

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

NÜKLEER SEVİYE YOĞUNLUK PARAMETRELERİNİN ^{233,234,235,236,237,238}U(γ, f)
FOTOFİSYON TESİR KESİTLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Hakan PEKDOĞAN

HAZİRAN 2016

Fizik Anabilim Dalında Hakan PEKDOĞAN tarafından hazırlanan ‘‘Nükleer Seviye Yoğunluk Parametrelerinin ^{233,234,235,236,237,238}U(γ ,f) Fotofisyon Tesir Kesitlerine Etkisinin İncelenmesi’’ 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 : Doç. Dr. Abdullah KAPLAN
Üye : Prof. Dr. Abdullah AYDIN
Üye : Doç. Dr. Mahmut BÖYÜKATA
Üye : Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN
Üye : Doç. Dr. Bayram DEMİR

.../.../ 2016

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

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

NÜKLEER SEVİYE YOĞUNLUK PARAMETRELERİNİN ^{233,234,235,236,237,238}U(γ ,f) FOTOFİSYON TESİR KESİTLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

PEKDOĞAN, Hakan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Abdullah AYDIN

HAZİRAN 2016, 74 sayfa

Bu çalışmada, 20 MeV'e kadar foton gelme enerjileri için, nükleer seviye yoğunluk parametrelerinin ^{233,234,235,236,237,238}U(γ ,f) reaksiyonları için tesir kesitlerine olan etkisi incelendi. Farklı seviye yoğunluk modelleri için ^{233,234,235,236,237,238}U(γ ,f) reaksiyonlarının tesir kesitleri TALYS 1.6 bilgisayar programı ile hesaplandı. Bu hesaplamalar sonucunda ilk olarak, deneysel verilere en iyi uyumu sağlayan seviye yoğunluk modeli belirlendi. İkinci olarak, belirlenen bu modelin farklı seviye yoğunluk parametreleri için elde edilen teorik tesir kesitleri EXFOR veri bankasından alınan deneysel verilerle karşılaştırıldı. Böylece deneysel verilere en iyi uyumu sağlayan en iyi seviye yoğunluk parametreleri belirlenmiş oldu. Sonuç olarak, farklı seviye yoğunluk parametrelerinin tesir kesitlerinin hesaplanmasında etkili olduğu görüldü.

Anahtar kelimeler: Fotofisyon Reaksiyonları, Seviye Yoğunluğu, Seviye Yoğunluk Parametresi, Tesir Kesiti, TALYS 1.6

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NUCLEAR LEVEL DENSITY PARAMETERS ON PHOTOFISSION CROSS SECTIONS OF

$^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$

PEKDOĞAN, Hakan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, Ph. D. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Abdullah AYDIN

June, 2016, 74 pages

In this study, the effects of nuclear level density parameters on the cross sections for the $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ reactions up to 20 MeV photon energy investigated. The cross sections of $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ reactions have been calculated by using different level density models in the TALYS 1.6 computer. Firstly, the level density model which gives closest result to the experimental data has been determined. Then, cross sections obtained for different level density parameters of this model have been compared with experimental data from the EXFOR database. Thus, the best level density parameters have been determined which cross section results to fit to experimental results. As a result, it has been shown that level density parameters are effects on the calculation of cross sections.

Key Words: Photofission reactions, Level Density, Level Density parameter, Cross Section, TALYS 1.6.

TEŞEKKÜR

Doktora tezimin hazırlanması esnasında ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Abdullah AYDIN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca bu tezin başlangıç aşamasından oluşumuna kadar desteklerini, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocalarım, Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN ve Doç. Dr. Abdullah KAPLAN'a çok teşekkür ederim.

Aynı zamanda tezimin hazırlanması esnasında, vermiş oldukları destek ve yardımlarından dolayı, çalışmakta olduğum kurum olan Kırıkkale Yüksek İhtisas Hastanesi yöneticilerine ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan ve bu çalışma boyunca desteklerini esirgemeyen babama ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
1.1.Uranyum.....	3
2. NÜKLEER REAKSİYONLAR	5
2.1. Bileşik Çekirdek Reaksiyonları.....	6
2.2. Direkt Reaksiyonlar.....	7
2.3. Rezonans Reaksiyonlar.....	8
2.4. Denge Öncesi Nükleer Reaksiyonlar.....	9
2.5. Nükleer Seviye Yoğunluğu.....	12
2.5.1. Fermi Gaz Modeli.....	13
2.5.2 a Seviye Yoğunluğu Parametresi.....	14
2.5.3. σ^2 Spin Eşik Parametresi.....	15
2.6. Seviye Yoğunluğu Modelleri.....	15
2.6.1. Birleşik Gilbert-Cameron Modeli (CTM).....	16
2.6.2. Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli.....	19
2.6.3. Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM).....	21
2.7. Gama Işınlarnın Yüksek Enerjili Durumları.....	25
2.7.1 Dev Dipol Rezonans (GDR).....	25
2.7.2 Cüce Dipol Rezonans (PDR).....	26
2.8 Tesir Kesiti.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Kullanılan Materyaller.....	29
3.1.1. TALYS Bilgisayar Programı.....	29

