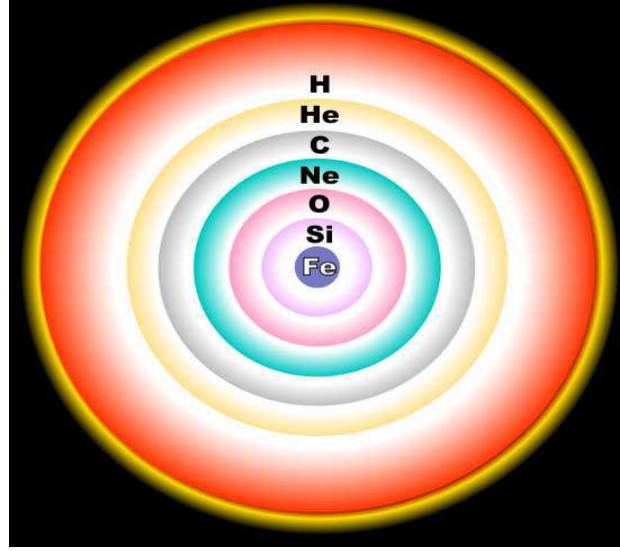
Büyük kütleli yıldızlarda ($> 8 M_{\text{güneş}}$) merkezlerinde hidrojen yanmasından sonra, daha büyük kütleli çekirdeklerin füzyon reaksiyonları için gerekli enerjiyi üretebilirler. Merkezde hidrojen yanmasından sonra meydana gelen karbon, azot, oksijen ve silisyum yanma reaksiyonları ileri yanma reaksiyonları olarak isimlendirilir. Böylece yıldızların kütesine bağlı olmak üzere merkezde demire kadar çekirdekler üretilir. Çekirdeğin içerdiği demir grubu elementlerinin sayısı arttıkça, nükleon başına bağlanma enerjisi maksimum düzeye ulaşmasından dolayı artık başka bir termonükleer reaksiyon gerçekleşemez (Iliadis, 2007; Lodders, 2003).

Yıldızlardaki füzyon reaksiyonları Fe ve Ni grubuna kadar olan elementlerin sentezindeki temel adımlar olup, Fe'e kadar enerji üretimi devam eder. Fe nükleon başına bağlanma enerjisi en yüksek çekirdek olmasından dolayı (Şekil 1.6), $A > 60$ 'dan büyük çekirdeklerin oluşum sürecinde füzyon reaksiyonları etkinliklerini kaybetmişlerdir.



Şekil 1.6. Kütle numarasına göre nükleon başına düşen bağlanma enerjisi değişimi

Süpernova öncesi yıldız soğan gibi katmanlı bir yapıya sahiptir. Hidrojenden oluşan yüzey katmanından sonra alt katmanlara inildikçe yıldızın yaşamı boyunca farklı füzyon reaksiyonlarıyla üretilen daha ağır elementlerle karşılaşılır (Korkulu, 2014). Bu katmanlar Şekil 1.7’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Ağır bir yıldızın süpernova patlamasından önceki durumunun şematik gösterimi.

1.6. $A > 60$ Çekirdeklerinin Sentezi

Demirden daha ağır neredeyse tüm çekirdeklerin sentezinde iki farklı nötron yakalama sürecine bağımlılığını ortaya koyar (Suess, 1956; Meyer, 1994; Cowan vd., 1991). Nötron yakalama süresine bağlı olarak bu iki süreç s-süreci ve r-süreci ile ifade edilir. Geriye kalan az sayıdaki izotopun sentezinde ise p-süreci olarak adlandırılan daha farklı bir süreçle ifade edilir.

.p-süreci (proton)

.s-süreci (yavaş nötron yakalama)

.r-süreci (hızlı nötron yakalama)

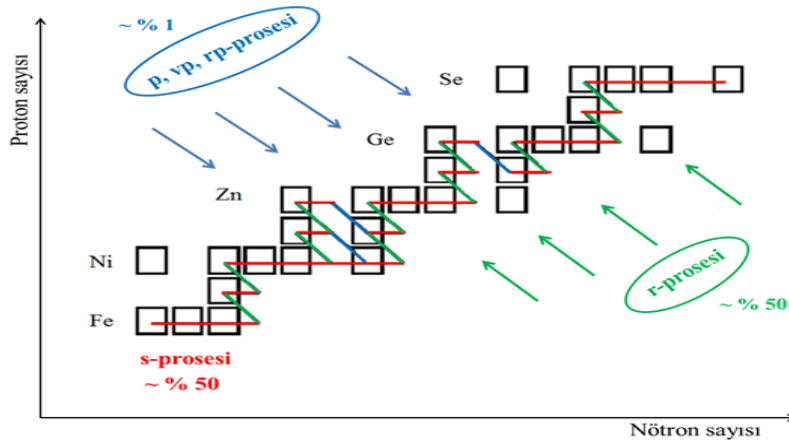
Elementlerin güneş sistemimizdeki bolluklarına bakılacak olursa bu süreçlerin farklı zaman aralıklarında, sıcaklıklarda ve nötron yoğunluklarında meydana gelmeleri gerektiği anlaşılmaktadır.

1.6.1. s-süreci

Güneş sistemi bollukları, s-süreci ardışık nötron yakalama arasındaki geçen sürenin

β^- bozunumu süresinden daha uzun olduğunda meydana gelmesi gerektiği şeklinde ifade edilebilir. (Şekil 1.8). Bu sürecin yolu izotop tablosunda kararlılık vadisi bölgesine yakın olup üretilen son izotop doğadaki en ağır kararlı ^{209}Bi çekirdeğidir. Üretilen çekirdeklerinin bollukları incelendiğinde bazı kütle numaralarında ($A \approx 84$, 138 ve 208) pikler görülmektedir. (Şekil 1.9) ve bunun nedeni sihirli nötron sayıları olup s-sürecinden kaynaklanmaktadır.

Gözlenen s-çekirdeklerinin bolluklarını açıklamak için iki farklı tür s-sürecine ihtiyaç vardır (Gallino, 1998; Käppeler, 1999). Bunlar zayıf ve temel s-süreci olarak adlandırılır, farklı kütle bölgelerine ve sıcaklıklara sahiptirler. Zayıf s-süreci $A < 90$ elementlerin sentezinden sorumludur. Sürecin gerçekleşmesi için gerekli nötronlar $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$ reaksiyonu ile $T = 200\text{-}300\text{ MK}$ 'de üretilirler. Bu şartlara dev kütleli yıldızların (AGB) helyum ve karbon yanma fazlarında ulaşılır. Temel s-süreci ise süper büyük yıldızlarda meydana gelir ve $90 < A < 209$ kütle bölgesindeki izotopları üretir. Bu ortamdaki nötronlar ise $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ reaksiyonu ile zayıf s-sürecine göre daha düşük sıcaklıklarda ($T \approx 100\text{ MK}$) üretilir. Zayıf s-sürecinde nötron yoğunluğu 10^{10} cm^{-3} iken temel s-sürecinde ise 10^7 cm^{-3} dür (Dillman, 2006).



Şekil 1.8. s- r ve p-süreçlerinin yollarının şematik gösterimi (Korkulu, 2014)

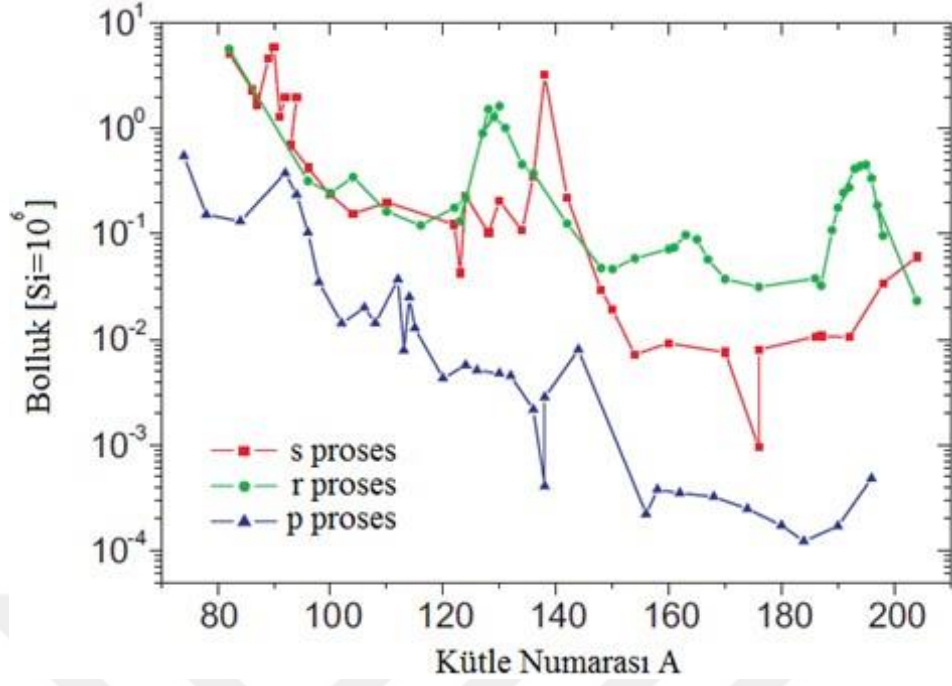
1.6.2. r-süreci

Yavaş nötron yakalama s-süreci ile üretilen en ağır çekirdek ^{209}Bi 'dan daha ağır ve uzun yarı ömürlü izotopların (^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U) bulunmasıyla s-sürecinin dışında başka bir sürecin varlığı ortaya çıkmıştır. $A > 60$ olan çekirdeklerin yaklaşık yarısının

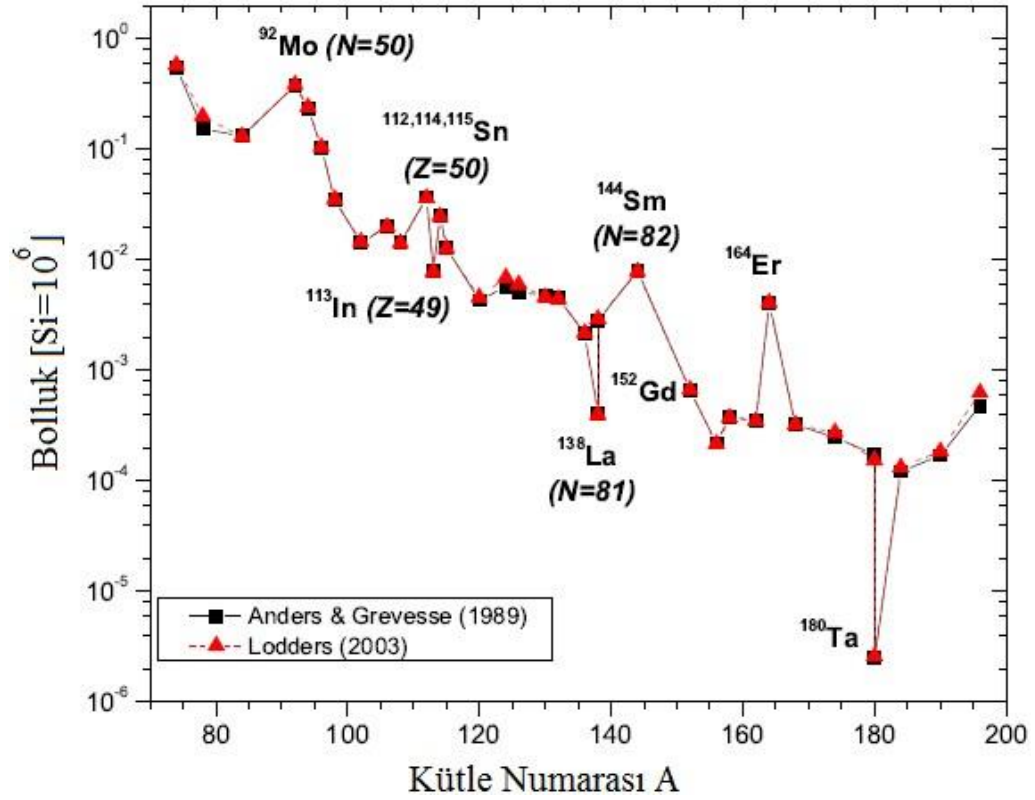
sentezinden hızlı nötron yakalama süreci olarak bilinen r-süreç sorumludur ve astrofiziksel ortamı hala tartışma konusudur (Rosswog vd.,1999;Takahashi vd, 1994). Bu süreç için Tip II süpernova patlaması bilinen en favori astrofiziksel ortamdır. Fe-Ni tohum çekirdeklerinin izotop tablosunun nötronca zengin bölgesine reaksiyonlarla akışı için saniyeden daha kısa sürede yüksek nötron akısına ($\gg 10^{20} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) ihtiyaç vardır. Kararlı çekirdekler böyle çok yoğun bir nötron akısına maruz kaldığında ardışık nötron yakalama reaksiyonları meydana gelir ve ürün çekirdek kararsız dahi olsa nötron yakalama hızı β^- bozunma hızından daha fazla olduğundan izotop tablosunun nötronca zengin bölgesine doğru ilerler. Nötron yakalama reaksiyonu (n,γ) ve β^- bozunması yarış içindedir. Yüksek sıcaklık (10^9 K) ve yüksek nötron yoğunluğu altında hızlı nötron yakalama, (n,γ) ve (γ,n) reaksiyonları dengeye ulaşmaya kadar devam eder ve ardışık β^- bozunmaları ile kararlı çekirdekte son bulur. Bu s, nötron yakalama β^- bozunumundan çok daha hızlı olduğundan kararlılık eğrisi altındaki ve ^{209}Bi 'dan daha ağır elementler üretilir.

1.6.3. p-süreci

İzotop tablosunun protonca zengin bölgesinde bulunan ve kütle numarası $74 \leq A \leq 196$ bölgesinde varolan yaklaşık 35 tane kararlı p-çekirdeği nötron yakalama reaksiyonları ile üretilemez. Bu çekirdeklerin üretiminden sorumlu mekanizma proton yakalanması ile oluştuğundan; p-süreci olarak adlandırılır. p-süreci, p-çekirdeklerinin farklı üretim mekanizmaları içinde kullanılır. Çekirdeklerin bollukları ifade edilirken Si atomunun referans alındığı genel meteoritik ölçekte verilir ($N_{\text{Si}} \cong 10^6$). Şekil 1.9'da s-, r- ve p-çekirdeklerine ait bolluk eğrileri, Şekil 1.10'da ise p-çekirdeklerinin bolluk eğrisi verilmiştir.



Şekil 1.9. $\text{Si} = 10^6$ atomu referansında s-süreci, r-süreci ve p-süreci için güneş sistemi bollukları eğrisi (Anders, 1989)



Şekil 1.10. p-çekirdekleri için güneş sistemi bolluk eğrisi (Lodders, 2003; Anders ve Grevesse, 1989)

Şekil 1.9'dan görüldüğü gibi p-çekirdeklerinin bolluk eğrisi s- ve r-çekirdeklerinin bolluk eğrilerine benzer olup, p-çekirdekleri yaklaşık on ya da yüz kez daha az bolluğa sahiptir. Bolluk eğrilerinin bu şekilde benzer olması, s- ve r-çekirdeklerinin p çekirdeklerinin sentezinde tohum çekirdekler olarak hizmet verdiğini gösterir. A=190'dan sonra bolluk eğrisindeki yükseliş, N=126 ve Z=82 (çift-çift) sihirli sayılarındaki yüksek bağlanma enerjilerinin sonucudur. Diğer taraftan birbirinden farklı iki nötron yakalama süreci (s- ve r-süreci) aynı mertebede bolluk katkısı sağladığı şekilden görülmektedir (Lambert, 1992).

1.7. Astrofiziksel S-faktörü ve Tesir Kesiti

Tesir kesiti enerjiye bağlı bir kavramdır. Bir reaksiyonda oluşan ara çekirdeğin enerjisine yakın bir uyarılmış enerji seviyesi olması durumunda, rezonans olayı oluşur. Bunun olmadığı durumlar (non-rezonant reaksiyonlar) yüklü parçacık yakalama reaksiyonlarının temel enerji bağımlılığı, Coulomb engelini altında oldukça düşük enerjiler için Coulomb tünelleme olasılığı (P) ve diğer nükleer olmayan enerjiye bağlı terim olan (1/E) ileri gelir. Buna göre tesir kesitini ifade edecek olursak

$$\sigma(E) = \frac{S(E)}{E} \times P \quad (1.8)$$

Bu denklemde S(E) denklemde nükleer etkileri içerir.

Yüklü bir parçacığın kuantum mekaniksel tünelleme yoluyla Coulomb engelinden geçiş ihtimali

$$P \cong \exp\left(-\frac{4\pi}{h} \int \sqrt{2M[U(r) - E]} \cdot dr\right) \quad (1.9)$$

İfade edilir. (1.9)'un integrali alınarak gerekli sadeleştirmelerden sonra denklem (1.10) elde edilir.

$$P \cong \exp(2\pi\eta) = \left[-\frac{b}{\sqrt{E}}\right] \quad (1.10)$$

P için elde edilen (1.10) denklemi tesir kesiti ifadesi için yazdığımız (1.8) denklemde yerine yazılacak olursa (1.11) elde edilir.

$$\sigma(E) = \frac{S(E)}{E} \exp(-2\pi\eta) \quad (1.11)$$

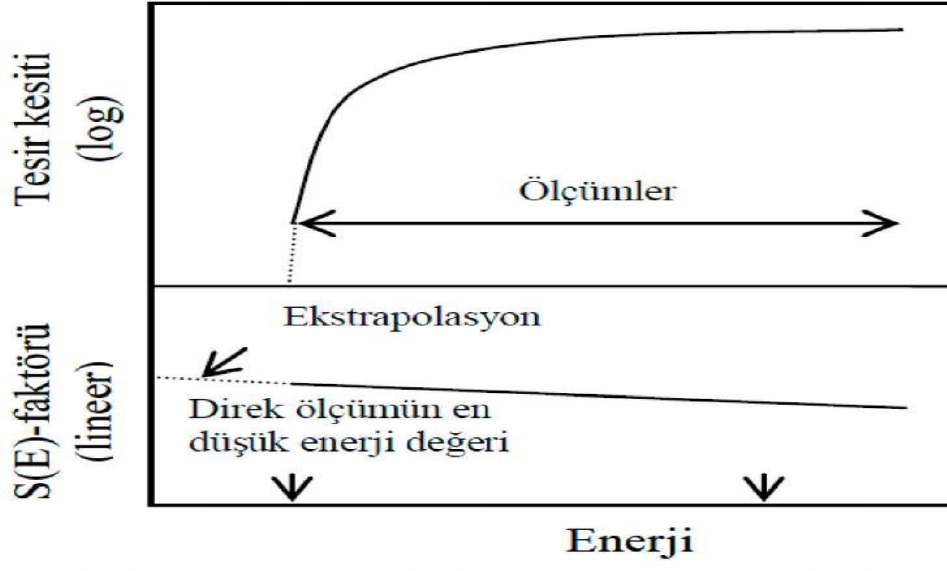
Nükleer fizikte, nükleer reaksiyonların olma olasılığını tesir kesiti açıklarken Astrofizikte astrofizik S-faktörü daha kullanışlıdır.

$$S(E) = \sigma(E) \cdot E \cdot \exp(2\pi\eta) \quad (\text{MeV.b}) \quad (1.12)$$

$$S(E) = \sigma(E) \cdot E \cdot \exp(31,29 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot \mu^{1/2} \cdot E^{-1/2}) \quad (\text{MeV.b}) \quad (1.13)$$

Burada, η Sommerfeld parametresidir ve $(Z_1 Z_2 e^2)/\hbar v$ ile verilir. Z_1 ve Z_2 etkileşmeye giren 1 ve 2 çekirdeklerinin yükleridir. μ indirgenmiş kütleyle temsil eder. Enerjiye bağlı $S(E)$ fonksiyonu ise, tesir kesiti içindeki nükleer etkileşmeleri temsil eder. Bu fonksiyon astrofiziksel S-faktörü olarak isimlendirilir ve rezonans olmadığında enerjiye bağıllığı oldukça azdır. Astrofizik S-faktörünün enerjiye bağlı değişimi, tesir kesitinin enerjiye bağlı değişiminden çok daha yavaş olduğundan, deneysel tesir kesiti ölçümünün mümkün olmadığı durumlarda, astrofizik S-faktörünün düşük enerjilere ekstrapole edilmesi çok daha kullanışlıdır (Şekil 1.11). Bu yolla düşük enerji bölgelerinde denklem (1.14) kullanılarak tesir kesiti değerleri de bulunabilir.

$$\sigma(E) = \frac{S(E)}{E} \cdot \exp(-31,29 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot \mu^{1/2} \cdot E^{-1/2}) \cdot 1000 \quad (\text{mb}) \quad (1.14)$$



Şekil 1.11. Tesir kesiti ve astrofiziksel S-faktörünün enerjiye bağımlılığı (Tamkaş, 2013)

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada ^{45}Sc , ^{46}Ti , ^{51}V , ^{50}Cr , ^{55}Mn , ^{54}Fe , ^{59}Co , ^{62}Ni , ^{63}Cu , ^{68}Zn , ^{69}Ga , ^{70}Ge , ^{75}As , ^{76}Se , ^{85}Rb , ^{86}Sr , ^{89}Y , ^{92}Mo , ^{100}Ru , ^{103}Rh , ^{107}Ag , ^{106}Cd , ^{113}In , ^{116}Sn , ^{121}Sb , ^{130}Te , ^{127}I , ^{130}Ba , ^{139}La , ^{141}Pr , ^{150}Nd çekirdekleri için (α, n) reaksiyonları için tesir kesiti TALYS 1.6 nükleer reaksiyon kodu ve NON-SMOKER web tabanlı hesaplama kodu ile EXFOR nükleer veri kütüphanesinden mevcut olan deney sonuçları kullanılmıştır.

2.1. Çalışma Yöntemi ve Aşamaları

^{45}Sc , ^{46}Ti , ^{51}V , ^{50}Cr , ^{55}Mn , ^{54}Fe , ^{59}Co , ^{62}Ni , ^{63}Cu , ^{68}Zn , ^{69}Ga , ^{70}Ge , ^{75}As , ^{76}Se , ^{85}Rb , ^{86}Sr , ^{89}Y , ^{92}Mo , ^{100}Ru , ^{103}Rh , ^{107}Ag , ^{106}Cd , ^{113}In , ^{116}Sn , ^{121}Sb , ^{130}Te , ^{127}I , ^{130}Ba , ^{139}La , ^{141}Pr , ^{150}Nd hedef çekirdekleri için (α, n) reaksiyonlarının tesir kesitleri TALYS 1.6 nükleer reaksiyon kodu ve NON-SMOKER web tabanlı hesaplama kodu ile hesaplanmış EXFOR nükleer veri kütüphanesinden mevcut olan deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bu deney sonuçları sayesinde denklem (1.13) kullanılarak astrofizik S-faktör hesap edilmiştir. Bulunan astrofizik S-faktörü değerleri her bir reaksiyon için ayrı ayrı fit edilerek Fit1 denklemleri elde edilmiştir.

Daha sonra Fit1 yoluyla elde edilen astrofizik S-faktör değerleri örneklem grubu atom numarasına göre grafiği elde edilmiş. Daha sonra bu grafik yardımıyla önerilen 3.1 denklemi için sabitler elde edilmiş olup (3.2) denklemi ile Fit2 yazılmıştır. Fit3 için ise örneklem grubunun astrofizik S-faktör değerleri ile B_{tot} grafiği çizilmiş. Bu grafiğe Fit işlemleri uygulanarak önerilen (3.3) denklemi için bulunan sabitlerle denklem (3.4) yani Fit3 formülü elde edilmiştir.

Elde ettiğimiz Fit1, Fit2 ve Fit3 denklemleri test grubu çekirdeklerine uygulanmış olup bunlar yorumlanmıştır. Ayrıca test grubu çekirdeklerinden $^{69}\text{Ga}(\alpha, n)$ reaksiyonu için $E=8,082$ MeV enerji değerinde Fit1, Fit2 ve Fit3 denklemleri uygulanıp Şekil 4.1’de ifade edilmiştir.

2.1.1. Talys Kodu

TALYS, Linux işletim sisteminde çalışan ve Fortran programlama diline sahip, nükleer reaksiyonların analizi ve tahmini için oluşturulmuş bir bilgisayar kod

programıdır. Simülasyon reaksiyonlarda, nötron, proton, döteryum, trityum, ^3He , α parçacıkları ve γ ışınları 1 KeV – 1 GeV enerji bölgesinde çalışılabilir. Nükleer model ve süreçlerin veri tabanı ile kombinasyonlarda, optik model (saçılma deney verilerine uygun bir fit etme ve elastik saçılma tesir kesitleri ile kutuplanmalarda kullanılır.), birleşik çekirdek istatistiksel teori, doğrudan reaksiyonlar (elastik ve elastik olmayan saçılmalar) ve denge öncesi süreçler teorik analiz tabanında yapılabilmektedir (Koning vd. 2013). TALYS 1.6 çıktı dosyalarında,

- . Esnek, esnek olmayan ve toplam tesir kesiti,
- . Elastik saçılma açısal dağılımlar,
- . Kesikli seviyelerde açısal dağılımlar,
- . İzomerik ve taban durum tesir kesiti,
- . Toplam parçacık (n,xn), (n,xp) vb enerji ve çift katlı diferansiyel tesir kesitleri,
- . Tekli ya da Çoklu emisyon tesir kesitleri,
- . Ürün çekirdeklerin oluşum tesir kesiti sonuçları, elde edilebilir.

(Deney verilerimizde model belirtilmediği için TALYS 1.6, potansiyel olarak optik modeli kullanmıştır.)

2.1.2. Non-Smoker web

NON-SMOKER web tabanlı teorik hesaplama kodu ile atom numarası $9 < Z < 84$ (Ne ve Bi) bölgesinde Hauser-Feshbach hesaplama yöntemini kullanarak;

- .Reaksiyon Tesir kesiti değerlerini
- .Hauser-Feshbach modelinin uygulanabilirlik tahminleri
- .Giriş değerlerine bağlı olarak sensitivity değerlerini
- .Astrofiziksel reaksiyon oranlarını,Yıldızlar ve diğer büyük sistemler için bulabiliriz.

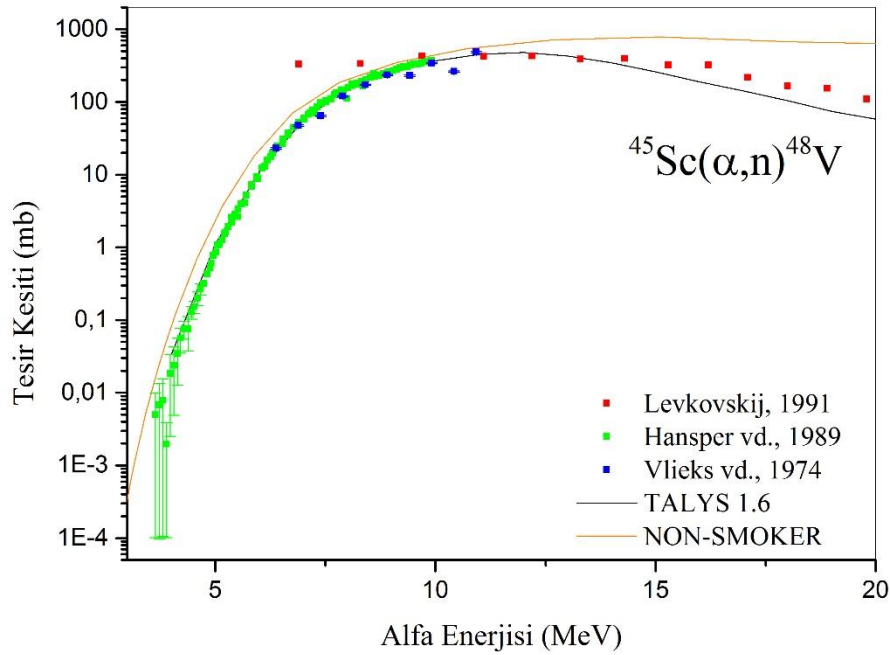
2.1.3. Hesaplama Yöntemi

TALYS 1.6 programında bir reaksiyon simülasyonu oluşturmak için önce bir input dosyası oluşturulur. Amaca uygun olarak oluşturulan input dosyası çalıştırıldıktan sonra çıktı dosyaları elde edilir. Bu dosyalar arasından ürün çekirdeğe ait olanı reaksiyonun tesir kesiti değerlerini vermektedir. Bu değerler grafik programlarında yerlerine yazılarak diğer teorik ve deneysel hesaplamalarla karşılaştırıldı.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

^{45}Sc , ^{46}Ti , ^{51}V , ^{50}Cr , ^{55}Mn , ^{54}Fe , ^{59}Co , ^{62}Ni , ^{63}Cu , ^{68}Zn , ^{69}Ga , ^{70}Ge , ^{75}As , ^{76}Se , ^{85}Rb , ^{86}Sr , ^{89}Y , ^{92}Mo , ^{100}Ru , ^{103}Rh , ^{107}Ag , ^{106}Cd , ^{113}In , ^{116}Sn , ^{121}Sb , ^{130}Te , ^{127}I , ^{130}Ba , ^{139}La , ^{141}Pr ve ^{150}Nd hedef çekirdeklerinde (α, n) reaksiyonları için tesir kesiti TALYS1.6 nükleer reaksiyon kodları ve NON-SMOKER kodları ayrıca EXFOR nükleer veri kütüphanesinden alınan mevcut olan tesir kesiti verileri kullanılarak astrofizik S-faktör değerleri hesap edildi. Reaksiyonlarımızın tesir kesiti değerleri Şekil 3.1-3.31’de ifade edilmiştir.

3.1. $^{45}\text{Sc}(\alpha, n)$ Reaksiyonu



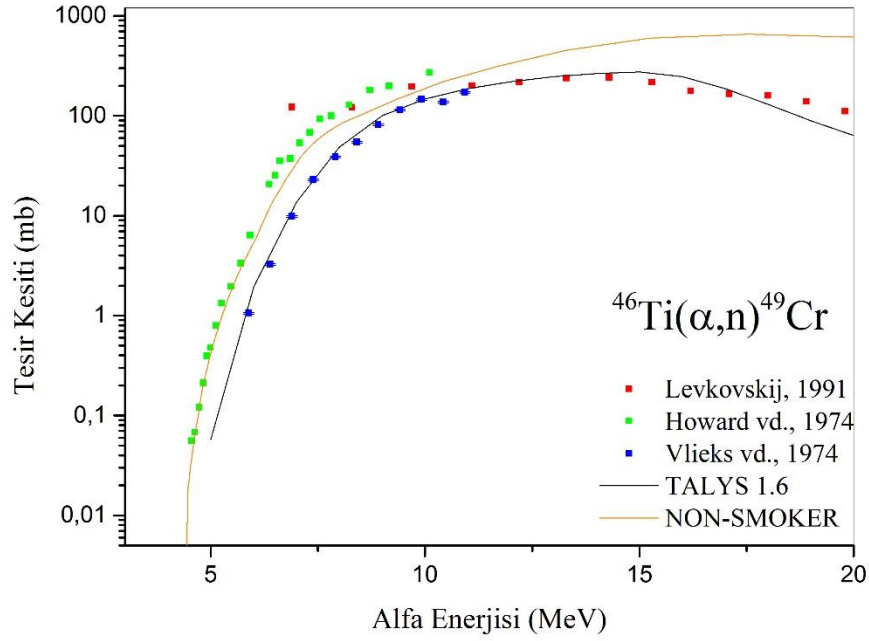
Şekil 3. 1. $^{45}\text{Sc}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti ve değerleri.

Şekil 3.1 incelendiğinde özellikle gelen alfa enerjisinin 7-10 MeV aralığında Vlieks vd. (1974)'nin deney sonuçlarının TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile uyumlu olduğu görülebilir. Ayrıca benzer durumun alfa enerjisinin yaklaşık 2-10 MeV aralığında Hansper vd. (1989)'nin deney sonuçları için de söz konusu olduğu görülmektedir. Alfa enerjisinin 11 MeV den büyük olduğu durumlarda TALYS 1.6 ve NON-SMOKER hesapları arasında farklılıklar oluşmaya

başlamıştır.

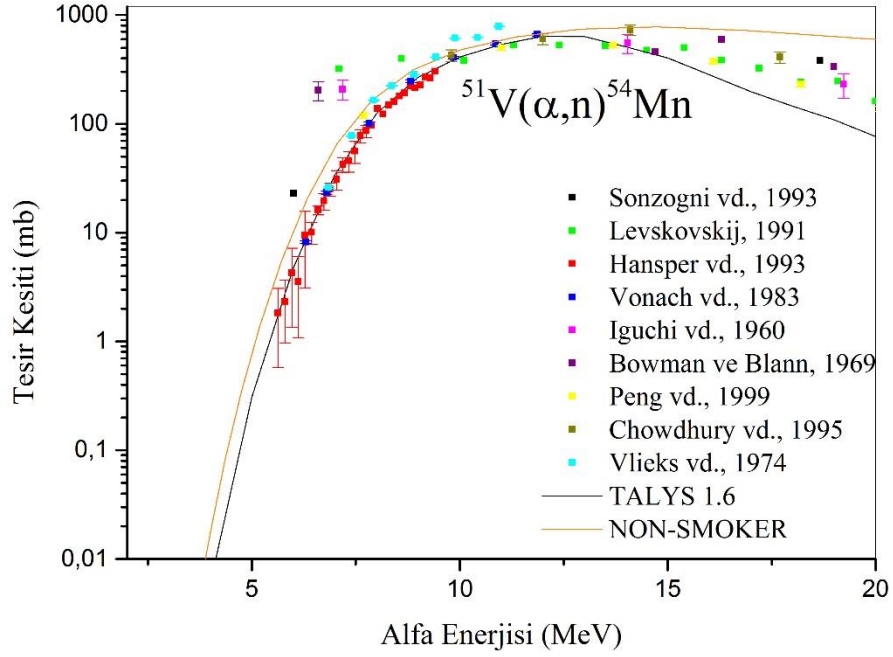
3.2. $^{46}\text{Ti}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

Şekil 3.2 incelenecek olursa 4-8 MeV aralığında Howard vd. (1974)'nin deney sonuçlarıyla NON-SMOKER değerlerinin uyumlu olduğu, Vlieks vd. (1974)'nin deney sonuçlarının 6 -10 MeV aralığında özellikle TALYS 1.6 kodu ile elde edilen tesir kesiti değerleri uyumlu olduğu ayrıca 10-20 MeV aralığında ise Levkovskij (1991)'in deney sonuçlarının TALYS 1.6 değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasında var olan fark 13 MeV den itibaren olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. $^{46}\text{Ti}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

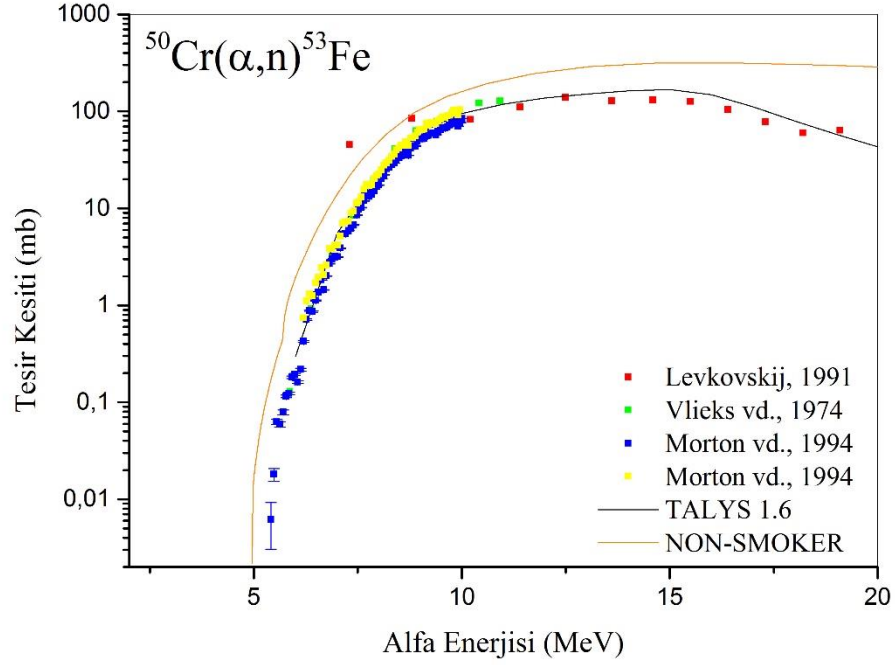
3.3. $^{51}\text{V}(\alpha,n)$ Reaksiyonu



Şekil 3.3. $^{51}\text{V}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesis kesiti değerleri

Şekil 3.3 grafiği incelenecek olursa 6-10 MeV aralığında Hansper vd. (1993) ve Vonach vd. (1983) ve Vlieks vd. (1974) deney sonuçlarının TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesis kesiti değerleri uyumlu olduğu görülür. Levkovskij (1991) deney sonuçlarının 6-12 MeV aralığında TALYS 1.6 değerleriyle uyumlu olduğu görülür. Peng vd. (1999)'nin deneysel sonuçlarının ise 7-18 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerlerinin arasında yer aldığı görülebilir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasında varolan fark 12 MeV den daha da artmaktadır.

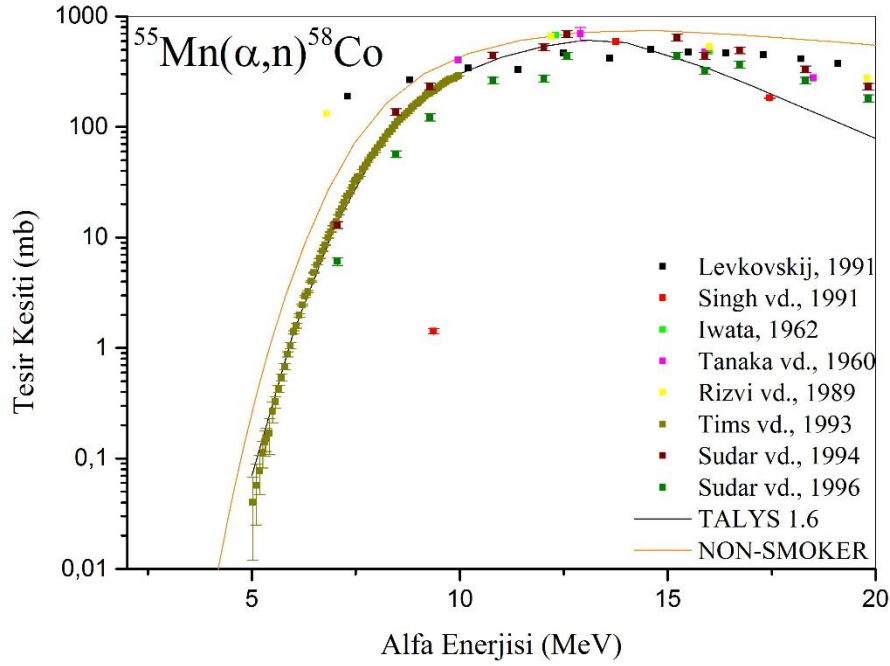
3.4. $^{50}\text{Cr}(\alpha,n)$ Reaksiyonu



Şekil 3.4. $^{50}\text{Cr}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesis kesiti değeri

Şekil 3.4 grafiği incelendiğinde , Morton vd. (1994)'nin deney sonuçlarının 6-10 MeV aralığında TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesis kesiti değeri uyumlu olduğu olduğu benzer uyumun Levkovskij (1991)'in deney sonuçları ile de olduğu görülür. Vlieks vd. (1974)'nin deney sonuçlarının 8-11 MeV aralığında TALYS 1.6 ile uyumlu olduğunu söyleyebiliriz.

3.5. $^{55}\text{Mn}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

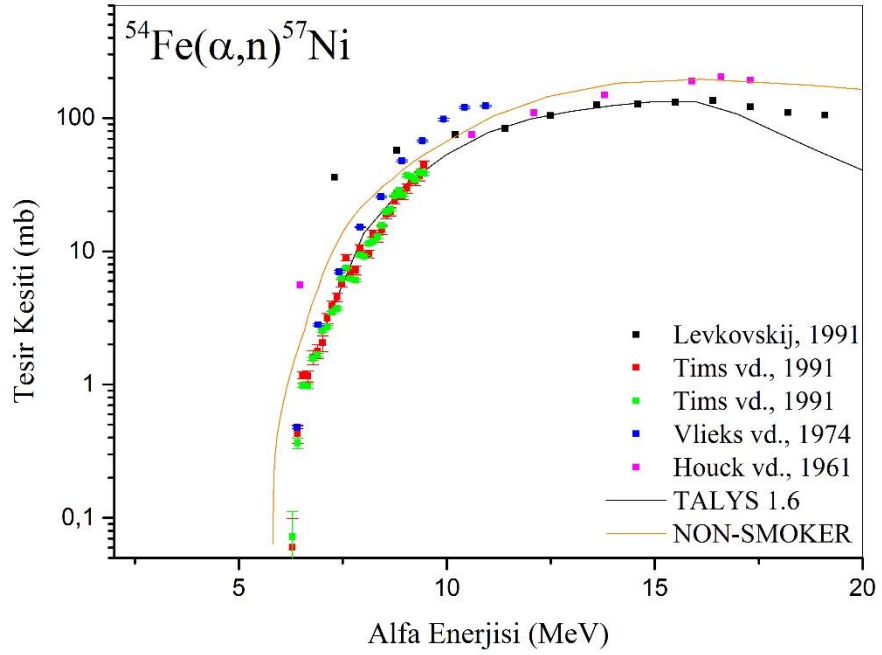


Şekil 3.5. $^{55}\text{Mn}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.5 grafiğinde 5-10 MeV aralığında Tims vd. (1993)'nin deney sonuçlarının TALYS1.6 ile uyumlu olduğu 7-15 MeV aralığında da Sudar vd. (1994)'nin deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülür. Levkovskij (1991) deney sonuçlarının ise 6-18 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri ile uyumlu olduğu diğer deneysel değerlerinde yaklaşık olarak uyumlu olduğu görülür. Diğer taraftan TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasında varolan fark 12,5 MeV' den itibaren artmaktadır.

3.6. $^{54}\text{Fe}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

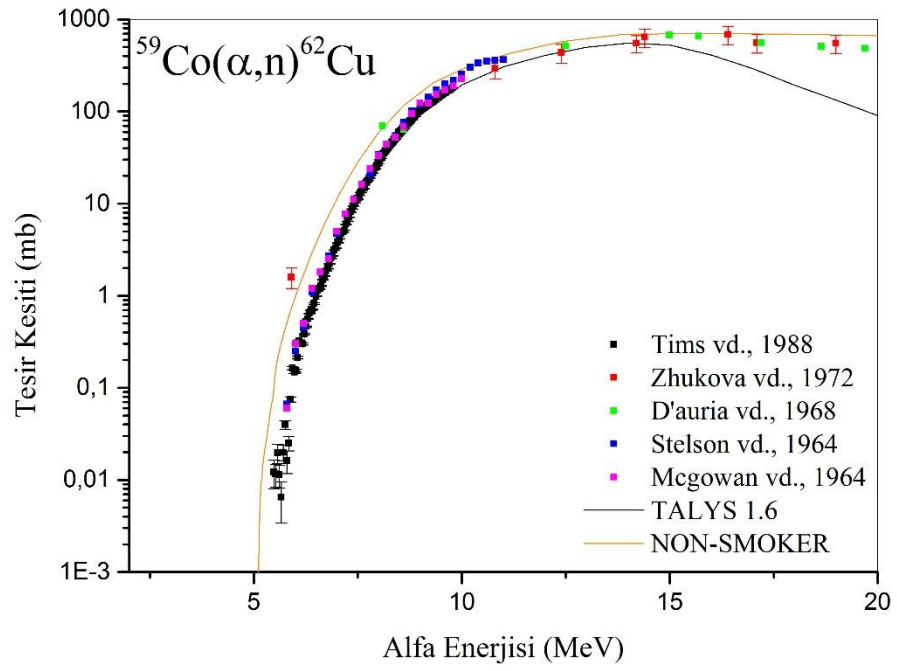
Şekil 3.6 grafiği için Tims vd. (1991)'nin her iki deney sonucunun TALYS 1.6 ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile 6-10 MeV aralığında uyumlu olduğu görülebilir. Levkovskij (1991)'in deney sonuçlarının ise 10-18 MeV aralığı içinde uyumlu olduğu görülmektedir. 6-15 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri bir çarpanla aynı değeri verebileceği görülmektedir. Bu uyumları daha büyük enerji değerlerinde bozulmaya başlamaktadır.