3.1.2. Girdi Veri Dosyası	30
3.1.3. Çıktı Veri Dosyası.....	30
3.1.4 Kullanılan Yöntemler.....	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	32
4.1. İstatistik Kriterler	32
4.2. Tesir Kesiti Hesaplamaları.....	33
4.2.1. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi.....	33
4.2.2. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi.....	34
4.2.3. $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi.....	35
4.2.4. $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi.....	36
4.2.5. $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi.....	38
4.2.6. $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi.....	39
4.2.7. $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi.....	41
4.2.8. $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi.....	42
4.2.9. $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi.....	44
4.2.10. $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi.....	45
4.2.11. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi.....	46
4.2.10. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi.....	48
4.2.11. $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonları İçin Kütle Numarasına Bağlı Seviye Yoğunluk Parametre Hesabı	49

4.3.	^{233,234,235,236,237,238} U(γ ,f) Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerini Kullanarak Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması.....	52
4.3.1	²³³ U(γ ,f) Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması.....	52
4.3.2	²³⁴ U(γ ,f) Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması.....	53
4.3.3	²³⁵ U(γ ,f) Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması.....	55
4.3.4.	²³⁶ U(γ ,f) Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması.....	56
4.3.5	²³⁷ U(γ ,f) Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması.....	58
4.3.6.	²³⁸ U(γ ,f) Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması.....	59
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....		61
KAYNAKLAR		64
ÖZGEÇMİŞ.....		72

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.2. $^{64}\text{Zn}^*$ bileşik çekirdeği için farklı oluşum ve bozunum durumları	7
2.3. Çekirdek yüzeyinde meydana gelen doğrudan tepkimelerin geometrisi.	8
2.4. Enerji bölgelerinde çıkan parçacık spektrumuna mekanizmaların katkıları Kesikli eğri, geçiş enerji aralığında geri kalan kısımdan bileşik katkıyı ayırır....	10
2.5. 29 ve 39 MeV proton gelme enerjilerinde, $^{54}\text{Fe}(p,p')$ reaksiyonuna ait proton yayınlanma spektrumu	11
2.6. Dev dipol rezonans ve Cüce dipol rezonans pikleri.....	27
2.7. Gelen demet, hedef ve θ, ϕ 'deki $d\Omega$ katı açısı içinde saçılan demet gösteren reaksiyon geometrisi.	27
4.1. $^{233}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.	33
4.2. $^{233}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a' 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesir kesitlerine etkisi	34
4.3. $^{234}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.	36
4.4. $^{234}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a' 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.....	37
4.5. $^{235}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.	38
4.6. $^{235}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a' 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.	40
4.7. $^{236}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.....	41

4.8.	$^{236}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.....	43
4.9.	$^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.	44
4.10.	$^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesir kesitlerine etkisi	45
4.11.	$^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM, GFM, HFM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.	47
4.12.	$^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesir kesitlerine etkisi	48
4.13.	Kütle Numarasına Bağlı Seviye Yoğunluk Parametre Hesabı.....	50
4.14.	$^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi.....	52
4.15.	$^{234}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi.....	54
4.16.	$^{235}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi.....	55
4.17.	$^{236}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi.	57
4.18.	$^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi	58
4.19.	$^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

1.1. Uranyumun Doğada Bulunuşu ve Dağılımı	4
4.1. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri	35
4.2. $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri	38
4.3. $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri	40
4.4. $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri	43
4.5. $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri	46
4.6. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri	49
4.7. $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ için araştırmalar sonucunda elde edilen seviye yoğunluk parametreleri	50
4.8. $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ için kullanılan seviye yoğunluk parametreleri	51
4.9. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait istatistik değerler	53
4.10. $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait istatistik değerler	55
4.11. $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait istatistik değerler	56
4.12. $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait istatistik değerler	58
4.13. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait istatistik değerler	60

SİMGELER DİZİNİ

ρ	Seviye yoğunluğu
ρ^{top}	Toplam seviye yoğunluğu
w^{top}	Toplam durum yoğunluğu
a	Seviye yoğunluğu parametresi
\tilde{A}	asimptotik seviye yoğunluğu parametresi
A	Kütle numarası
δ	Çiftlenim enerjisi terimi
σ	Tesir kesiti
b	Barn (1 b=100 fm ²)
E_f, ϵ_F	Fermi enerjisi
MeV	Milyon Elektron Volt
D	Determinant
S	Entropi
g	Tek parçacık durum yoğunluğu
Γ	Uyarılmış durumun genişliği
γ	Gama
dt	Birim yüzey
$d\Omega$	Katı açısı
\hbar	Planck sabiti ($\hbar = h/2\pi$)
p	Parçacık sayısı
P	Lineer momentum
$P_\nu(\epsilon)$	ϵ enerjili ν yayınlanan parçacık sayısı
Q	Reaksiyon enerjisi
$\sigma(\theta)$	Diferansiyel tesir kesiti
U	Fermi gaz ifadesinde uyarılmış enerji
CTM	Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli
BFM	Modifiye Fermi Gaz Modeli
GSM	Genelleştirilmiş Süperakışkan Model
GFM, HFM	Mikroskobik Seviye Yoğunluğu Modelleri