Şekil 3.6. $^{54}\text{Fe}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesisir kesiti değerleri

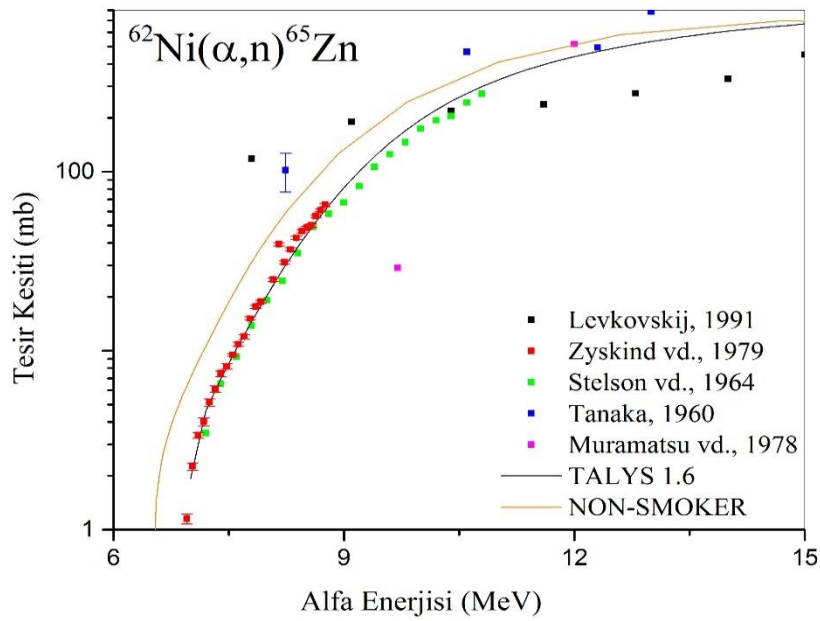
Şekil 3.6’da Tims vd. (1988) ve Stelson vd. (1964), McGowan vd. (1964)’nin deney sonuçlarının özellikle 6-10 MeV aralığında TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesisir kesiti değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Zhukova vd. (1972)’nin deney sonuçlarının 10-16 MeV aralığında TALYS 1.6 ile uyumlu olduğu dikkat çekmektedir. Benzer bir uyum aynı enerji bölgesinde D’auria vd. (1968)’nin deneysel değerleri için de ifade edilebilir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasında varolan fark 15 MeV den itibaren daha açık hale gelmiştir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasındaki özellikle 6-15 MeV aralığında bir çarpanla benzer değeri verebilecekleri görülmektedir.

3.7. $^{59}\text{Co}(\alpha,n)$ Reaksiyonu



Şekil 3.7. $^{59}\text{Co}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

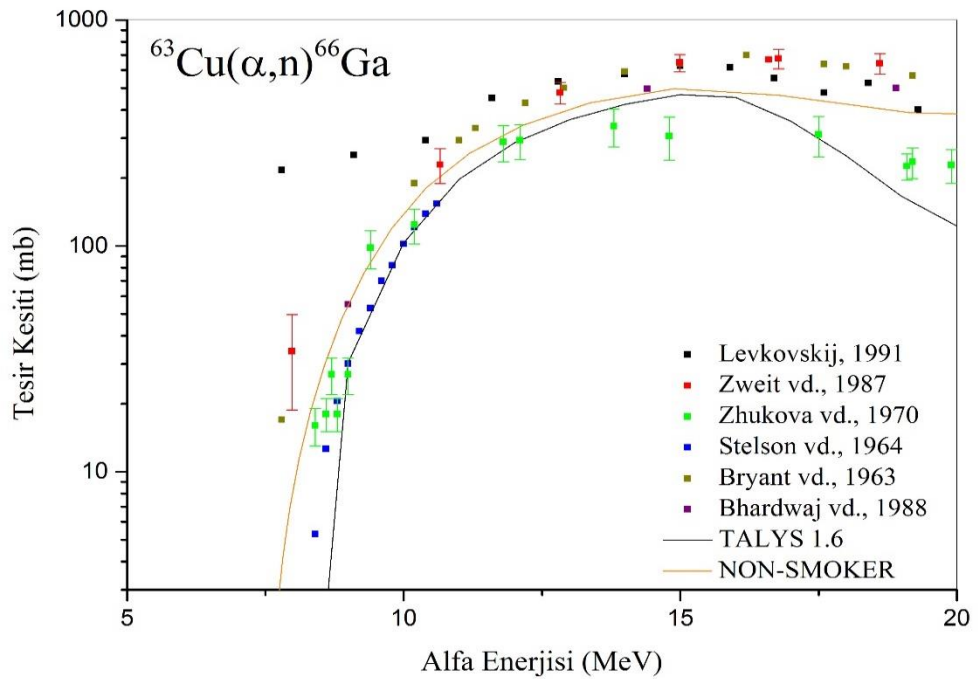
3.8. $^{62}\text{Ni}(\alpha,n)$ Reaksiyonu



Şekil 3.8. $^{62}\text{Ni}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.8’de Zyskind vd. (1974)’nin ayrıca Stelson vd. (1964)’nin deneysel sonuçların 7-11 MeV aralığı için TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri uyumlu olduğu görülür. Levkovskij (1991) deney sonuçlarının da uyumlu olduğu görülmektedir. Tanaka (1960)’nin deneysel değerlerinin 8-12 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri ile belli bir uyumda olduğu görülmektedir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasında varolan fark ise özellikle düşük enerji bölgesinde bir çarpanla işleme tabi tutulup aynı hale getirilebilir. 15 MeV’de ise TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri kesişmişlerdir.

3.9. $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)^{66}\text{Ga}$ Reaksiyonu

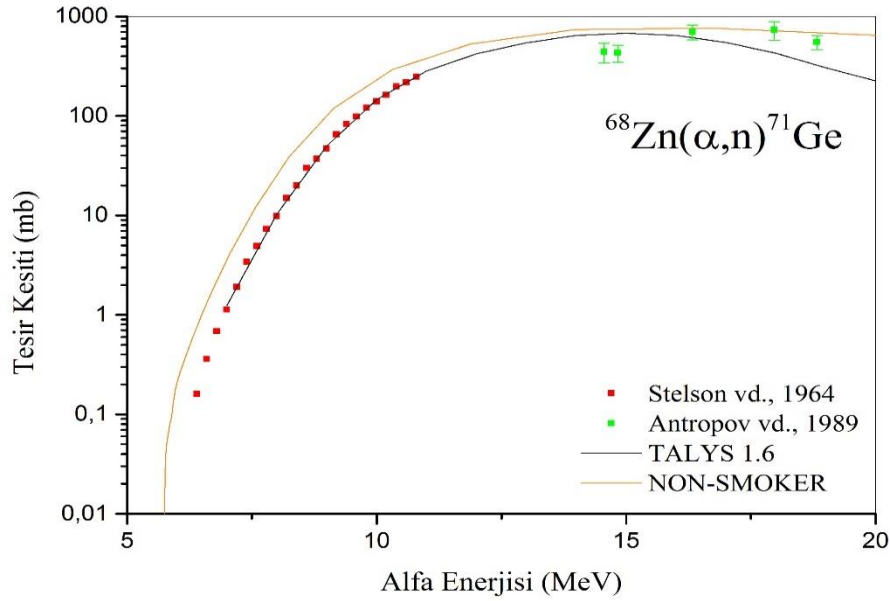


Şekil 3.9. $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.9’da Stelson vd. (1964)’nin deneysel sonuçlarının 8-10 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri uyumlu olduğu görülür. Zhukova vd. (1970)’nin deneysel sonuçlarının özellikle düşük enerji bölgesinde TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri yakın olduğu görülmektedir. Zweit vd. (1987)’nin deneysel değerlerinin TALYS 1.6

ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile belirli bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Benzer uyumun Bryant vd. (1963)'nin deneysel değerleri içinde söz konusu olduğu söylenebilir. Bhardwaj vd. (1988)'nin deneysel değerlerinin ise NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile belirli bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

3.10. $^{68}\text{Zn}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

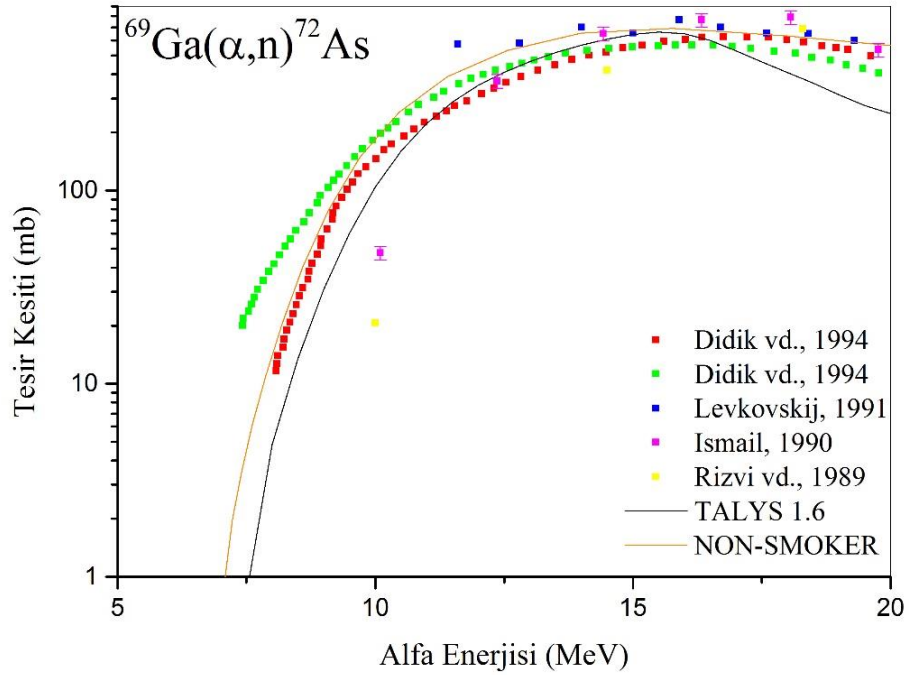


Şekil 3.10. $^{68}\text{Zn}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.10 için Stelson vd. (1964)'nin deneysel sonuçlarının 6-10 MeV aralığında TALYS1.6 ile uyumlu olduğu Antropov vd. (1989)'nin deneysel sonuçlarının ise 14-18 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerine yakın olduğu görülmektedir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri özellikle 6-15 MeV aralığında büyük bir benzerlik içermektedir. 15 MeV'den itibaren ise TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasında fark ortaya çıkmaktadır.

3.11. $^{69}\text{Ga}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

Şekil 3.11’de 7-20 MeV aralığı için özellikle Didik vd. (1994)’nin deneysel sonuçlarının TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri uyumlu olduğu görülmektedir. Levkovskij (1991)’in deneysel sonuçlarının ise 11-19 MeV aralığında NON-SMOKER değerleri ile uyum içerisinde olduğu ifade edilebilir. Ismail (1990) deneysel sonuçlarının ise 10-20 MeV aralığında uyumlu olduğu görülmektedir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin çok yakın değerler olduğu ancak bu yakınlığın 16 MeV’den itibaren değişmeye başladığı görülebilir.

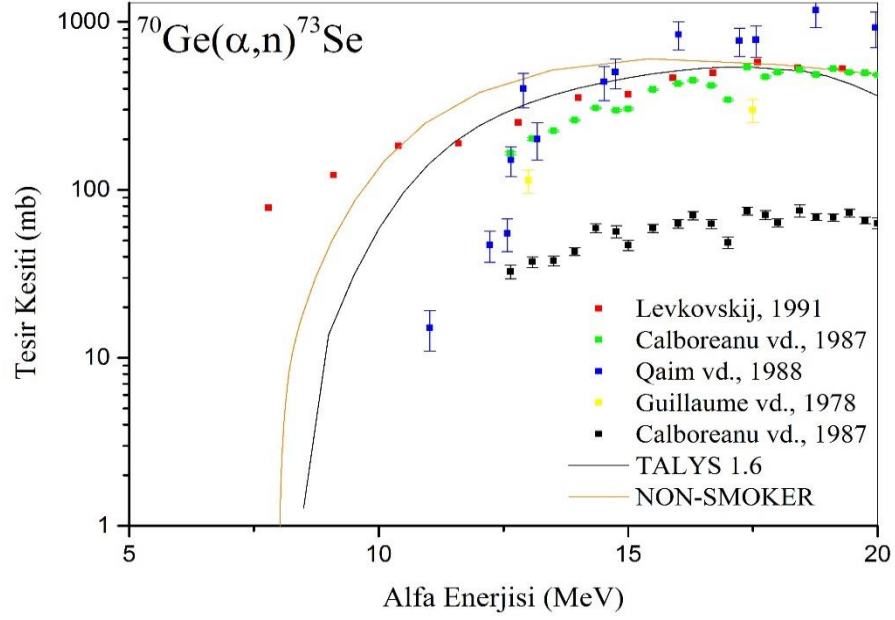


Şekil 3.11. $^{69}\text{Ga}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

3.12. $^{70}\text{Ge}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

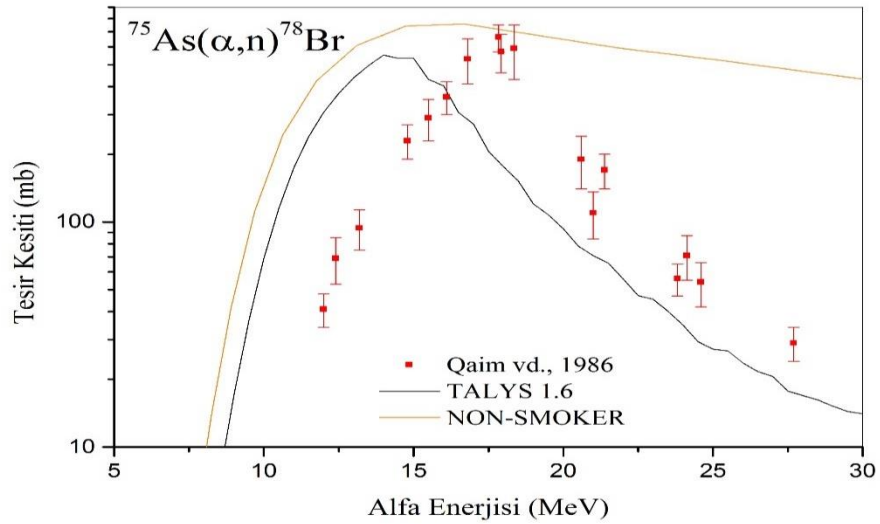
Şekil 3.12 incelenecek olursa Calboreanu vd. (1987)’nin deneysel sonuçları özellikle 12-20 MeV aralığında belirli bir uyumda olduğu ifade edilebilir. Levkovskij (1991)’in deneysel sonuçlarının ise TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile 7,5-20 MeV aralığında belli bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin birbirlerine yakın değerler olduğu bu yakınlığın 18 MeV’den itibaren

değişmeye başladığı ifade edilebilir.



Şekil 3.12. $^{70}\text{Ge}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

3.13. $^{75}\text{As}(\alpha,n)$ Reaksiyonu



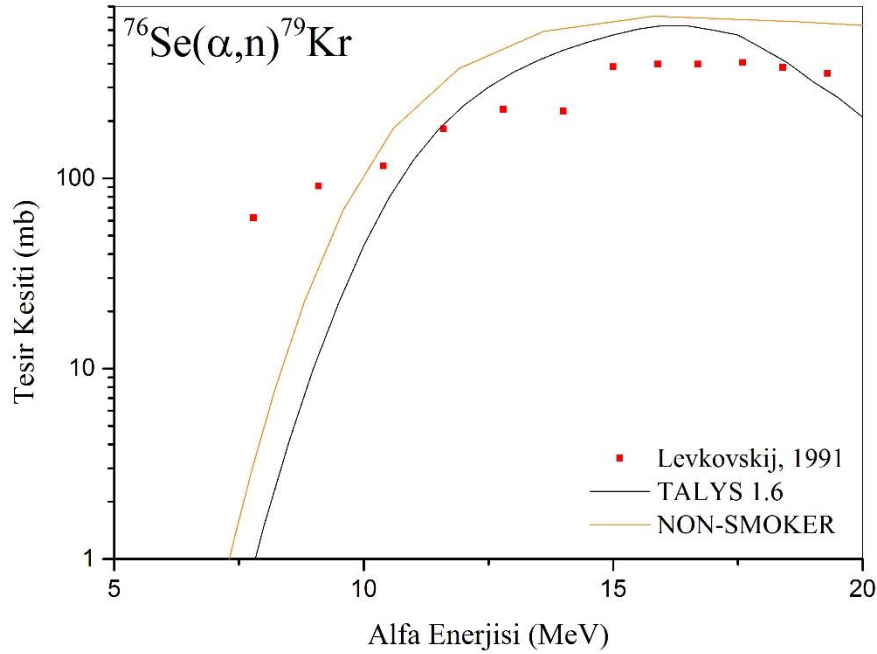
Şekil 3.13. $^{75}\text{As}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.13 incelendiğinde Qaim vd. (1986)'nin deneysel sonuçlarının TALYS 1.6 ve

NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin benzerlik içerisinde olduğu görülmektedir. Hatta enerji değerlerinde belli bir miktar kayma vardır.

TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri 6-15 MeV aralığında bir çarpanla benzer sonuçları verebileceği görülmektedir. 15 MeV'den sonra ise çok açık bir şekilde bu benzerlik bozulmaktadır.

3.14. $^{76}\text{Se}(\alpha, n)^{79}\text{Kr}$ Reaksiyonu

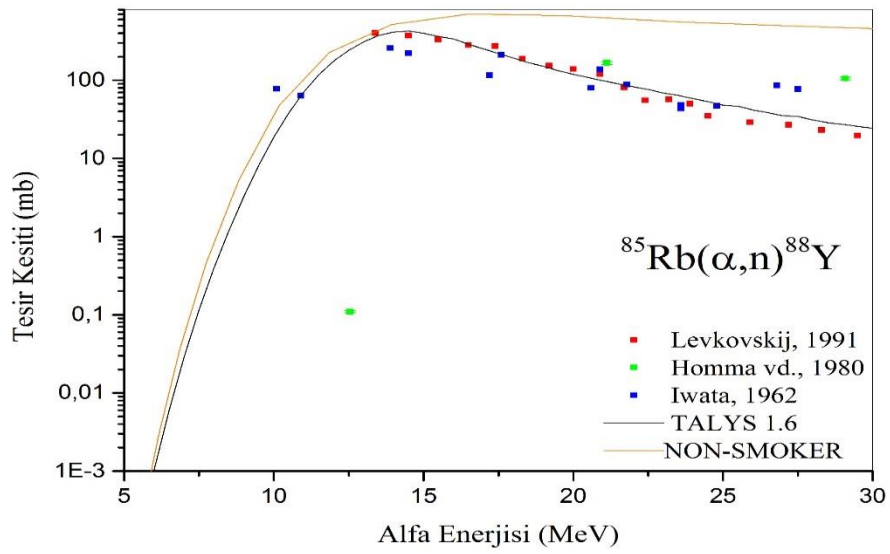


Şekil 3.14. $^{76}\text{Se}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.14 $^{76}\text{Se}(\alpha, n)$ reaksiyonu grafiği incelendiğinde Levkovskij (1991)'in deneysel sonuçlarının bir katsayı çarpanıyla TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri 10-19 MeV aralığında ile uyumlu hale gelebileceği öngörülebilir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin kendi aralarında 7,5-19 MeV aralığında benzerlik içerisinde olduğu görüldü. Yaklaşık 17 MeV civarında ise bu iki deneysel kod değerleri ile elde edilen tesir kesiti değerleri ayrılmaya başlamışlardır.

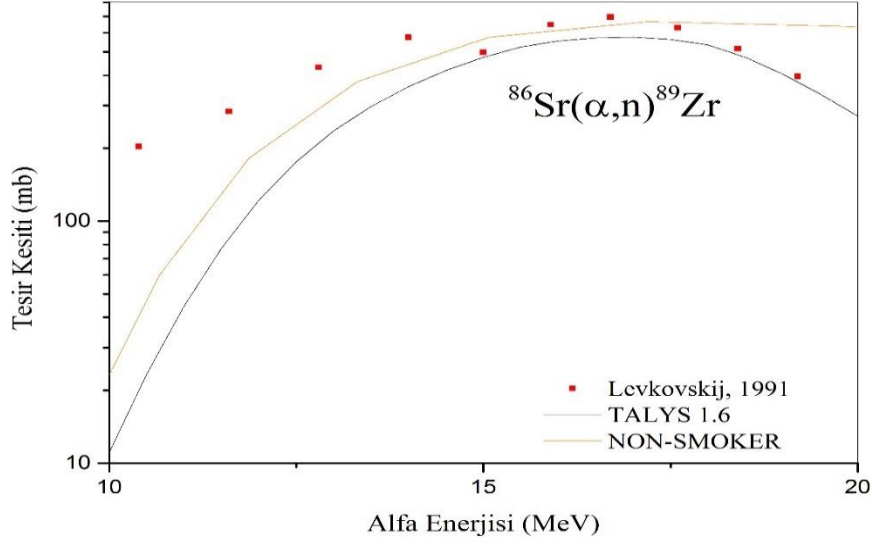
3.15. $^{85}\text{Rb}(\alpha, n)$ Reaksiyonu

Şekil 3.15 grafiği incelendiğinde 13-30 MeV aralığında Levkovskij (1991)'in ve Iwata vd. (1962)'nin deneysel sonuçlarının TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile uyumlu olduğu görüldü. 6-13 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasında çok büyük bir fark olmadığı görülmektedir. 13 MeV'den itibaren ise TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasındaki fark belirgin olarak görülmüştür.



Şekil 3.15. $^{85}\text{Rb}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

3.16. $^{86}\text{Sr}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

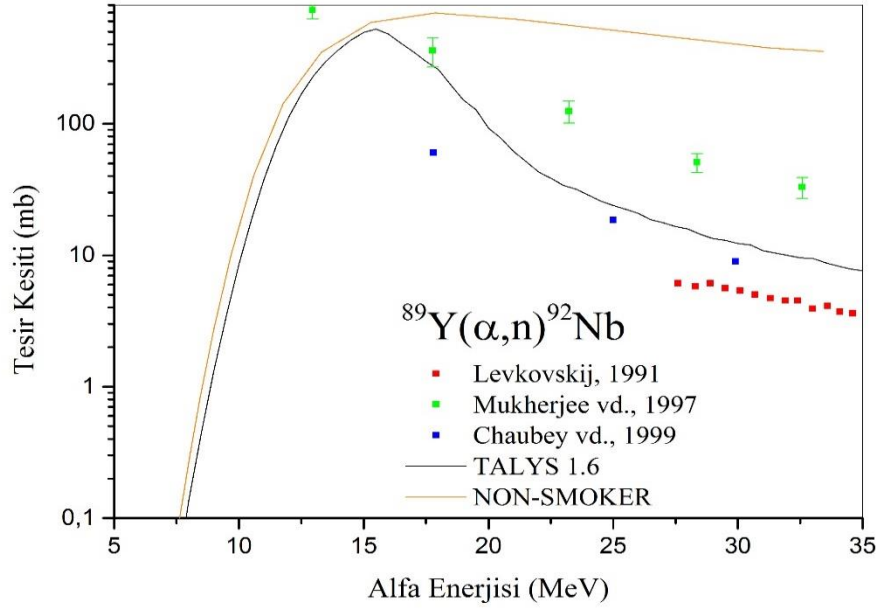


Şekil 3.16. $^{86}\text{Sr}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.16 grafiğinde Levkovskij (1991)'in deneysel sonuçlarının TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile 10-14 MeV civarında farklı olduğu görüldü. 14 MeV'den itibaren ise TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri ile belli bir uyum içerisinde olduğu görüldü.

3.17. $^{89}\text{Y}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

Şekil 3.17 $^{89}\text{Y}(\alpha,n)$ reaksiyonu grafiği incelenecek olursa deneysel verilerden Mukherjee vd. (1997)'nin TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin arasında değerlere sahip olduğu görülmektedir. Chaubey vd. (1999)'nin deneysel sonuçlarının ise özellikle 17,5-30 MeV aralığında TALYS 1.6 değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Levkovskij (1991)'in deneysel verilerinin ise 27,5-30 MeV aralığı için TALYS 1.6 değerlerinden farklı olduğu görülmektedir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ise 7,5-15 MeV aralığında benzer değerleri vermektedirler. Ancak 15 MeV'den itibaren farklılık açıkça görülmektedir.

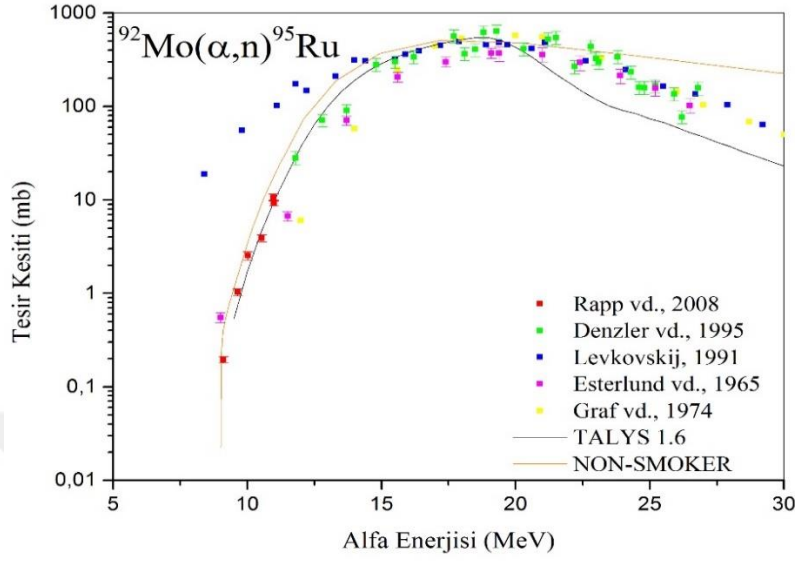


Şekil 3.17. $^{89}\text{Y}(\alpha,n)^{92}\text{Nb}$ reaksiyonu için tesis kesiti değerleri

3.18. $^{92}\text{Mo}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

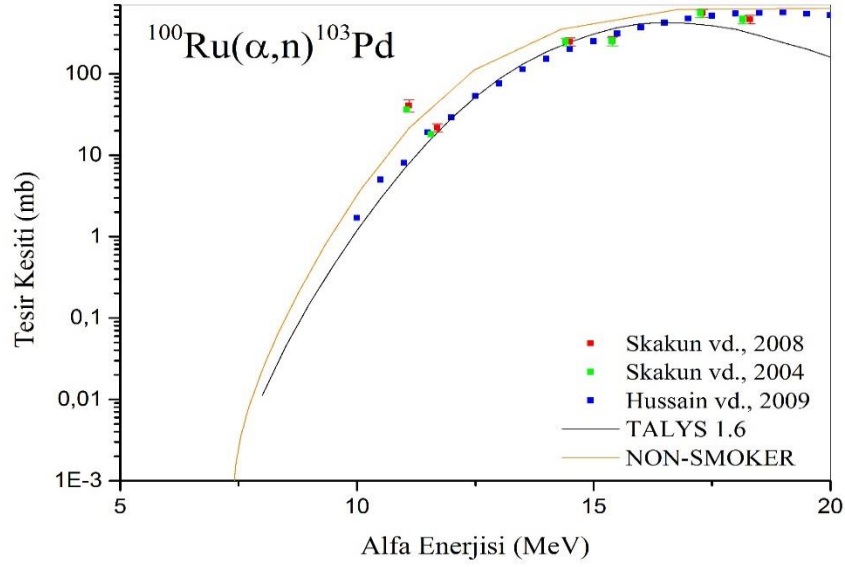
Şekil 3.18. $^{92}\text{Mo}(\alpha,n)$ reaksiyon grafiğinde Rapp vd. (2008)'in deneysel sonuçlarının 9-12 MeV aralığında TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesis kesiti değerleri ile hemen hemen uyum içerisinde olduğu görüldü. Denzler vd. (1995)'nin deneysel sonuçlarının ise TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesis kesiti değerleri 12-15 MeV aralığı içinde uyumlu olduğu görülmektedir. Levkovskij (1991)'in deneysel sonuçlarının 8-10 MeV aralığı için TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerlerinden farklı olduğu ancak bu farkın 15-30 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerlerinin arasında sonuçlar verdiği görülmektedir. 9-19 MeV aralığı için Esterlund vd. (1965)'nin deneysel sonuçlarının TALYS 1.6 ile büyük bir uyum içerisinde olduğu 19 MeV'den itibaren ise TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerlerinin arasında deneysel sonuçlara sahip olduğu ifade edilebilir. Graf vd. (1974)'nin deneysel değerlerinin TALYS 1.6 ile özellikle 12,5-20 MeV aralığı için uyumlu olduğu bu uyumun daha büyük enerji değerlerinde TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerlerinin hemen hemen arasındaki değerlere sahip olduğu görülmektedir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde

edilen tesir kesiti değerlerinin 9-19 MeV aralığı için çok benzerlik gösterdiği ancak bu benzerliğin 19 MeV den itibaren bozulmaya başladığı görülmektedir.



şekil 3.18. 92Mo(α ,n) reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

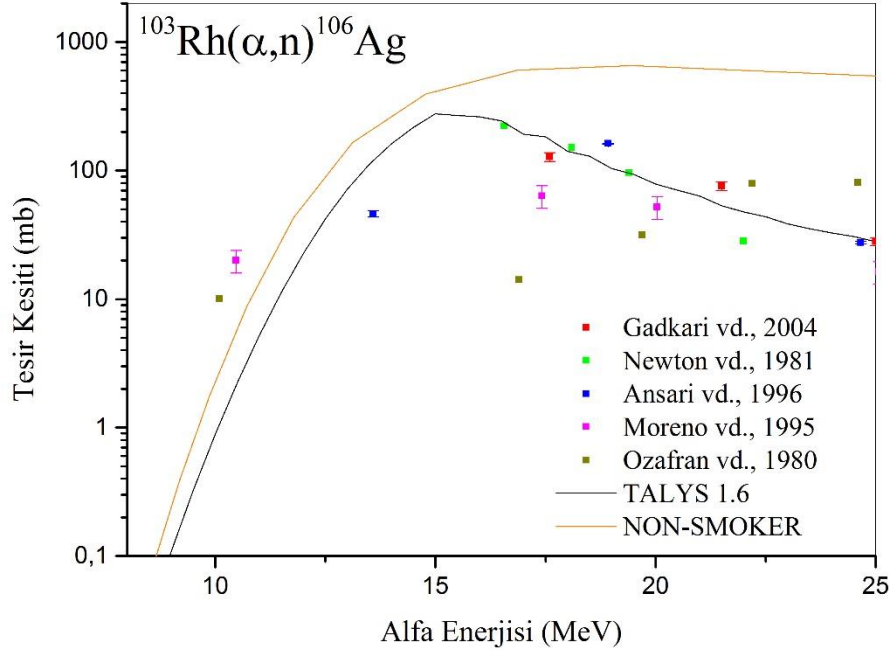
3.19. $^{100}\text{Ru}(\alpha,n)$ Reaksiyonu



Şekil 3.19. $^{100}\text{Ru}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.19 grafiğinde Hussain vd. (2009)'nin deneysel sonuçlarının 10-17 MeV aralığında TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri uyumlu olduğu görüldü. Bu uyumun 17 MeV'den itibaren farklılaşmaya başladığı görülmektedir. Diğer deneysel sonuçların ise özellikle TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri 11-18 MeV aralığında uyumlu olduğu söylenebilir. Diğer taraftan TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin 8-18 MeV aralığında yakın değerlerde olduğu ancak bunun 18 MeV'den sonra farklılaşmaya başladığı ifade edilebilir.

3.20. $^{103}\text{Rh}(\alpha,n)$ Reaksiyonu



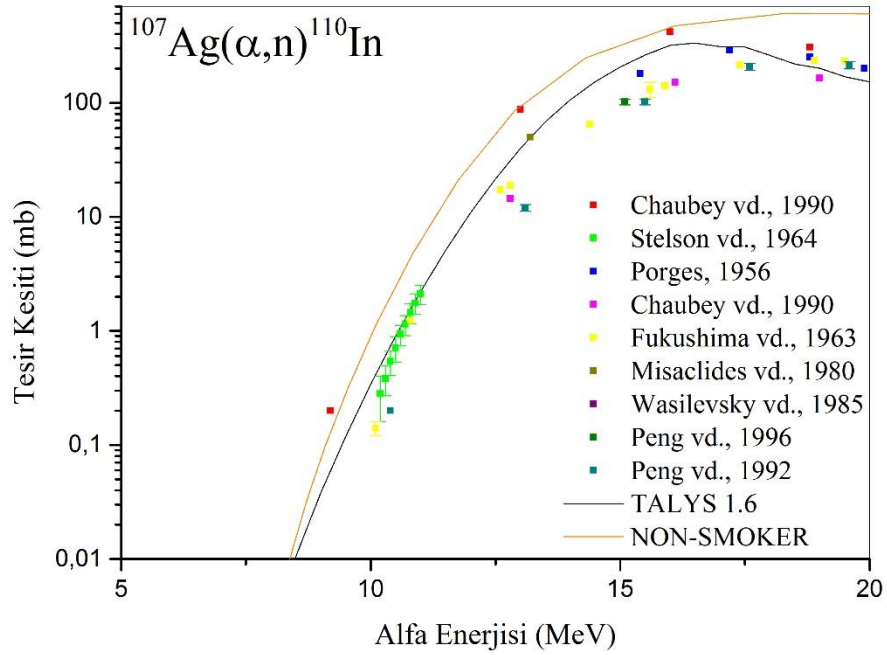
Şekil 3.20. $^{103}\text{Rh}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.20 grafiği için TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin kendi aralarında 8-15 MeV aralığında uyumlu olduğu görülmektedir. 15 MeV den itibaren ise TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerlerinin farklılaşmaya başladığı ifade edilebilir. Newton vd. (1981)'nin 16-22 MeV aralığında TALYS 1.6 değerleri ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. 17,5-22 MeV aralığında Gadkari vd. (2004)'nin TALYS 1.6 ile uyumlu olduğu görülmektedir. Diğer deneysel veriler için benzer uyumun olmadığı görülmektedir.

3.21. $^{107}\text{Ag}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

Şekil 3.21 grafiğinde Chaubey vd. (1990)'nin deneysel sonuçlarının NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri 9-15 MeV aralığı içinde uyumlu olduğu görüldü. 10-11 MeV aralığında Stelson vd. (1964)'nin deneysel sonuçlarının TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Porges (1956)'in deneysel sonuçlarının 15-20 MeV aralığında TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Peng vd. (1996)

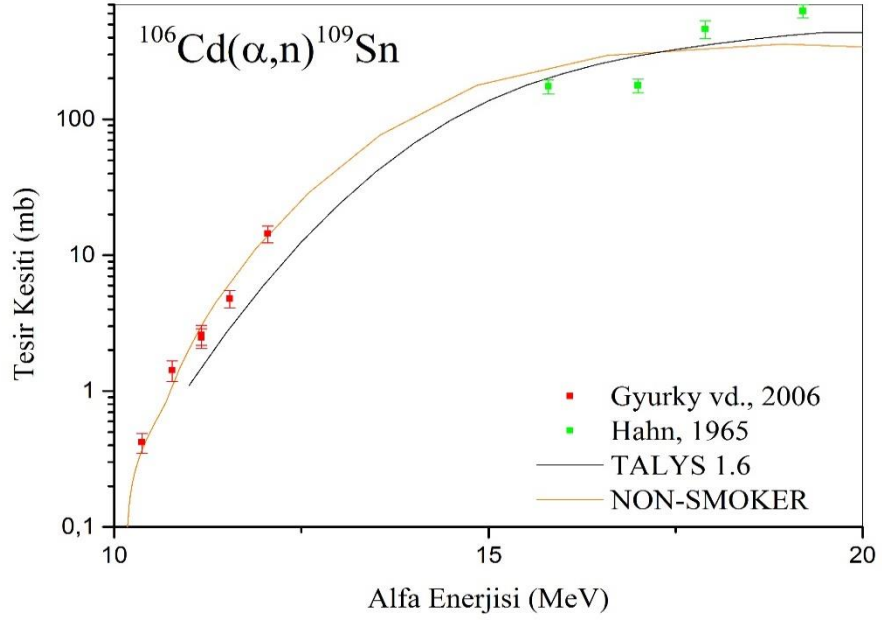
deneysel değerlerinin TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile 10,5-20 MeV aralığında benzer olduğu görülmektedir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin kendi aralarında özellikle 9-15 MeV aralığı için uyumlu oldukları ancak bu uyumun 15 MeV'den itibaren bozulmaya başladığı ifade edilebilir.



Şekil 3.21. $^{107}\text{Ag}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

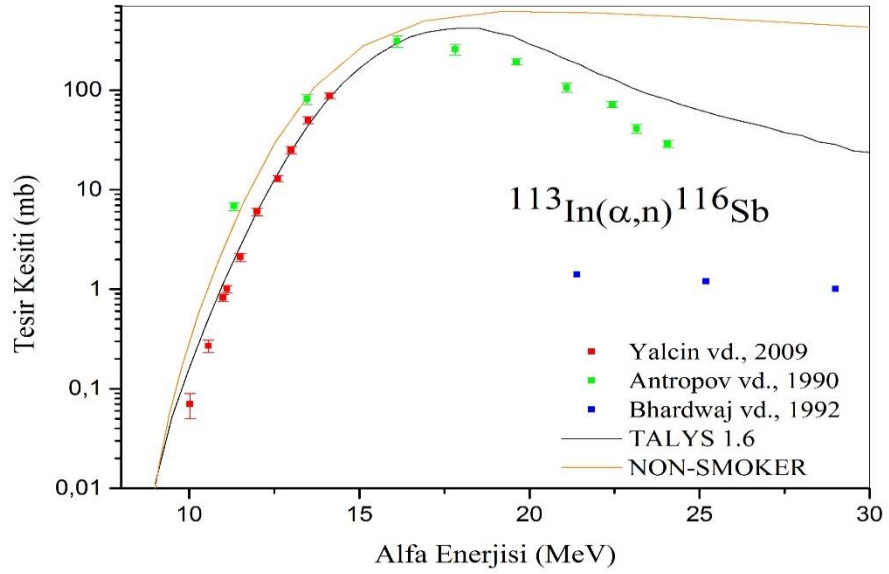
3.22. $^{106}\text{Cd}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

Şekil 3.22 incelenecek olursa Gyurky vd. (2006)'nin deneysel sonuçlarının yaklaşık olarak 10-12 MeV aralığı içinde NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri uyumlu olduğu görüldü. 16-19 MeV aralığında ise Hahn (1965)'nin deneysel sonuçlarının TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerine yakın olduğu görülmektedir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin kendi aralarındaki uyum 12-17,5 MeV aralığında görülmektedir.



Şekil 3.22. $^{106}\text{Cd}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

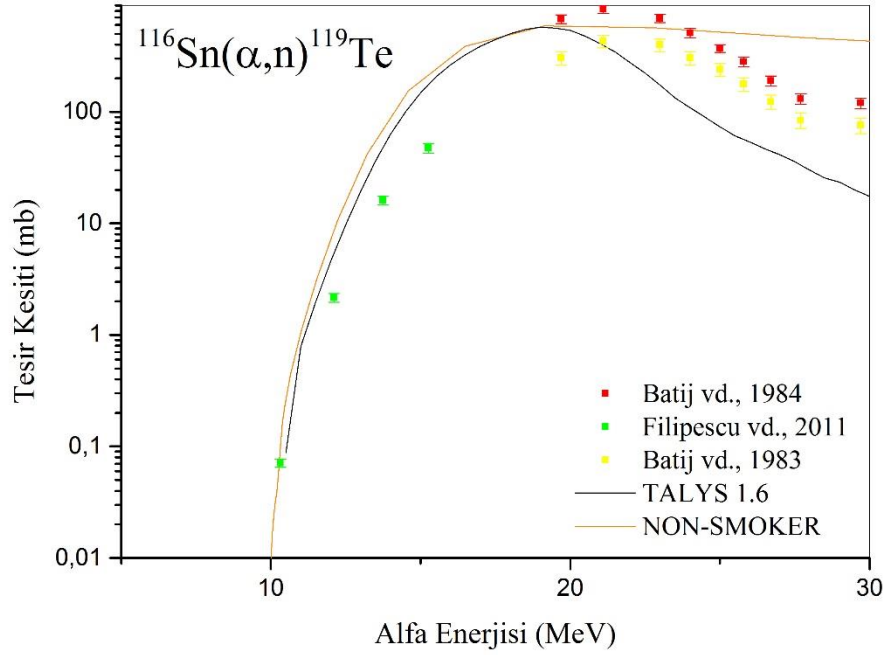
3.23. $^{113}\text{In}(\alpha, n)$ Reaksiyonu



Şekil 3.23. $^{113}\text{In}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.23 grafiğinde 10-15 MeV aralığında Yalçın vd. (2009)'nin deneysel sonuçlarının TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri uyumlu olduğu diğer bir uyumun Antropov vd. (1990)'nin 11-16 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinde de olduğu görüldü. Bhardwaj vd.(1992)'nin deneysel değerleri için ise benzer bir uyumun olmadığı ifade edilebilir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerlerinin kendi arasında 9,5-17,5 MeV aralığında büyük bir benzerlik olduğu ancak 17,5 MeV'den itibaren bu benzerliğin belirgin bir şekilde bozulmaya başladığı görülmektedir.

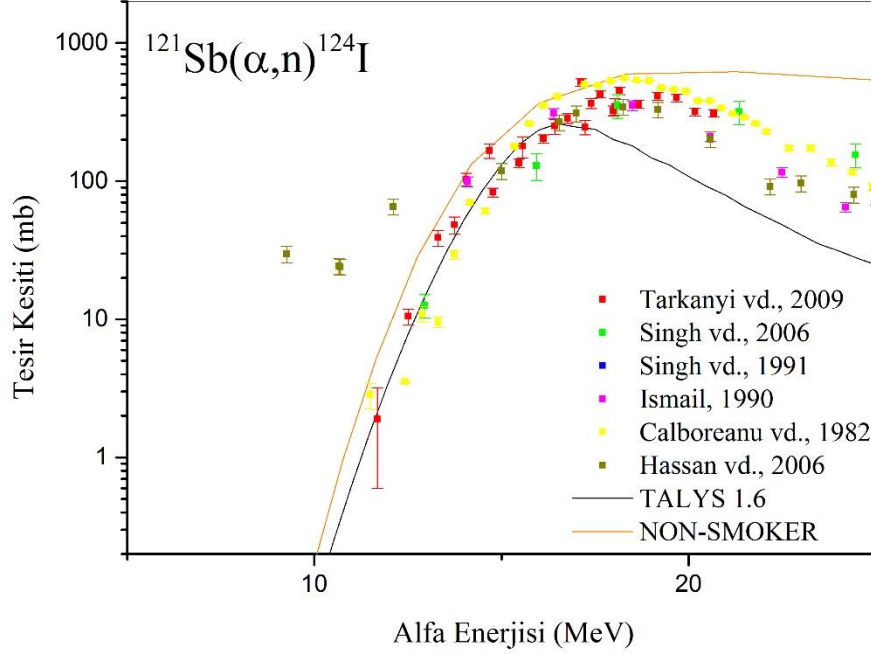
3.24. $^{116}\text{Sn}(\alpha, n)$ Reaksiyonu



Şekil 3.24. $^{116}\text{Sn}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.24 incelendiğinde 10-15 MeV aralığında Filipescu vd. (2011)'nin deneysel verilerinin TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri yaklaşık olarak uyumlu olduğu görüldü. 20 MeV den itibaren TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasındaki fark artmaktadır.

3.25. $^{121}\text{Sb}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

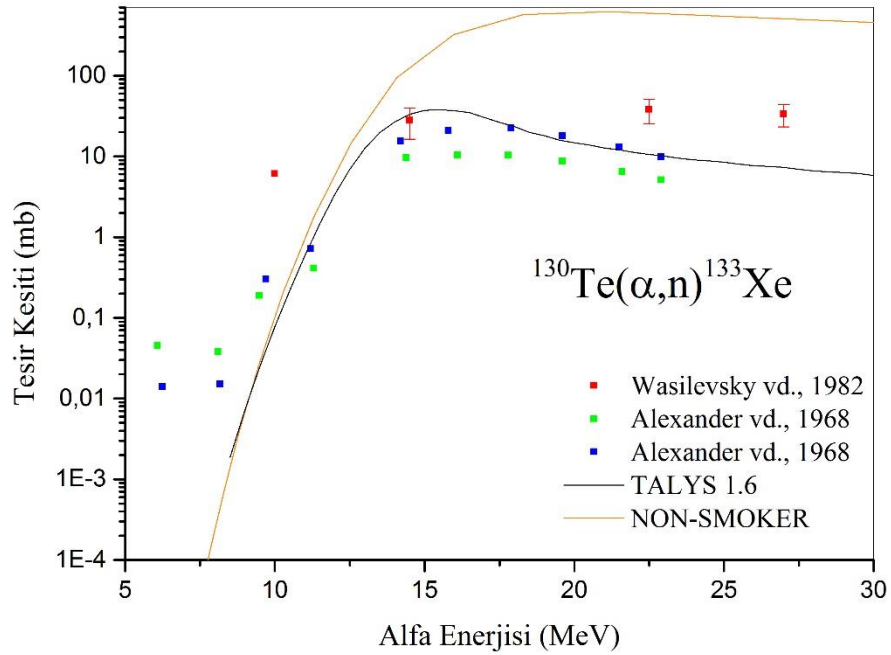


Şekil 3.25. $^{121}\text{Sb}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.25 grafiği için 10-16 MeV aralığı için TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin kendi aralarında yaklaşık uyumlu oldukları görülmektedir. 16 MeV den başlayarak TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasındaki fark artmaktadır. Tarkanyi vd. (2009)'nin deneysel verilerinin 11-16 MeV aralığında TALYS 1.6 verileri ile büyük bir uyum içerisinde olduğu 16 MeV'den itibaren ise bu uyumun daha çok NON-SMOKER verileri ile olduğu söylenebilir. 14-25 MeV aralığında özellikle Ismail (1990)'in deneysel verilerinin TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin arasında sonuçlar verdiği ifade edilebilir. Calboreanu vd. (1982)'nin deneysel sonuçlarının 11-15 MeV aralığında TALYS 1.6 değerleri ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir. Singh vd. (2006)'nin deneysel sonuçlarının 15 MeV'den itibaren TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri arasında olduğu söylenebilir.

3.26. $^{130}\text{Te}(\alpha,n)$ reaksiyonu

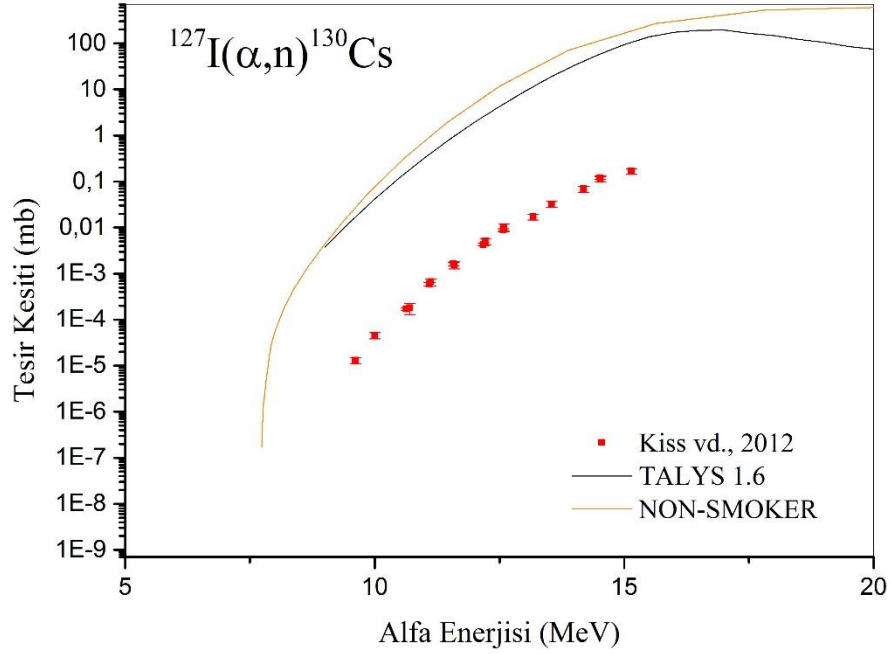
Şekil 3.26 $^{130}\text{Te}(\alpha,n)$ reaksiyonu grafiğinde Alexander vd. (1968)'nin deneysel TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri 15-22 MeV aralığında uyumlu olduğu görülmektedir. Yaklaşık olarak 10 MeV'den daha düşük enerjilerde ise bu uyum görülmemektedir. 6-10 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri hemen hemen aynı değerlere sahiptir. Bu aralığın üstünde ise TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri belirgin bir şekilde farklılaşmaya başlamıştır. Wasilevsky vd. (1982)'nin deneysel sonuçları ise 15-30 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerlerinin arasındadır.



Şekil 3.26. $^{130}\text{Te}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

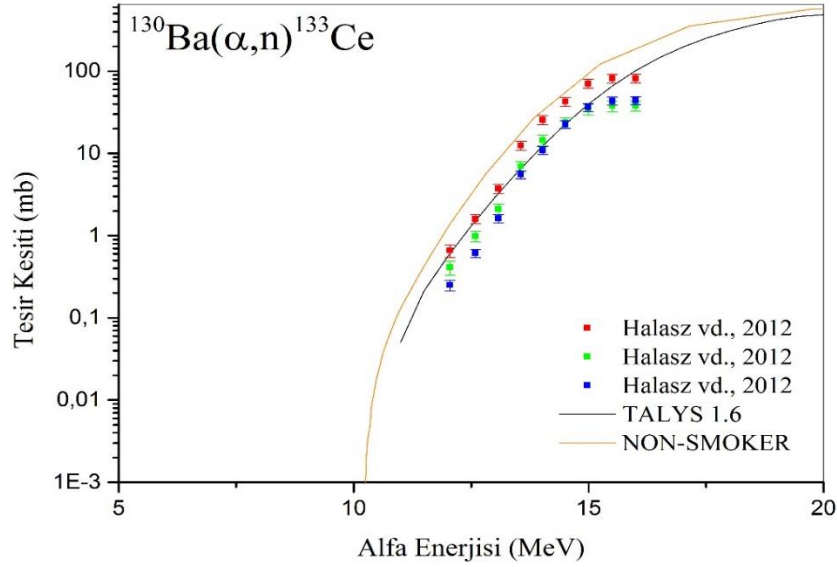
3.27. $^{127}\text{I}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

Şekil 3.27 grafiğinde Kiss vd. (2012)'nin deneysel sonuçlarının TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri uyumlu olmadığı görülmektedir. Ancak bu uyumsuzluğun bir katsayı ile çarpılarak giderilebileceği de ifade edilebilir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin kendi aralarında ise özellikle 8-15 MeV aralığı içinde büyük bir uyumun ancak 15 MeV'den itibaren ise uyumun azaldığı ifade edilebilir.



Şekil 3.27. $^{127}\text{I}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

3.28. $^{130}\text{Ba}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

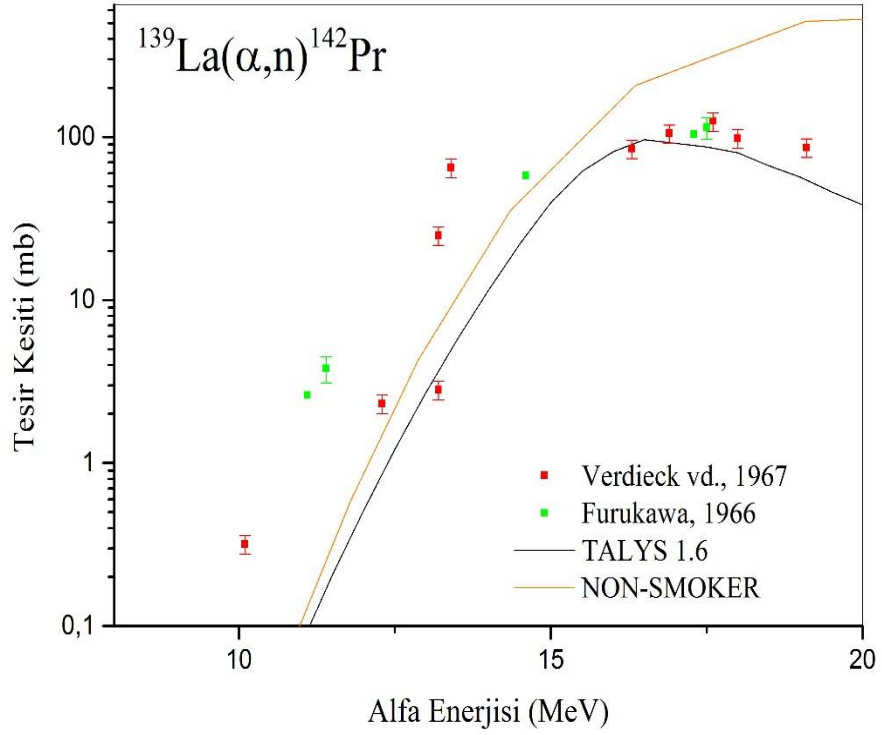


Şekil 3.28. $^{130}\text{Ba}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Şekil 3.28 $^{130}\text{Ba}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesir kesiti grafiği incelenecek olursa Halasz vd. (2012)'nin deneysel sonuçlarının TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri uyumlu olduğu söylenebilir. Ayrıca bu uyumun 13-16 MeV aralığında NON-SMOKER değerlerine yaklaştığı da ifade edilebilir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin ise 11-20 MeV aralığında çok yakın değerler verdiği de görülmektedir.

3.29. $^{139}\text{La}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

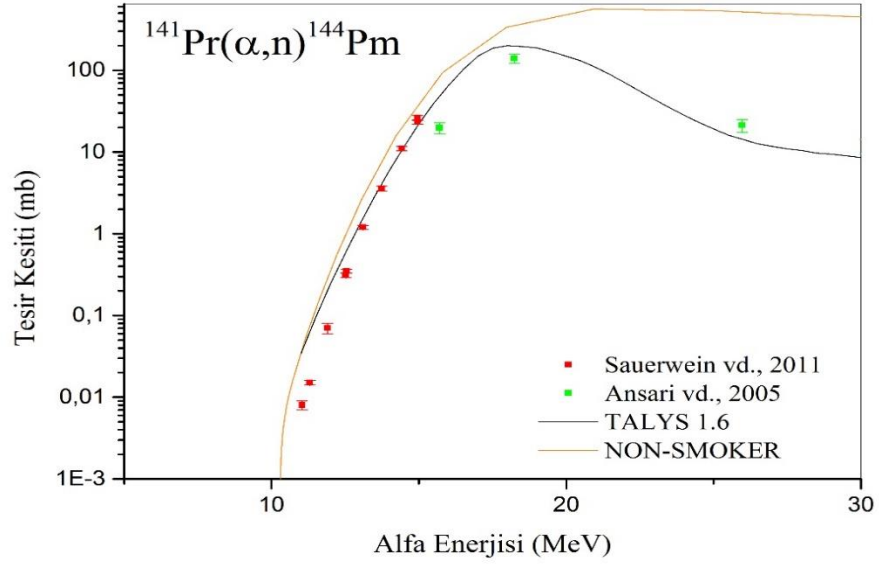
Şekil 3.29 grafiğinde deneysel değerlerin sadece 16-18 MeV aralığında TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ile uyumlu olduğu ancak diğer bölgeler için bu uyumun olmadığı görülmektedir. Ayrıca TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerlerinin 11-15 MeV aralığında yakın oldukları ancak 15 MeV'den itibaren bu yakınlığın bozulmaya başladığı ifade edilebilir.



Şekil 3.29. $^{139}\text{La}(\alpha,n)$ reaksiyonu için tesis kesiti değerleri

3.30. $^{141}\text{Pr}(\alpha,n)$ Reaksiyonu

Şekil 3.30 grafiği incelenecek olursa Sauerwein vd. (2011)'nin deneysel sonuçlarının 11-15 MeV aralığında TALYS 1.6 kodları ile elde edilen tesis kesiti değerleri uyumlu olduğu benzer bir uyumun Ansari vd. (2005)'nin deneysel sonuçları içinde 16-25 MeV aralığında olduğu görülmektedir. TALYS 1.6 ve NON-SMOKER değerleri arasında ise 10,5-18 MeV aralığında hemen hemen benzerlikler olduğu bu benzerliğin 18 MeV'den sonra ise bozulmaya başladığı ifade edilebilir.

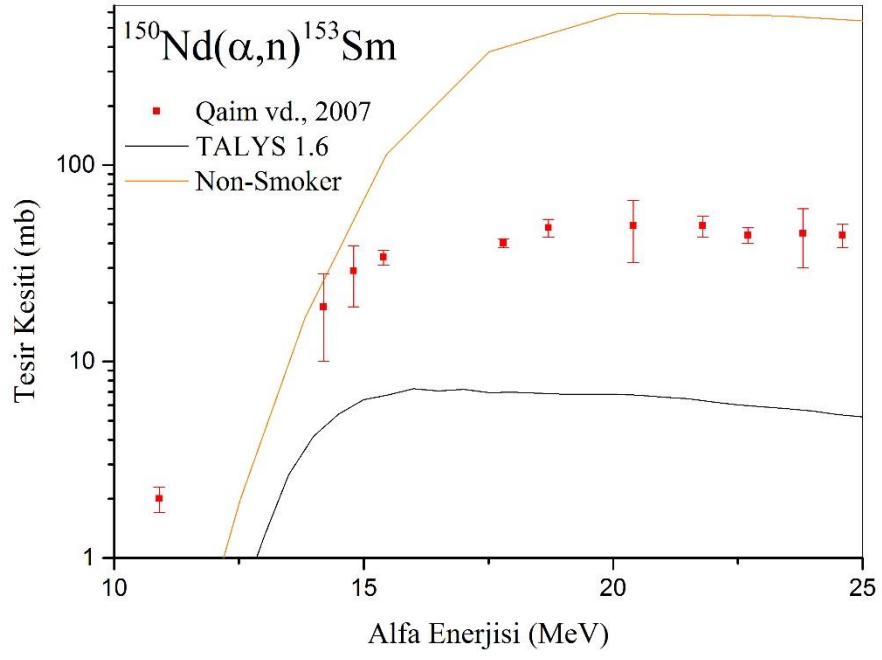


Şekil 3.30. $^{141}\text{Pr}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

3.31. $^{150}\text{Nd}(\alpha, n)$ Reaksiyonu

Şekil 3.31 incelenecek olursa Qaim vd. (2007)'nin deneysel sonuçlarının yaklaşık olarak TALYS1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri arasında olduğu görülmektedir. Özellikle TALYS1.6 değerlerine büyük benzerlik gösterdiği de ifade edilebilir.

TALYS1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri ise 13-25 MeV aralığında farklı değerlere sahiptir.



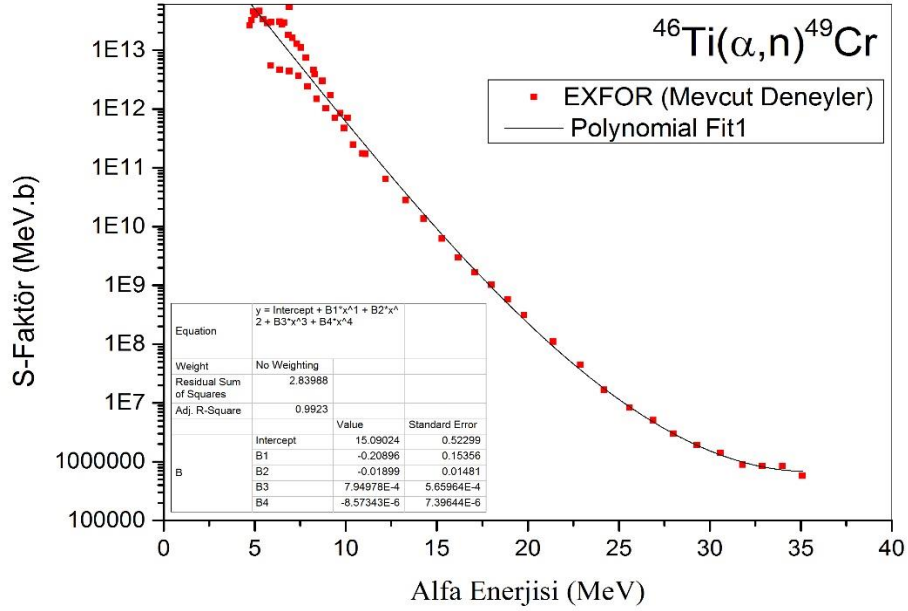
Şekil 3.31. $^{150}\text{Nd}(\alpha, n)$ reaksiyonu için tesir kesiti değerleri

Çizelge 3.1. Reaksiyonların Q ve E_{thr} , İndirgenmiş kütle (μ), B_{tot} değerler

Reaksiyon	Q (MeV)	E_{thr} (MeV)	İndirgenmiş Kütle (μ)	Coulomb engeli(MeV)	B_{tot} (MeV)
$^{45}\text{Sc}(\alpha,n)$	-2,24081	2,44031	3,675	9,04362	378,152
$^{46}\text{Ti}(\alpha,n)$	-4,4407	4,82749	3,682	9,42635	387,504
$^{51}\text{V}(\alpha,n)$	-2,29356	2,47376	3,711	9,62150	434,787
$^{50}\text{Cr}(\alpha,n)$	-4,96138	5,35897	3,706	10,0863	422,361
$^{55}\text{Mn}(\alpha,n)$	-3,51157	3,76741	3,731	10,27476	469,570
$^{54}\text{Fe}(\alpha,n)$	-5,81705	6,248701	3,726	10,73192	458,298
$^{59}\text{Co}(\alpha,n)$	-5,08855	5,434144	3,746	10,91442	503,886
$^{62}\text{Ni}(\alpha,n)$	-6,48047	6,899311	3,760	11,1862	530,751
$^{63}\text{Cu}(\alpha,n)$	-7,50164	7,97877	3,763	11,54166	537,383
$^{68}\text{Zn}(\alpha,n)$	-5,74679	6,08542	3,780	11,72356	581,126
$^{69}\text{Ga}(\alpha,n)$	-6,7444	7,13605	3,7808	12,07195	586,510
$^{70}\text{Ge}(\alpha,n)$	-7,98085	8,43768	3,783	12,41832	594,503
$^{75}\text{As}(\alpha,n)$	-4,7746	5,02966	3,797	12,59486	636,104
$^{76}\text{Se}(\alpha,n)$	-6,45607	6,79644	3,8	12,93494	645,027
$^{85}\text{Rb}(\alpha,n)$	-3,51498	3,68066	3,820	13,69754	720,814
$^{86}\text{Sr}(\alpha,n)$	-5,29321	5,53982	3,822	14,02748	729,924
$^{89}\text{Y}(\alpha,n)$	-6,90181	7,21252	3,827	14,27593	756,025
$^{92}\text{Mo}(\alpha,n)$	-8,99773	9,38958	3,833	15,249	775,428
$^{100}\text{Ru}(\alpha,n)$	7,38521	7,68108	3,846	15,649	839,861
$^{103}\text{Rh}(\alpha,n)$	-6,73219	6,99404	3,850	15,888	861,598
$^{107}\text{Ag}(\alpha,n)$	-7,5822	7,8661	3,855	16,437	891,698
$^{106}\text{Cd}(\alpha,n)$	-10,1475	10,5310	3,854	16,826	881,052
$^{113}\text{In}(\alpha,n)$	-8,19057	8,48093	3,863	16,904	938,528
$^{116}\text{Sn}(\alpha,n)$	-9,99118	10,33621	3,866	17,136	963,620
$^{121}\text{Sb}(\alpha,n)$	-7,87926	8,1401	3,872	17,294	1000,773
$^{130}\text{Ba}(\alpha,n)$	-5,35578	5,52079	3,880	17,315	1069,919
$^{127}\text{I}(\alpha,n)$	-7,73055	7,97436	3,877	17,753	1046,028
$^{130}\text{Ba}(\alpha,n)$	-10,4899	10,8131	3,880	18,647	1064,650
$^{139}\text{La}(\alpha,n)$	-9,08674	9,34856	3,888	18,660	1136,01
$^{141}\text{Pr}(\alpha,n)$	-10,24689	10,53795	3,889	19,244	1148,363
$^{150}\text{Nd}(\alpha,n)$	-6,76643	6,947071	3,896	19,263	1207,422

3.32. Fit1 İşlemi

^{45}Sc , ^{46}Ti , ^{51}V , ^{50}Cr , ^{55}Mn , ^{54}Fe , ^{59}Co , ^{62}Ni , ^{63}Cu , ^{68}Zn , ^{69}Ga , ^{70}Ge , ^{75}As , ^{76}Se , ^{85}Rb , ^{86}Sr , ^{89}Y , ^{92}Mo , ^{100}Ru , ^{103}Rh , ^{107}Ag , ^{106}Cd , ^{113}In , ^{116}Sn , ^{121}Sb , ^{130}Te , ^{127}I , ^{130}Ba , ^{139}La , ^{141}Pr ve ^{150}Nd hedef çekirdeklerinde (α, n) reaksiyonları için EXFOR'dan alınan tesir kesitleri (1.13) denklemi kullanılarak astrofiziksel S-faktör değerleri enerjiye bağlı olarak grafiğe geçirilmiştir. Bu kısımda $^{46}\text{Ti}(\alpha, n)^{49}\text{Cr}$ reaksiyonu örnek olarak verilmiştir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. $^{46}\text{Ti}(\alpha, n)$ için Fit1'in elde edilmesi

Tesir kesitlerinden elde edilen astrofiziksel S-faktör değerleri grafik programı yardımıyla polinom tipi fit işlemine tabi tutulmuştur. Fit işleminin korelasyon R^2 'nin en iyi değeri elde edinceye kadar polinom kuvveti ayarlanmıştır. Böylece elde edilen yarı-ampirik S-faktör formüllerindeki enerjiye bağımlılık derecesi R^2 'nin en iyi değerine göre belirlenmiştir.

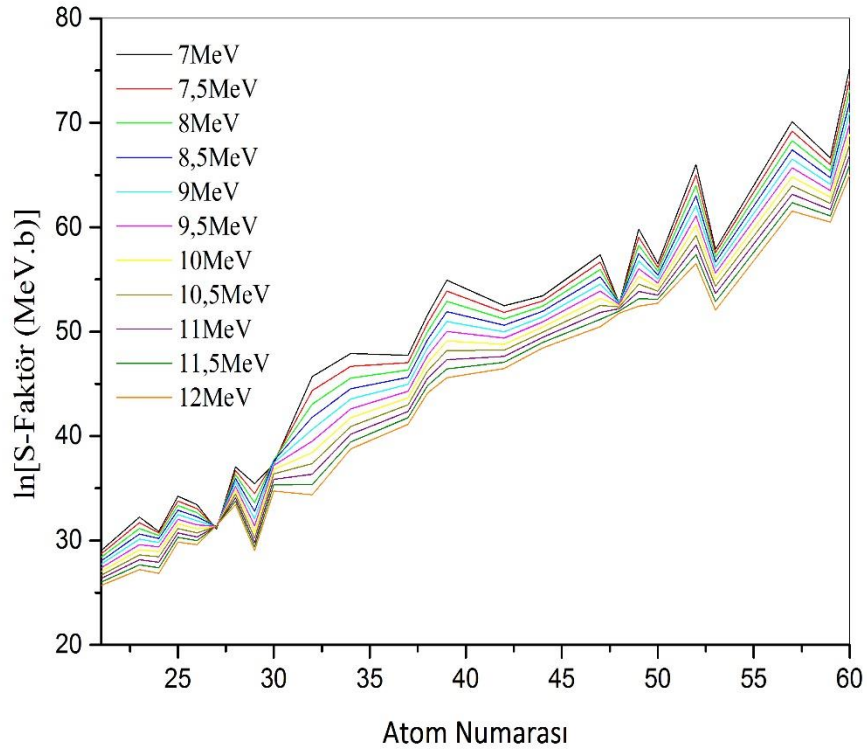
Yukarıda bahsedilen işlemler geri kalan tüm reaksiyonlar için tekrarlanmış ve aşağıdaki yarı-ampirik S-faktör formülleri elde edilmiştir.

$$\begin{aligned}
S(E)^{45}_{Sc(\alpha,n)} &= (13,4877) + (0,07724 \times E) - (0,03775 \times E^2) + (0,00126 \times E^3) - (0,00001251 \times E^4) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{46}_{Ti(\alpha,n)} &= (15,09024) - (0,20896 \times E) - (0,01899 \times E^2) + (0,000794 \times E^3) - (0,000008573 \times E^4) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{51}_{V(\alpha,n)} &= (17,80392) - (0,63454 \times E) + (0,012 \times E^2) - (0,000108 \times E^3) - (0,00000368 \times E^4) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{50}_{Cr(\alpha,n)} &= (6,58811) + (2,55163 \times E) - (0,30987 \times E^2) + (0,0135 \times E^3) - (0,000205 \times E^4) & (R^2=0,98) \\
S(E)^{55}_{Mn(\alpha,n)} &= (17,39452) - (0,33069 \times E) - (0,0063 \times E^2) + (0,000291 \times E^3) - (0,00000261 \times E^4) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{54}_{Fe(\alpha,n)} &= (16,28769) - (0,14955 \times E) - (0,01984 \times E^2) + (0,000706 \times E^3) + (0,00000685 \times E^4) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{59}_{Co(\alpha,n)} &= (12,22397) + (1,1584 \times E) - (0,13116 \times E^2) + (0,0045 \times E^3) - (0,000051650 \times E^4) & (R^2=0,97) \\
S(E)^{62}_{Ni(\alpha,n)} &= (17,67636) - (0,07358 \times E) - (0,0304 \times E^2) + (0,00122 \times E^3) - (0,0000144 \times E^4) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{63}_{Cu(\alpha,n)} &= (24,26565) - (1,6859 \times E) + (0,0596 \times E^2) - (0,000695 \times E^3) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{68}_{Zn(\alpha,n)} &= (1,04369) + (4,88166 \times E) - (0,52547 \times E^2) + (0,02194 \times E^3) + (0,000327 \times E^4) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{69}_{Ga(\alpha,n)} &= (43,74785) - (6,37713 \times E) + (0,5364 \times E^2) - (0,02028 \times E^3) + (0,000264 \times E^4) & (R^2=0,60) \\
S(E)^{70}_{Ge(\alpha,n)} &= (32,97913) - (2,7099 \times E) + (0,1459 \times E^2) - (0,00375 \times E^3) + (0,00003578 \times E^4) & (R^2=0,94) \\
S(E)^{75}_{As(\alpha,n)} &= (22,02532) - (1,44922 \times E) + (0,13989 \times E^2) - (0,0065 \times E^3) + (0,000101 \times E^4) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{76}_{Se(\alpha,n)} &= (32,97432) - (2,57497 \times E) + (0,14725 \times E^2) - (0,00429 \times E^3) + (0,0000468 \times E^4) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{85}_{Rb(\alpha,n)} &= (25,65358) - (0,78169 \times E) + (0,01173 \times E^2) - (0,0000559 \times E^3) & (R^2=0,96) \\
S(E)^{86}_{Sr(\alpha,n)} &= (27,89497) - (0,86308 \times E) + (0,01155 \times E^2) - (0,0000231 \times E^3) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{89}_{Y(\alpha,n)} &= (31,06459) - (1,17002 \times E) + (0,02097 \times E^2) - (0,000136 \times E^3) & (R^2=0,98) \\
S(E)^{92}_{Mo(\alpha,n)} &= (26,90485) - (0,62872 \times E) + (0,00578 \times E^2) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{100}_{Ru(\alpha,n)} &= (26,23865) - (0,43233 \times E) - (0,0000228 \times E^2) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{103}_{Rh(\alpha,n)} &= (27,23076) - (0,58044 \times E) + (0,00424 \times E^2) & (R^2=0,95) \\
S(E)^{107}_{Ag(\alpha,n)} &= (29,38429) - (0,66281 \times E) + (0,00348 \times E^2) & (R^2=0,87) \\
S(E)^{106}_{Cd(\alpha,n)} &= (21,18644) + (0,43127 \times E) - (0,02693 \times E^2) & (R^2=0,94) \\
S(E)^{113}_{In(\alpha,n)} &= (31,06787) - (0,77654 \times E) + (0,00714 \times E^2) & (R^2=0,98) \\
S(E)^{116}_{Sn(\alpha,n)} &= (26,55653) - (0,26399 \times E) - (0,00341 \times E^2) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{121}_{Sb(\alpha,n)} &= (32,20894) - (0,7513 \times E) + (0,00622 \times E^2) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{130}_{Te(\alpha,n)} &= (35,43306) - (1,04863 \times E) + (0,01182 \times E^2) & (R^2=0,96) \\
S(E)^{127}_{I(\alpha,n)} &= (22,27166) + (0,1331 \times E) - (0,01655 \times E^2) & (R^2=0,98) \\
S(E)^{130}_{Ba(\alpha,n)} &= (11,5304) + (2,17649 \times E) - (0,0886 \times E^2) & (R^2=0,84) \\
S(E)^{139}_{La(\alpha,n)} &= (36,49287) - (0,9323 \times E) + (0,00985 \times E^2) & (R^2=0,99) \\
S(E)^{141}_{Pr(\alpha,n)} &= (33,02872) - (0,61342 \times E) + (0,00419 \times E^2) & (R^2=0,98) \\
S(E)^{150}_{Nd(\alpha,n)} &= (40,37847) - (1,20917 \times E) + (0,01636 \times E^2) & (R^2=0,99)
\end{aligned}$$

3.33. Fit2 İşlemi

Fit1 denklemleri kullanılarak her bir çekirdek için 7-12 MeV arasında 0,5 MeV artan enerjilerle elde edilen her bir enerji değeri için kütle numarası-ln(S-faktör) grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.33).

Elde edilen noktalardan geçen matematiksel olarak en uyumlu doğrunun denklemi $y = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3$ formunda bulunarak C_0 , C_1 , C_2 ve C_3 katsayıları polinomal fit yoluyla elde edilmiştir. Bu katsayılar Çizelge 3.2’de verilmiştir. Bulunan bu katsayıların alfa enerjisine göre değişimleri sırasıyla Şekil 3.34-3.37’de verilmiştir. Bu grafiklerdeki her bir doğru için ayrı ayrı doğru denklem katsayıları bulunarak Çizelge 3.3’de verilmiş ve buradan da denklem 3.2 ile verilen Fit2 formülü elde edilmiştir.

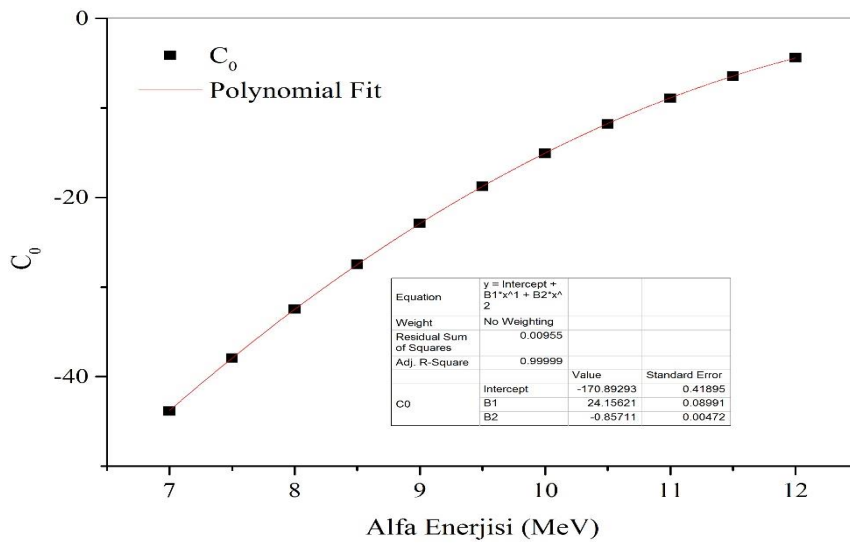


Şekil 3.33. lnS-Z grafiği (Örnekleme grubu)

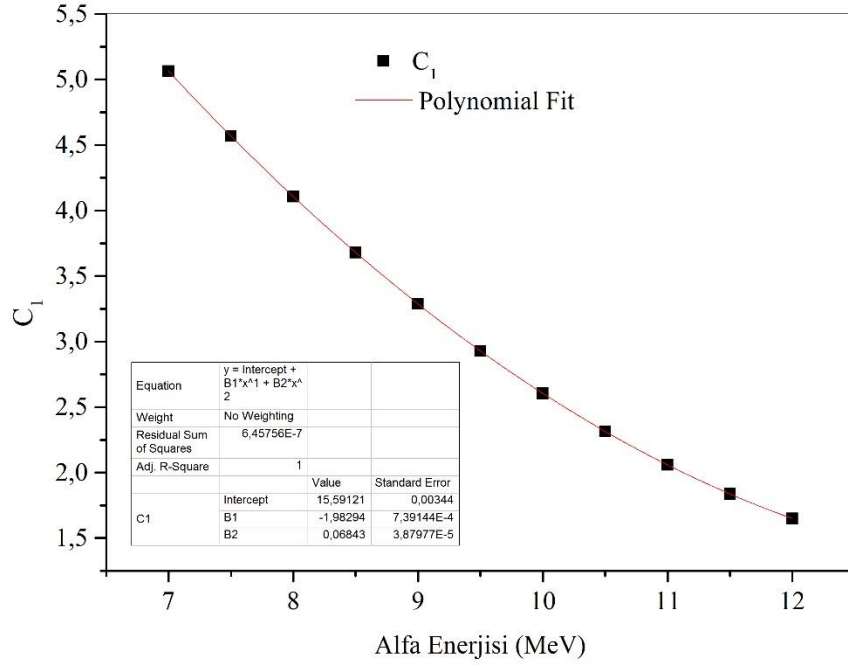
Çizelge 3.2. $\ln[S\text{-Faktör}]-Z(\text{Atom numarası})$ Grafiğinden elde edilen değerlerin enerji değerleri kullanılarak fit edilmesi sonucu elde edilen sabitler.

E(MeV)	C_0	C_1	C_2	C_3
7	-43,83974	5,06346	-0,09821	0,000766
7,5	-37,92757	4,5686	-0,08615	0,000670
8	-32,46834	4,10743	-0,0749	0,0005818
8,5	-27,45768	3,68027	-0,06455	0,0004989
9	-22,89039	3,28734	-0,05484	0,0004226
9,5	-18,76039	2,92877	-0,04607	0,000352
10	-15,06073	2,60461	-0,03816	0,000289
10,5	-11,78362	2,31479	-0,03112	0,000233
11	-8,92037	2,05917	-0,02494	0,0001845
11,5	-6,46146	1,83751	-0,01963	0,0001424
12	-4,39649	1,64945	-0,0152	0,000107

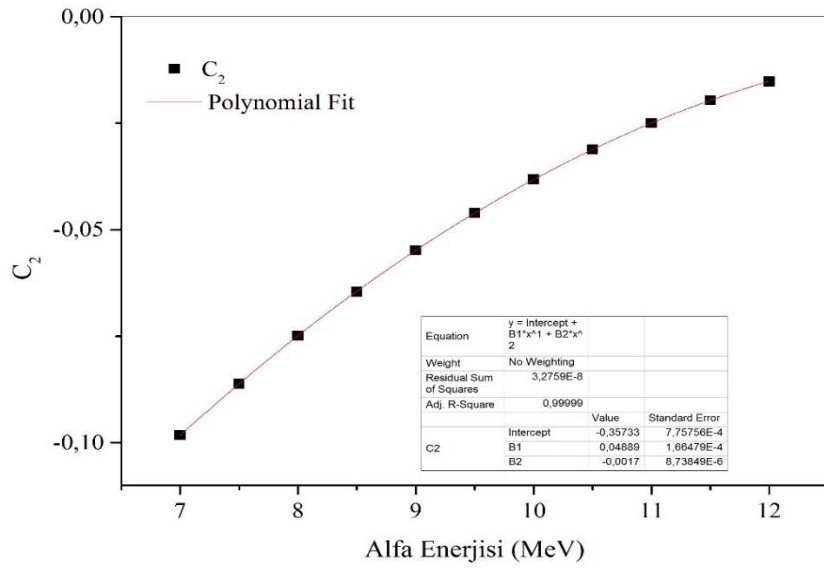
C_0, C_1 ve C_2, C_3 'ün ayrı ayrı fit edilmesi ile elde ettiğimiz denklemler ve grafikler Şekil 3.34-3.37'de gösterilmiştir.



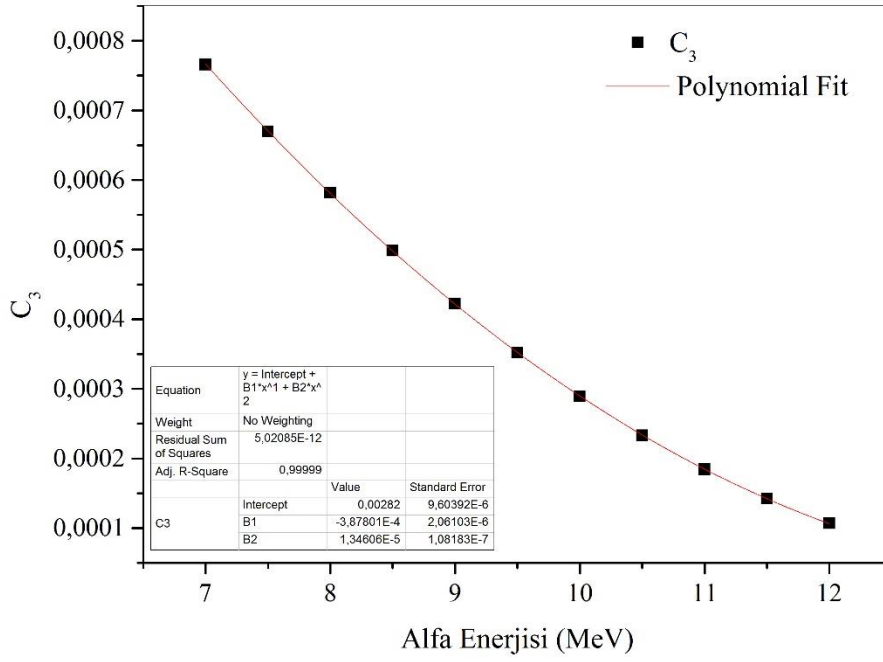
Şekil 3.34. C_0 'ın fit edilmesi ile elde edilen grafik



Şekil 3.35. C_1 'in fit edilmesi ile elde edilen grafik



Şekil 3.36. C_2 'nin fit edilmesi ile elde edilen grafik



Şekil 3.37. C₃ 'ün fit edilmesi ile elde edilen grafik

Çizelge 3.3. C₀, C₁ ve C₂, C₃ ün fit edilmesiyle elde edilen C₀₀, C₁₁ve C₁₂ sabitleri

	C ₀₀	C ₀₁	C ₀₂
C ₀	-170,89293	24,15621	-0,85711
C ₁	15,59121	-1,98294	0,06843
C ₂	-0,35733	0,04889	-0,0017
C ₃	0,00282	-0,000387	0,0000134

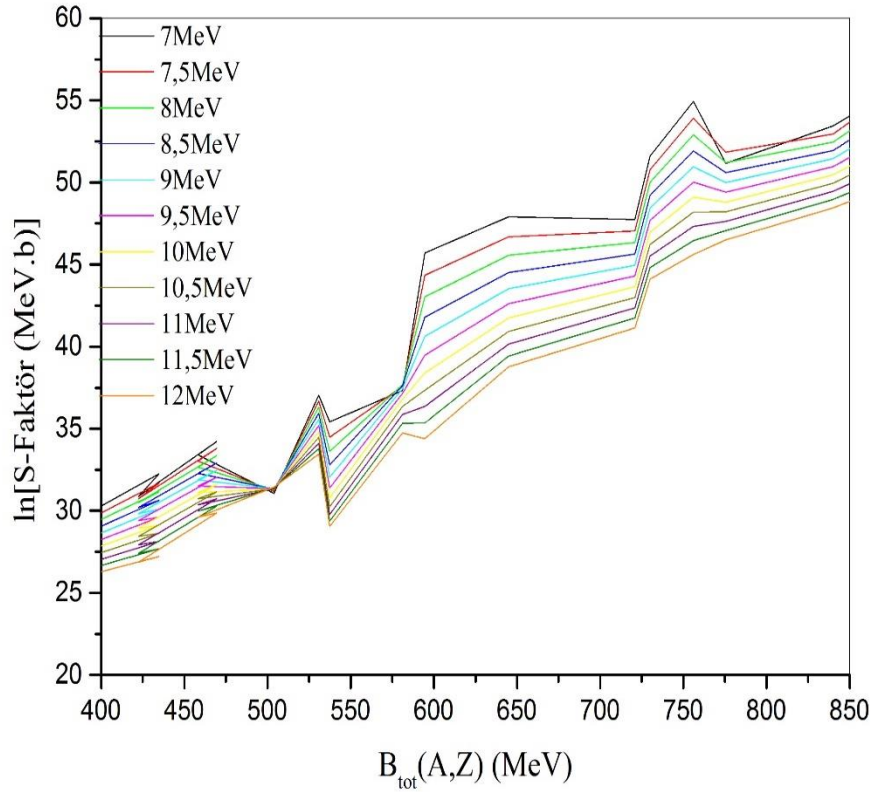
Çizelge 3.3. C₀ C₁ ve C₂ nin fit edilmesiyle elde edilen C₀₀, C₁₁ve C₁₂ sabitlerini

Fit2 denklemi için önerdiğimiz (3.1) ile ifade edelim.

$$y = (C_{00} \times E^0 \times X^0) + (C_{01} \times E^1 \times X^0) + (C_{02} \times E^2 \times X^0) + (C_{10} \times E^0 \times X^1) + (C_{11} \times E^1 \times X^1) + (C_{12} \times E^2 \times X^1) + (C_{20} \times E^0 \times X^2) + (C_{21} \times E^1 \times X^2) + (C_{22} \times E^2 \times X^2) + (C_{30} \times E^0 \times X^3) + (C_{31} \times E^1 \times X^3) + (C_{32} \times E^2 \times X^3) \quad (3.1)$$

Çizelge 3.3'den elde edilen sabitler (3.1) denkleminde yerine konursa aşağıdaki Fit2 denklemi elde edilir. Denklemden E gelen alfa parçacıklarının enerjisini MeV cinsinden, Z ise atom numarasını temsil etmektedir.

$$\ln S(E, Z) = (-170,89293 \times E^0 \times Z^0) + (24,15621 \times E^1 \times Z^0) + (-0,85711 \times E^2 \times Z^0) + (15,59121 \times E^0 \times Z^1) + (-1,98294 \times E^1 \times Z^1) + (0,06843 \times E^2 \times Z^1) + (-0,35733 \times E^0 \times Z^2) + (0,04889 \times E^1 \times Z^2) + (-0,0017 \times E^2 \times Z^2) + (0,00282 \times E^0 \times Z^3) + (-0,000387 \times E^1 \times Z^3) + (0,0000134 \times E^2 \times Z^3) \quad (3.2)$$



Şekil 3.38. ln[S-Faktör]- B_{tot} Grafiği

3.34. Fit3 İşlemi

Fit1 denklemleri kullanılarak her bir çekirdek için 7-12 MeV arasında 0,5 MeV artan enerjilerle elde edilen her bir enerji değeri için B_{tot}- ln[S-Faktör] grafikleri çizilmiştir. Bu grafikte fit işlemi ile matematiksel en uyumlu doğru denklemi $y = c_0 + c_1 X$ olarak ifade edebiliriz. Bulunan C₀ ve C₁ sabitlerinin değerleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Bulunan bu katsayılar alfa enerjisine göre fit grafikleri sırasıyla Şekil 3.39-3.40’da verilmiştir. Bu grafiklerdeki her bir doğru için ayrı ayrı doğru denklem katsayıları bulunarak Çizelge 3.5 de verilmiş. Buradan da denklem (3.3) kullanılarak (3.5) ile verilen Fit3 denklemi elde edilmiştir.

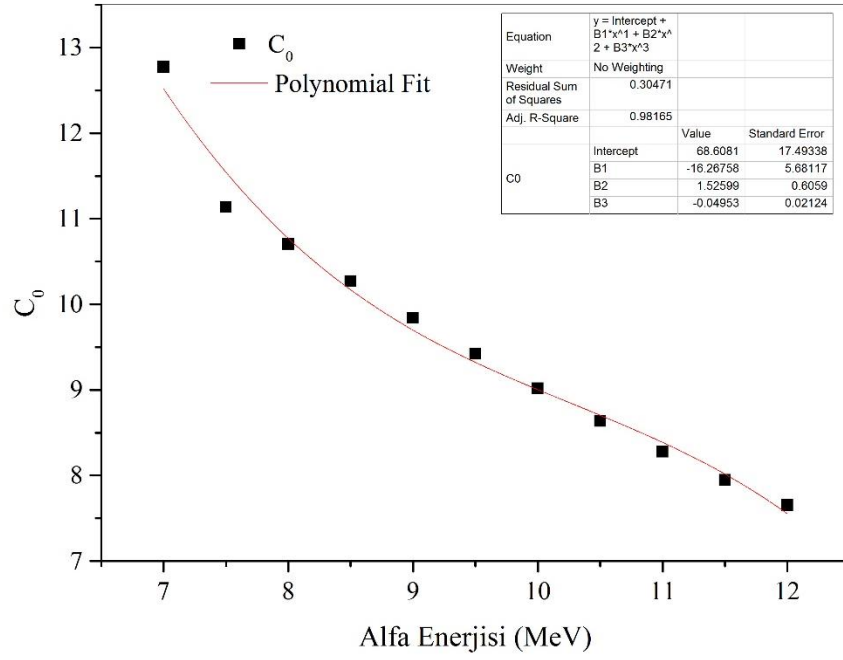
$$y=(C_{00} \times E^0)+(C_{01} \times E^1)+(C_{02} \times E^2)+(C_{03} \times E^3)+(C_{10} \times E^0 \times X)+(C_{11} \times E^1 \times X)+(C_{12} \times E^2 \times X)+(C_{13} \times E^3 \times X) \quad (3.3)$$

Denklemde $X=B_{\text{tot}}(A,Z)$, $y=\ln[S(E,B_{\text{tot}})]$ ‘dir.

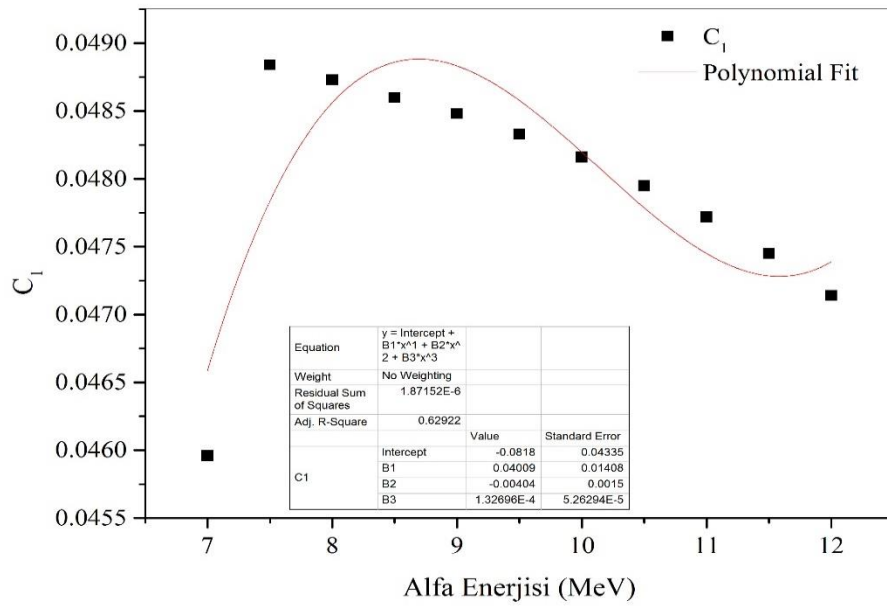
Çizelge 3.4. C_0 ve C_1 ’in, $\ln[S\text{-Faktör}]$ - B_{tot} Grafiğindeki değerler kullanılarak elde edilen değerleri

E(MeV)	C_0	C_1
7	12,77296	0,04596
7,5	11,13817	0,04884
8	10,70521	0,04873
8,5	10,27115	0,0486
9	9,84178	0,04848
9,5	9,42262	0,04833
10	9,01892	0,04816
10,5	8,6357	0,04795
11	8,27769	0,04772
11,5	7,94937	0,04745
12	7,65497	0,04714

C_0 ve C_1 ’in 7-12 MeV aralığında ayrı ayrı fit edilmesiyle edilen grafikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.



Şekil 3.39. C_0 'ın gelen E_α 'lara göre fit edilmesi yoluyla elde edilen grafik



Şekil 3.40. C_1 'in gelen E_α 'lara göre fit edilmesi yoluyla elde edilen grafik

Çizelge 3.5. C_0 ve C_1 'in fit edilmesiyle elde edilen ($C_{00}, C_{01}, C_{02}, C_{03}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}$) değerler

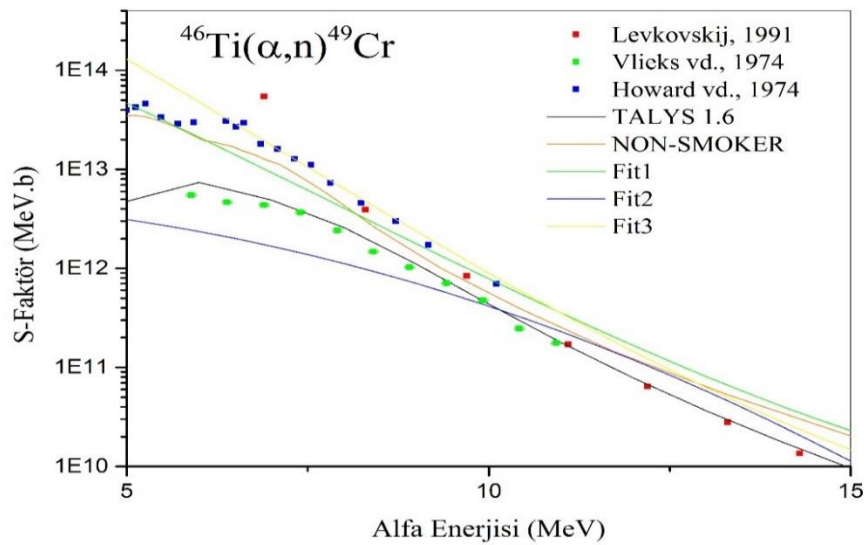
$C_{00}=68,6081$	$C_{01}=-16,26758$	$C_{02}=1,52599$	$C_{03}=-0,04953$
$C_{10}=-0,0818$	$C_{11}=0,04009$	$C_{12}=-0,00404$	$C_{13}=0,0001327$

Çizelge 3.5'de elde ettiğimiz ($C_{00}, C_{01}, C_{02}, C_{03}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}$) değerlerini 3.3 denkleminde yerine yazacak olursak **Fit3** denklemini elde ederiz.

$$\ln S(E, B_{tot}) = (68,6081 \times E^0) + (-16,26758 \times E^1) + (1,52599 \times E^2) + (-0,04953 \times E^3) + (-0,0818 \times E^0 \times X) + (0,04009 \times E^1 \times X) + (-0,00404 \times E^2 \times X) + (0,0001327 \times E^3 \times X) \quad (3.4)$$

Fit1, Fit2 ve Fit3 formülleri yardımıyla elde ettiğimiz astrofiziksel S-faktörü değerlerini ^{46}Ti , ^{69}Ga , ^{75}As , ^{103}Rh , ^{121}Sb , ^{130}Ba çekirdeklerinde (α, n) reaksiyonları için astrofiziksel S-faktörü'nün E_α enerji grafiklerine yerleştirecek olursak aşağıdaki grafikleri elde ederiz.

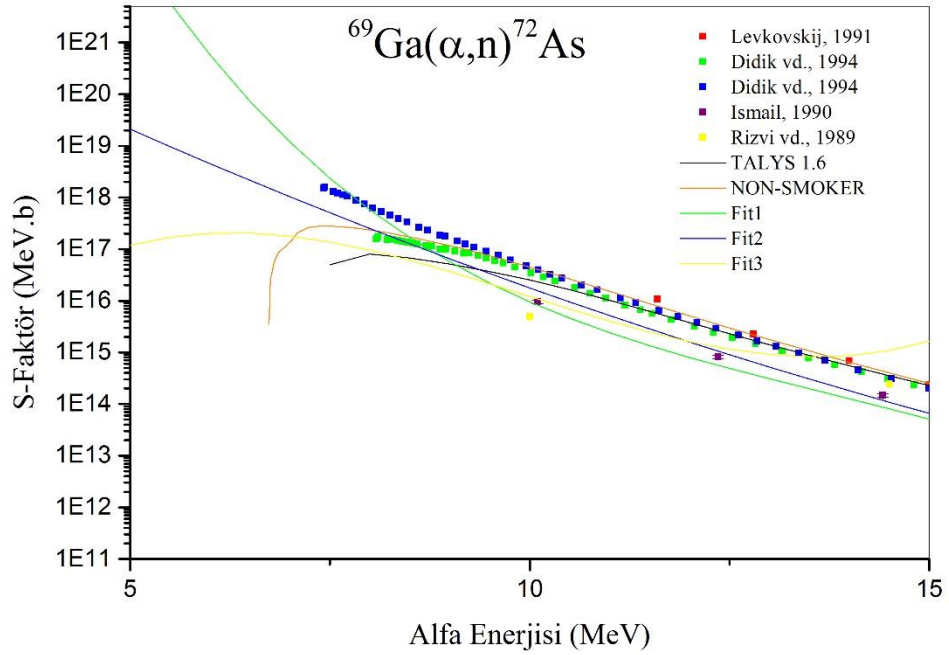
3.35. $^{46}\text{Ti}(\alpha, n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)



Şekil 3.41. $^{46}\text{Ti}(\alpha, n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri

Şekil 3.41 İncelendiğinde Fit3'ün özellikle 6-11 MeV aralığında Howard vd. (1974)'nin deneysel sonuçları kullanılarak (1.13) denklemiyle hesaplanan astrofiziksel S-faktörü ile uyum içerisinde olduğu görüldü. Fit2'nin ise TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri kullanılarak (1.13) denklemi ile elde edilen astrofiziksel S-Faktörü ile 10-15 MeV aralığında uyumlu olduğu görüldü. Vlieks vd. (1974)'nin deney sonuçlarının TALYS 1.6 ile 6-11 MeV aralığında uyumlu olduğu benzer uyumun ayrıca Levkovskij (1991)'in deney sonuçları kullanılarak (1.13) denklemi ile elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerlerinin 11-15 MeV aralığı içinde olduğu görülmektedir. Fit1, Fit2 ve Fit3 denklemleri kullanılarak elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerlerinin hem kendi aralarında hemde TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri kullanılarak (1.13) denklemi ile elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerleriyle 11-15 MeV aralığında uyumlu olduğu ifade edilebilir.

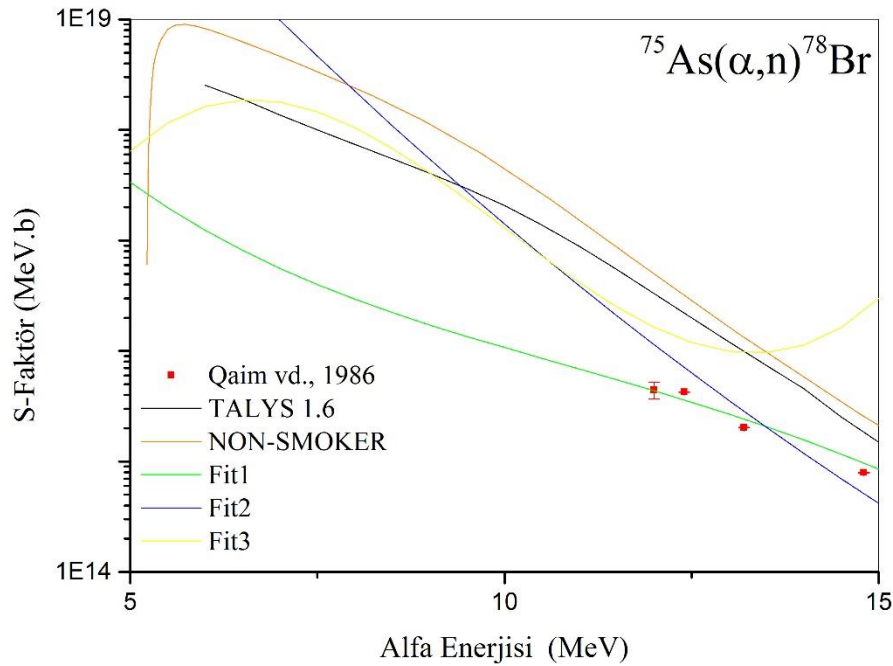
3.36. $^{69}\text{Ga}(\alpha, n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)



Şekil 3.42. $^{69}\text{Ga}(\alpha, n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri

Şekil 3.42 grafiğinde TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri kullanılarak (1.13) denklemi yoluyla elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerlerinin Didik vd. (1974)'nin deneysel sonuçları ile uyum içerisinde olduğu görüldü. Bu uyumun Fit2 ile de 8-15 MeV aralığında paralel olduğu görüldü. Fit2'nin ise Ismail (1990)'in deneysel sonuçları kullanılarak (1.13) denklemi yoluyla elde edilen astrofiziksel S-Faktörü değerleri ile 10-13 MeV aralığında uyumlu olduğu görüldü. 8-15 MeV aralığında Fit1 ve Fit2 denklemleri ile elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerlerinin kendi aralarında oldukça yakın değerler verdiği görülmektedir. Ayrıca Fit1, Fit2 ve Fit3 denklemleri yoluyla elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerlerinin 8-15 MeV aralığında uyumlu oldukları ifade edilebilir.

3.37. $^{75}\text{As}(\alpha, n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)

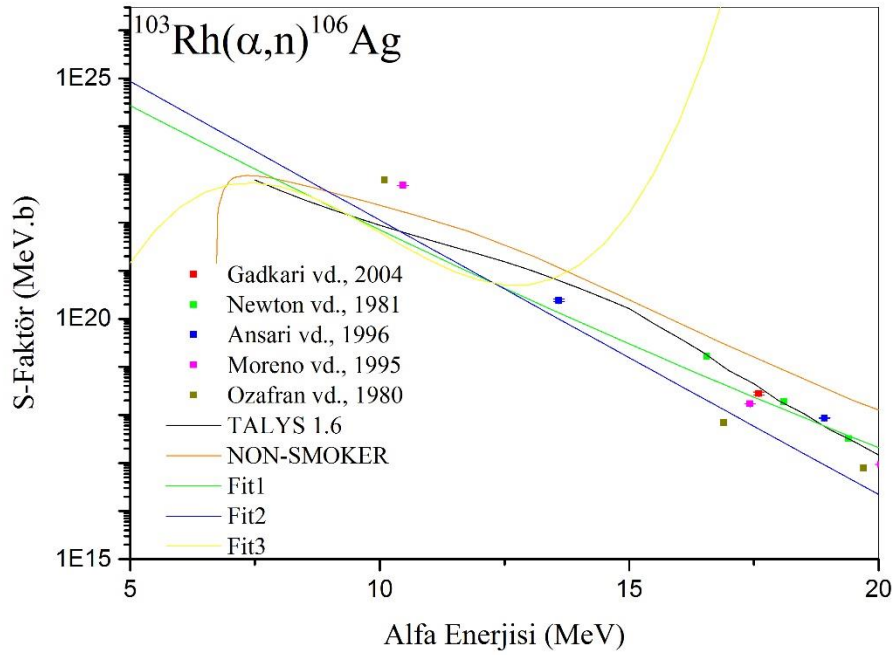


Şekil 3.43. $^{75}\text{As}(\alpha, n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri

Şekil 3.43 grafiğimizde Fit2 ve Fit3'ün özellikle 10-13 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri kullanılarak (1.13) denklemi yoluyla elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerleri uyumlu olduğu

görülmektedir. Qaim vd. (1986)'nin deneysel sonuçları kullanılarak (1.13) denklemi ile elde edilen astrofiziksel S-faktörü 11-15 MeV aralığı için Fit2 değerleri ile belli bir uyum içerisinde olduğunu söyleyebiliriz. 9-11 MeV aralığında ise Fit2 ve Fit3 değerlerinin aynı değerlere sahip olduğu söylenebilir.

3.38. $^{103}\text{Rh}(\alpha, n)^{106}\text{Ag}$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)

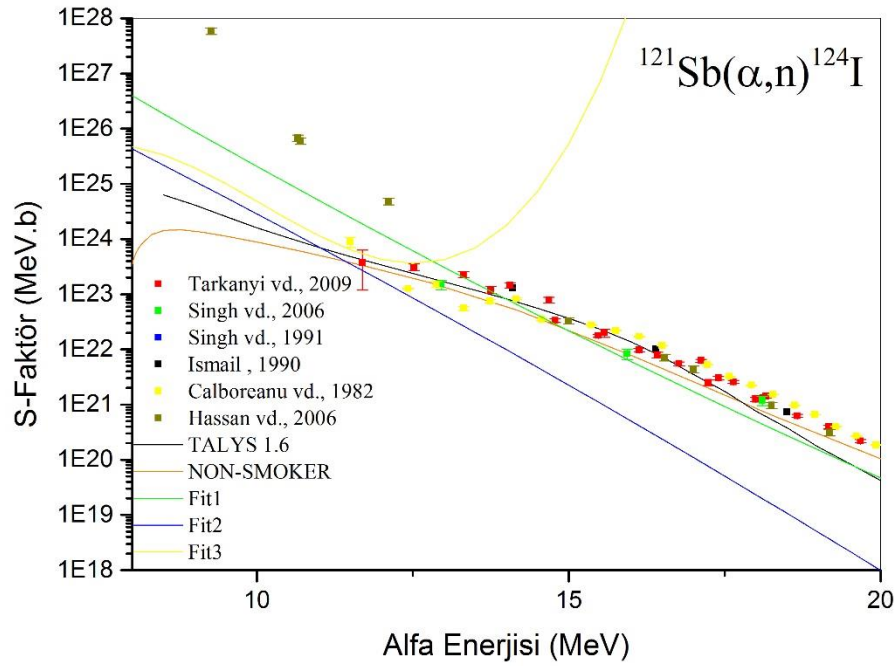


Şekil 3.44. $^{103}\text{Rh}(\alpha, n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri

Şekil 3.44 inceleyecek olursak 7-12 MeV aralığında TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri kullanılarak (1.13) denklemi yoluyla elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerleri Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Benzer bir uyum Ansari vd. (1996)'nin deneysel sonuçları kullanılarak hesaplanan astrofiziksel S-faktörü değerleri için 12-18 MeV aralığı içinde Fit2 ile olduğu söylenebilir. Newton vd. (1981)'nin deneysel sonuçlarından (1.13) denklemi ile elde edilen astrofiziksel S-Faktörü değerleri özellikle TALYS 1.6 ile 16-19,5 MeV aralığında uyumlu olduğu ifade edilebilir. 5-10 MeV aralığı içinde Fit1 ve Fit2 değerlerinin uyum içerisinde görüldü. 12,5 MeV den itibaren de Fit3 değerlerinin TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri

kullanılarak (1.13) denklemi yoluyla elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerlerinden büyük oranda saptığı görülebilir. Fit1 ve Fit2 değerlerinin 5-20 MeV aralığında oldukça benzer değerler verdiği görülmektedir.

3.39. $^{121}\text{Sb}(\alpha,n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)

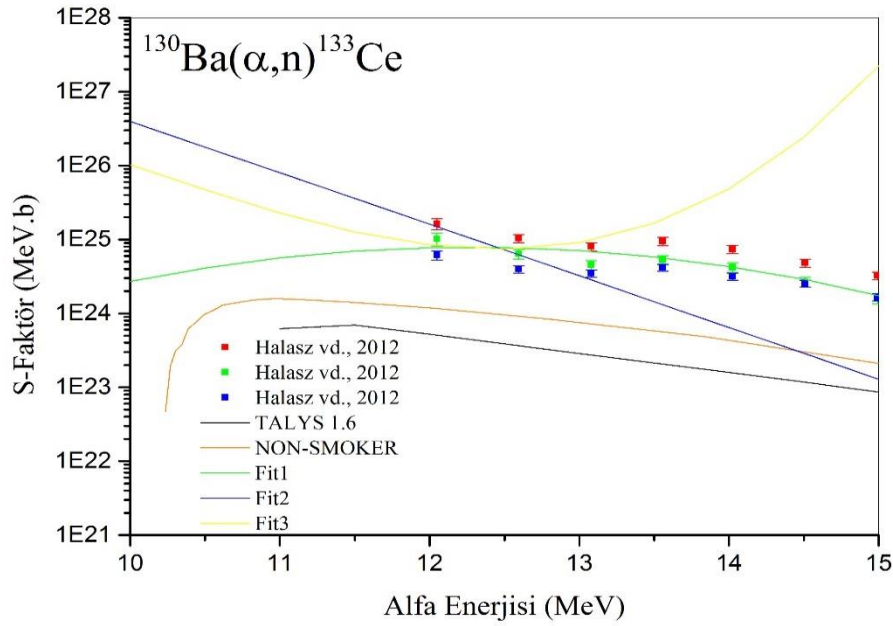


Şekil 3.45. $^{121}\text{Sb}(\alpha,n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1,Fit2,Fit3 değerleri

Şekil 3.45 grafiği incelenecek olursa Tarkanyi vd. (2009)'nin deneysel sonuçları kullanılarak (1.13) denklemi yoluyla elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerleri, TALY 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri kullanılarak (1.13) denklemi sayesinde elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerleri ile 12-15 MeV uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Ayrıca bir katsayı çarpımı ile benzer uyumun Fit2 içinde 12-15 MeV aralığında olduğu görülmektedir. Hassan vd. (2006)'nin deneysel sonuçları kullanılarak (1.13) denklemi ile elde edilen astrofiziksel S-Faktörü değerlerinin Fit2 ile 11-12 MeV aralığında benzerlik içerisinde bulunduğu görüldü. Calboreanu vd. (1982)'nin deneysel sonuçları kullanılarak (1.13) denklemi ile elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerlerinin TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile

elde edilen tesir kesiti değerleri kullanılarak (1.13) denklemi sayesinde elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerleri ile 11,5-14,5 MeV aralığında belli bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

3.40. $^{130}\text{Ba}(\alpha,n)$ Reaksiyonu İçin Astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 Değerleri (Test Grubu Çekirdeği)



Şekil 3.46. $^{130}\text{Ba}(\alpha,n)$ reaksiyonu için astrofiziksel S-faktörü ve Fit1, Fit2 ve Fit3 değerleri

Şekil 3.46 grafiğinin 12-13.5 MeV aralığında NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri kullanılarak (1.13) denklemi yoluyla elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerleri ile Halasz vd. (2012)'nin deneysel sonuçları kullanılarak (1.13) denklemi yoluyla elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerlerinin uyumlu olduğu görüldü. Fit2 ise 12-13 MeV aralığı için yine deneysel değerlerle uyumlu sonuçlar verdi. Diğer taraftan TALYS 1.6 ve NON-SMOKER kodları ile elde edilen tesir kesiti değerleri kullanılarak (1.13) formülü yoluyla elde edilen astrofiziksel S-faktörü değerlerinin kendi aralarında bir katsayı ile çarpıldığında aynı değerleri verebilecekleri görüldü.

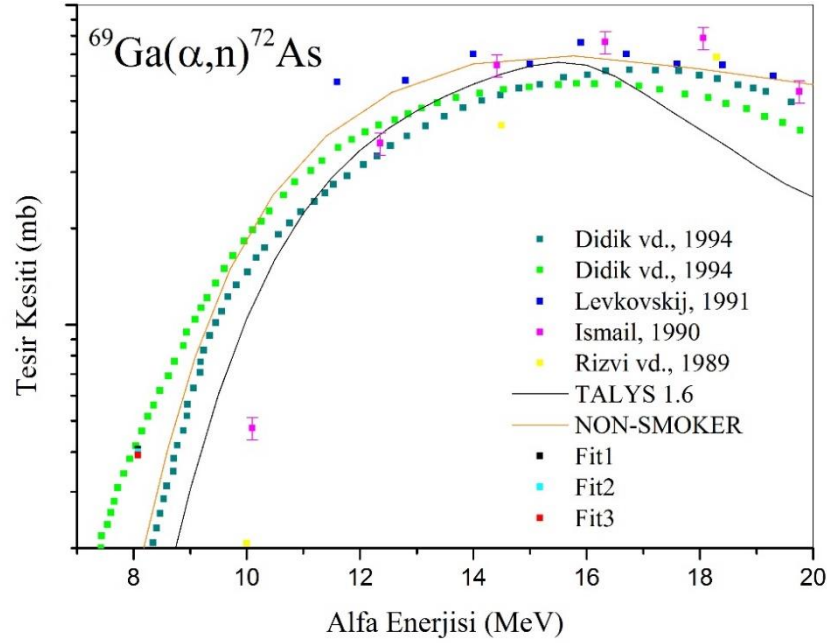
4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında ^{45}Sc , ^{46}Ti , ^{51}V , ^{50}Cr , ^{55}Mn , ^{54}Fe , ^{59}Co , ^{62}Ni , ^{63}Cu , ^{68}Zn , ^{69}Ga , ^{70}Ge , ^{75}As , ^{76}Se , ^{85}Rb , ^{86}Sr , ^{89}Y , ^{92}Mo , ^{100}Ru , ^{103}Rh , ^{107}Ag , ^{106}Cd , ^{113}In , ^{116}Sn , ^{121}Sb , ^{130}Te , ^{127}I , ^{130}Ba , ^{139}La , ^{141}Pr , ^{150}Nd çekirdekleri için (α, n) reaksiyonları tesir kesiti TALYS 1.6 nükleer reaksiyon kodu ve NON-SMOKER web tabanlı hesaplama kodu ile teorik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen teorik tesir kesitleri EXFOR nükleer veri kütüphanesinde mevcut olan deney sonuçları ile karşılaştırılarak hesaplanan değerlerin deneysel verilerle uyumluluğu araştırılmıştır. Şekil 3.1–3.31'deki grafiklerden görüldüğü gibi özellikle gelen alfa parçacıklarının enerjileri 12 MeV'e kadar olduğu durumda deneysel verilerle teorik hesaplanan değerler oldukça uyumludur. Bu uyum sadece ^{76}Se , ^{86}Sr , ^{89}Y , ^{127}I , ^{150}Nd çekirdeklerinde görülmemektedir. Ayrıca küçük kütle numaralı çekirdeklerde (<70) hem iki teorik çalışma arasında hem de teorik deneysel çalışmalar arasında oldukça iyi uyum vardır. Kütle numarası 70 den büyük olan tek-çift çekirdeklerde yaklaşık 15-16 MeV sonrası enerji değerlerinde iki teorik çalışma arasında başlayan ayrışma artan enerji değeri ile giderek artmaktadır. Bu durum tezde kullanılan çift-çift çekirdeklerde 20 MeV'den sonra görülmektedir.

Tezde kullanılan çekirdekler bu işlemlerden sonra örnekleme ve test çekirdekleri olarak ikiye ayrılmıştır. Örnekleme çekirdeklerinin deneysel tesir kesitleri ve dolayısıyla S-faktör değerleri kullanılarak matematiksel Fit etme yoluyla Fit1, Fit2 ve Fit3 yarı-ampirik astrofiziksel S-faktörü formülleri elde edilmiştir. Bu elde edilen formüller sayesinde test çekirdeklerinin (^{46}Ti , ^{69}Ga , ^{75}As , ^{103}Rh , ^{121}Sb , ^{130}Ba) S-faktör değerleri ile literatürdeki değerler karşılaştırıldığında Şekil 3.35-3.40 ile uyumlu sonuçlar olduğu görülmektedir. Bu çekirdeklerden proton ve nötron sayıları göz önüne alındığında ^{46}Ti , ^{130}Ba çift-çift geriye kalan ^{69}Ga , ^{75}As , ^{103}Rh , ^{121}Sb ise tek-çift çekirdeklerdir.

Test çekirdeklerimizden olan $^{69}\text{Ga}(\alpha, n)$ reaksiyonu için ayrıca Fit1, Fit2 ve Fit3 yarı-ampirik astrofiziksel S-faktörü formüllerinden elde edilen değerlerimizi, verilerin yetersiz kaldığı düşük enerji bölgesinde tek değer vererek $E=8,082$ MeV için tesir kesitini denklem (1.14) sayesinde hesaplayıp Fit1, Fit2 ve Fit3 çizcek olursa Şekil 4.1'i elde ederiz.

4.1. $^{69}\text{Ga}(\alpha,n)^{72}\text{As}$ Reaksiyonunda $E=8,082$ MeV İçin Fit1, Fit2 ve Fit3 Tesir Kesiti Değerleri



Şekil 4.1. $^{69}\text{Ga}(\alpha,n)$ reaksiyonunda $E=8,082$ MeV için Fit1, Fit2 ve Fit3 tesir kesiti değerleri

Şekil 4.1 grafiğinde Fit1, Fit2 ve Fit3 kullanılarak hesaplanan astrofiziksel S-faktörü değerlerinin, denklem (1.14) kullanılarak elde edilen tesir kesiti değerleri Didik vd. (1994)'nin tesir kesiti değerlerine yakın olduğu görülmektedir.

Bu çalışma elde edilen yarı-ampirik formüllerin deneysel verilerin yetersiz kaldığı enerji değerleri için kullanılabileceği ve bu sayede literatürde yer alan veri eksikliğinin giderilebileceği görülmüştür.

- ✓ Ayrıca sadece deneysel veriler kullanılarak elde edilen Fit1-3 denklemleri benzer şekilde teorik tesir kesitleri kullanılarak da elde edilebilir. Dolayısıyla deneysel ve teorik veriler arasında elde edilen denklemler de karşılaştırılabilir.
- ✓ Bu fit işlemi tek-tek, tek-çift ve çift-çift çekirdeklerde ayrı ayrı yapılarak bir karşılaştırma yapılabileceği gibi ayrı parametrelerin katkısı da bulunabilir.

- ✓ Elde edilen denklemler yardımıyla literatürde verisi bulunmayan çekirdeklerin S-faktör değerleri hesaplanabilir.



KAYNAKÇA

- Alexander, P., Lau, J.P., Nuclear Physics, Section A Vol.121, p.612, 1968.
- Anders, E., Grevesse N., Abundances of elements: Meteoritic and solar, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 53, 197-214, 1989.
- Ansari, M.A., ve ark., Journal of the Physical Society of Japan Vol.74, p.1150, 2005.
- Ansari, M.A., ve ark., Int. Journal of Modern Physics, Part E Vol.5, p.345, 1996.
- Antropov, A.E., ve ark., 39.Conf. Nucl. Spectrosc. and Nucl.Struct., Tashkent p.352, 1989.
- Antropov, A.E., ve ark., 40.Conf.Nucl.Spectroscopy Nucl.Struct.,Leningrad 1990 p.343, 1990.
- Arya A. P., ‘‘Çekirdek Fiziğinin Esasları’’ Çeviren:Yusuf Şahin., Aktif Yayınevi, Erzurum, 1999.
- Atkinson, R., ve ark. "Zur Frage der Aufbaumöglichkeit der Elemente in Sternen", *Z. Phys.*, 54, 656, 1929.
- Atzeni, S., ve ark., The Physics of Inertial Fusion (First Edition). Oxford: Clarendon Press, 27-29, 2004.
- Aydın, A., ‘‘ $^{40}\text{Ar}(p,p)^{40}\text{Ar}$ esnek saçılmasının 22.6, 27.5, 30.0 ve 36.7 MeV proton enerjilerinde optiksel model analizi’’, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, pp. 26-35, 1997.
- Batij, V.G., ve ark., 34.Conf.on Nucl. Spectr. A. Nucl. Struct., Alma-Ata, p.355, 1984.
- Batij, V.G., ve ark., 32.Conf.on Nucl. Spectr. and Nucl.Struct., Kiev p.134, 1982.
- Bethe, H. A., Critchfield, C. L., "The Formation of Deuterons by Proton Combination", *Phys. Rev.* 54, 248, 1938.
- Bethe, H. A., ‘‘Energy Production in Stars’’, *Phys. Rev.* 55, 434, 1939.
- Bhardwaj, H.D., ve ark., *Pramana* Vol.31, p.109, 1988.
- Bhardwaj, M.K., ve ark., Int. Journal of Modern Physics, Part E Vol.1, p.389, 1992.
- Bowman, W.W., M.Blann, M., Nuclear Physics, Section A Vol.131, p.513, 1969.
- Bryant, E.A., ve ark., *Physical Review* Vol.130, p.1512, 1963.
- Burbidge, E. M., ve ark., ‘‘Synthesis of the Elements in Stars’’, *Rev. Mod. Phys.* 29, 547, 1957.
- Calboreanu, A., ve ark., Nuclear Physics, Section A Vol.383, p.251, 1982.
- Calboreanu, A., ve ark., *Revue Roumaine de Physique* Vol.32, p.725, 1987.

- Cameron, A. G. W., "Nuclear Reactions in Stars and Nucleogenesis", Pub.Astron. Soc. Pac., 69, 201, 1957.
- Chaubey, A.K., Rizvi I.A., Indian Journal of Pure and Applied Physics Vol.37, p.791, 1999.
- Chaubey, A.K., ve ark., Applied Radiation and Isotopes Vol.41, p.401, 1990.
- Chowdhury, D.P., ve ark., Nucl. Instrum. Methods in Physics Res., Sect.B Vol.103, p.261, 1995.
- Clayton, D. D., Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis, Univ. Of Chicago Press, Chicago, 1983.
- Coc, A., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 611, 224–230, 2009.
- Condon, E. U., Gourney, R. W., "Quantum Mechanics and Radioactive Disintegration", Phys. Rev. 33, 127, 1929.
- Cowan J. J., ve ark., Phys. Rep. 208, 267-683, 1991.
- D`auria, J.M., ve ark., Physical Review Vol.168, p.1224, 1968.
- Denzler, F.-O., ve ark., Radiochimica Acta Vol.68, p.13, 1995.
- Didik, V.A., ve ark., Atomnaya Energiya Vol.77, Issue.1, p.81, 1994.
- Dillman I., Determination of proton- and neutron- induced cross section for process studies, PhD thesis, University of Basel, Swiss, 2006.
- Esterlund, R.A., Pate, B.D., Nuclear Physics Vol.69, Issue.2, p.401, 1965.
- EXFOR/CSISRS <http://www.nndc.bnl.gov/nndc/exfor/>
- Filipescu, D., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.83, p.064609, 2011.
- Fukushima, S., ve ark., Nuclear Physics Vol.41, Issue.2, p.275, 1963.
- Furukawa, M., Nuclear Physics Vol.77, p.565, 1966.
- Gadkari, M.S., ve ark., Pramana Vol.62, p.1059, 2004.
- Gallino R., ve ark., Astrophys. J. 497, 388-403, 1998.
- Gamow, G., "Zur Quantentheorie des Atomkernes", Z. Phys. 51, 204, 1928.
- Graf, H.P., ve ark., Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry Vol.36, p.3647, 1974.
- Guillaume, M., ve ark., Radiation and Isotopes Vol.29, p.411, 1978.
- Gyürk, Gy., ve ark., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys., 2010.
- Gyurky, Gy., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.74, p.025805, 2006.
- Hahn, R.L., Physical Review Vol.137, p.1491, 1965.
- Halasz, Z., Phys. R. C 85, 025804, 2012.

- Halasz, Z., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.85, p.025804, 2012.
- Hansper, V.Y., ve ark., Nuclear Physics, Section A Vol.504, p.605, 1989.
- Hansper, V.Y., ve ark., Nuclear Physics, Section A Vol.551, p.158, 1993.
- Hassan, K.F., ve ark., Applied Radiation and Isotopes Vol.64, p.101, 2006.
- Hayder, D.R., ve ark., (IJETCAS) 13-320, 2013.
- Homma, Y., ve ark., Applied Radiation and Isotopes Vol.31, p.399, 1980.
- Houck, F.S., Miller, J.M. Physical Review Vol.123, p.231, 1961.
- Howard, A.J., ve ark., Astrophysical Journal Vol.188, p.131, 1974.
- Hussain, M., ve ark., Applied Radiation and Isotopes Vol.67, p.1842, 2009.
- Iguchi, A. ve ark., Journal of the Atomic Energy Society of Japan Vol.2, Issue.11, p.682 ,1960.
- Iliadis, C., Nuclear Physics of Stars, 1st ed., Wiley-VCH, Germany, 2007.
- Ismail, M., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.41, p.87, 1990.
- Iwata, S.J., Journal of the Physical Society of Japan Vol.17, p.1323, 1962.
- Käppeler, F., Nucl. Phys. 43, 419-483, 1999.
- Kiss, G.G., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.86, p.035801, 2012.
- Kiss, G.G., ve ark., Physics Letters B 735, 40–44, 2014.
- Korkulu, Z., “Karakteristik Gama ve X ışınları ile Reaksiyon Tesir Kesiti ölçümleri”
Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014.
- Koning ,A.J., ve ark., TALYS 1.6 A Nuclear Reaction Program. Nuclear Research and Consultancy Group(NRG), User Manuel, Netherlands, 2013.
- Krane, K.S., “Measurements Of Activation Cross Sections Producing Short- Lived Nuclei By 14 Mev Neutrons”, Introductory Nuclear Physics. John Wiley and Sons, New York, pp. 378-431, 1988.
- Krane, K.S., Nükleer Fizik-II. Çeviren: Başar Şarer, Palme Yayıncılık, Ankara, 2002.
- Lambert D. L., Astrophysics Rev. 3, 201-256, 1992.
- Levkovskij, V.N., Act.Cs.By Protons and Alphas,Moscow (1991) Activation cross section nuclides of average, 1991.
- Lodders K., Astrophys. J. 591, 1220-1247, 2003.
- Mcgowan, F.K., ve ark. Physical Review Vol.133, p.B907, 1964.
- Meyer B. S., The r-, s-, and p-processes in nucleosynthesis, Annu. Rev. Astron.Astrophys, 32, 153-190, 1994.
- Misaelides, P., Munzel, H. Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry Vol.42, p.937, 1980.

- Moreno, A., ve ark., Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Vol.198, p.41, 1995.
- Morton, A.J., ve ark., Nuclear Physics, Section A Vol.573, p.276, 1994.
- Mukherjee, S., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.55, p.2556, 1997.
- Muramatsu, H., ve ark., Applied Radiation and Isotopes Vol.29, p.611, 1978.
- Newton, G.W.A., ve ark., Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry Vol.43, p.2227, 1981.
- NON-SMOKER , <http://nucastro.org/nonsmoker.html>
- Ozafran, M.J., ve ark., Radiochemical and Radioanalytical Letters Vol.43, Issue.5, p.265, 1980.
- Peng Xiufeng, ve ark., Chinese report to the I.N.D.C. No.029/L, 1992.
- Peng, X., ve ark., Applied Radiation and Isotopes Vol.47, p.309, 1996.
- Peng, X., ve ark., Methods in Physics Res., Sect.B Vol.152, p.432, 1999.
- Philips, A.C., "The Physics of Stars", John Wiley & sons Ltd., 1999.
- Porges, K.G., Physical Review Vol.101, Issue.1, p.225, 1956.
- Qaim, S.M., ve ark., Radiochimica Acta Vol.95, p.313, 2007.
- Qaim, S.M., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.38, p.645 , 1988.
- Qaim, S.M., ve ark., Radiochimica Acta Vol.39, p.57, 1986.
- Rapp, W., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.78, p.025804, 2008.
- Reeves, H., ve ark., Astrophys. J., 179, 909, 1973.
- Rizvi, I.A., ve ark., Canadian Journal of Physics Vol.67, p.1091, 1994.
- Rizvi, I.A., ve ark., Canadian Journal of Physics Vol.67, p.870, 1989.
- Rolfs, C. E., and Rodney, W. S., Cauldrons in the Cosmos, University of Chicago Press, Chicago, 1988.
- Rosswog S., ve ark., Astron. Astrophys., 341, 499-526, 1999.
- Satchler, G.R., Introduction to Nuclear Reactions, Mc Millan Press Ltd, London, pp.153-210, 1980.
- Sauerwein, A., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.84, p.045808, 2011.
- Singh, B.P., ve ark., Canadian Journal of Physics Vol.69, p.1376, 1991.
- Singh, B.P., ve ark., Nuovo Cimento A Vol.104, Issue.4, p.475, 1991.
- Singh, B.P., ve ark., Nucl. Ins. Methods in Physics Res., Sect.A Vol.562, p.717, 2006.
- Skakun, Ye., ve ark., Applied Radiation and Isotopes Vol.66, p.653, 2008.
- Skakun, Ye., ve ark., Conf.on Nucl.Data for Sci.and Techn., Santa Fe Vol.2,p.1634,

- 2004.
- Sonzogni, A., ve ark., Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Vol.170, p.143, 1993.
- Stelson P. H., McGowan, F. K., Phys. Rev.133 B911, 1964.
- Sudar, S., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.50, p.2408, 1994.
- Sudar, S., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.53, p.2885, 1996.
- Suess H. E., Urey H. C., Abundance of the Elements, *Rev. Mod. Phys.*, 2853 74, 1956.
- Takahashi K., ve ark., Astron. Astrophys., 286, 857-868, 1994.
- TALYS 1.6 <http://www.talys.eu>
- Tamkaş, M., “ $C^{12}(p, \gamma)N^{13}$ Reaksiyon Tesir Kesiti Ölçümleri”, Y.L Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
- Tanaka, S., Journal of the Physical Society of Japan Vol.15, p.2159, 1960.
- Tanyel, B., “Yıldızlarda çekirdek sentezleri ve yıldızın hayatı”, 1. Baskı, Ege Üniversitesi Basım Evi, 1984.
- Tarkany F. ve ark., Applied Radiation and Isotopes 68, 404–411, 2010.
- Tarkany, F. ve ark., Applied Radiation and Isotopes Vol.67, p.1001, 2009.
- Tims, S.G., Nuclear Physics, Section A Vol.483, p.354, 1998.
- Tims, S.G., Nuclear Physics, Section A Vol.524, p.479, 1991.
- Tims, S.G., Nuclear Physics, Section A Vol.563, p.473, 1993.
- Verdieck, E.V., Miller, J.M. Physical Review Vol.153, p.1253, 1967.
- Vlieks, A.E., ve ark., Nuclear Physics, Section A Vol.224, p.492, 1974.
- Vonach, H., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.28, p.2278, 1983.
- Wallerstein, G., "Synthesis of the elements in stars: forty years of progress", Reviews of Modern Physics, Vol. 69, No. 4, 1997.
- Wasilevsky, C., Radiochemical and Radioanalytical Letters Vol.50, Issue.5, p.307, 1982.
- Weizsäcker, C. F., “Über Elementumwandlungen im Innern der Sterne. II”, Phys. Z. 39, 633, 1938.
- Yalçın, C., “In-113’ün Alfa Yakalama Reaksiyonu ve Nükleer Astrofizikteki Yeri” Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010.

Yalcın, C., ve ark., Physical Review, Part C, Nuclear Physics Vol.79, p.065801, 2009.

Zhukova, O.A., ve ark., Fizika Vol.16, p.242, 1972.

Zhukova, O.A., ve ark., Izvestiya Akademii Nauk KazSSSR, Ser. Fiz.-Mat. Issue.4, p.1, 1970.

Zweit, J., ve ark., Applied Radiation and Isotopes Vol.38, p.499, 1987.

Zyskind, J.L., ve ark., Nuclear Physics, Section A Vol.331, p.180, 1979.



ULUSLARARASI KONFERANSLARDA SUNULAN BİLDİRİLER

Ercan YILDIZ, Abdullah AYDIN, İsmail Hakkı SARPÜN “Astrofizik S-faktörünün Nükleer Astrofizik Reaksiyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, VII. International Workshop on Nuclear Structure Properties, 27-29 Oct 2014, Sinop/Turkey

Ercan YILDIZ, Abdullah AYDIN, İsmail Hakkı SARPÜN, Eyyup TEL “Calculation of Cross-Sections and Astrophysical S-Factors For The $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)$ and $^{63}\text{Cu}(\alpha, \gamma)$ Reactions”, Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT 2015), Apr. 23-26, 2015.

Abdullah AYDIN, **Ercan YILDIZ**, İsmail Hakkı SARPÜN “Theoretical Investigation of Cross-Sections and Astrophysical S-factors For The $^{92}\text{Mo}(\alpha, n)^{95}\text{Ru}$ and $^{94}\text{Mo}(\alpha, n)^{97}\text{Ru}$ Reactions”, Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT 2016), Apr 28-30, 2016.

ULUSLARARASI HAKEMLİ DERGİLERDE YAYIMLANAN MAKALELER

Ercan YILDIZ, Abdullah AYDIN, İsmail Hakkı SARPÜN, Eyyup TEL “Calculation of Cross-Sections and Astrophysical S-factors for the $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)$ and $^{63}\text{Cu}(\alpha, \gamma)$ Reactions”, EPJ web of Conferences Volume 100, 2015.

Ercan YILDIZ, Abdullah AYDIN “Calculation of Cross-Sections and Astrophysical S-factors for the $^{62}\text{Ni}(\alpha, n)$ AND $^{62}\text{Ni}(\alpha, \gamma)$ Reactions of Structural Fusion Material Nickel”, Journal of Fusion Energy, 35, 605, 2016.

Abdullah AYDIN, **Ercan YILDIZ**, İsmail Hakkı SARPÜN “Theoretical Investigation of Cross-Sections and Astrophysical S-factors For The $^{92}\text{Mo}(\alpha, n)^{95}\text{Ru}$ and $^{94}\text{Mo}(\alpha, n)^{97}\text{Ru}$ Reactions”, Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT 2016), Apr 28-30, 2016. (Basım aşamasında)

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında doğdu. 1995 yılında Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik bölümünden mezun oldu. 1999 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans yaptı. 2011 yılında Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde doktora eğitimine başladı. 1996 yılında başladığı öğretmenliğe halen devam etmektedir.