1. GİRİŞ

Nükleer seviye yoğunlukları, istatistiksel modellerde nükleer reaksiyonları tahmin etmek için kullanılır. Seviye yoğunluğu, uyarılma enerji aralığından, düşük uyarılmalarda gözlemlenen uyarılmış durumların sayılmasıyla veya deneysel değerlerin fit edilmesiyle doğrudan belirlenebilir. Nükleer seviye yoğunlukları reaktör fiziğinde istatistiksel hesaplamaların yapılmasında, astrofizikte, ağır iyon çarpışmalarının incelenmesinde ve reaksiyon tesir kesitlerinin hesaplanmasında önemli bir rol oynar. Reaksiyon tesir kesitlerinin hesaplanması, deneysel veri bankalarının zenginleştirilmesi, nükleer modellerin sınanması ve geliştirilmesi bakımından oldukça önemlidir. Ayrıca, reaksiyon tesir kesitlerinin hesaplanması, nükleer fizik deneylerini yapmadan önce deneycilere fikir vermesi açısından önemlidir.

Seviye yoğunluğu hesaplamalarında yaygın olarak kullanılan, çok çeşitli teknikler içeren oldukça karmaşık fenomenolojik modeller geliştirmiştir. Bu modellerden bazıları fotofisyon reaksiyon tesir kesiti hesaplamalarında bu doktora tezinde kullanılmıştır. Bu modeller sırasıyla; Birleşik Gilbert- Cameron modeli (CTM) (Gilbert vd., 1965), nükleer etkileşimleri göz önüne almayan Bethe'nin ifadelerine dayanan Geri- Kaydırılmış Fermi Gaz model (BSFGM) (Bethe, 1937) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan model (GSM)'dir. Bu modellerde kabuk, çiftlenme ve bozunma etkileri ayarlanabilir parametreler yardımı ile hesaplamalara ilave edilir. Seviye yoğunluğu modellerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması ile elde edilen veriler ışığında, bu modellerin deneysel sonuçlarla uyumu, deneysel çalışma öncesi ön bilgi açısından, ne kadar yararlı çalışmalar olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Literatürde fotofisyon reaksiyonları ile ilgili olan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Moraes vd., (1989), sıvı damlası modeline göre basit fisyon bariyerleri kullanmışlar. Numunelerin fisyonu uğraması için her bir uyarılma enerjisini belirlemişler, aynı zamanda bu olayın enerjiden bağımsız olduğu göstermişlerdir. Termal nötron yakalama yöntemiyle elde edilen gama ışınlarını ^{233}U üzerine göndererek (5.43-

9.72) MeV arasındaki enerjilerde fotofisyon tesir kesitleri elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçları diğer yazarların sonuçları ile kıyaslamışlardır.

Berman vd., (1996) $^{233,234}\text{U}$, ^{237}Np , ^{239}Pu reaksiyonları (6.98-18.25) MeV arasında foto nükleer tesir kesitleri için gerçekleştirmiştir. Bu çekirdek reaksiyonlarına ait olan toplam foto nükleer tesir kesitlerinde, reaksiyonda kullanılan çekirdeklerden beklenildiği gibi GDR (Dev Dipol Rezonans) parametreleri oluşmakta olup, büyük statik deformasyona sahip oldukları görülmüştür.

Caldwell vd., (1980) $^{235,236,238}\text{U}$ ve ^{232}Th çekirdeklerini kullanarak (5-18.3) MeV'e kadar γ ışınları ile (γ,n) , $(\gamma,2n)$, (γ,f) reaksiyonları gerçekleştirmiştir. Bu nükleer reaksiyonlar; nötron verimi, GDR parametreleri, nükleer yapı parametreleri, nötron ve fisyon olasılıkları konularında bilgi vermektedir.

Aydın vd., (2009) yaptıkları çalışmada bazı aktinit çekirdeklerin (p,f) reaksiyonlarında ALICE/ASH bilgisayar programı ile seviye yoğunluk modelleri kullanılarak tesir kesiti hesaplamaları yapılmış ve deneysel verilerle kıyaslanmıştır. Sarpün vd., (2014) yaptıkları çalışmada, ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U , ^{237}Np ve ^{238}Pu çekirdeklerinin (α,f) reaksiyonlarında TALYS 1.6 ve EMPIRE 3.1 nükleer hesaplama programı ile seviye yoğunluk modellerini kullanarak tesir kesiti hesaplamaları yapmışlar ve deneysel veriler ile karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmada, 20 MeV'e kadar fotofisyon $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonları incelendi. TALYS 1.6 nükleer reaksiyon model kodu kullanılarak elde edilen tesir kesitleri, EXFOR kütüphanesinden alınan deneysel verilerle karşılaştırıldı. Tesir kesiti hesaplamalarına TALYS kodunda varsayılan CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modelleri dahil edilmiştir. Seviye yoğunluk parametre değerleri değiştirilerek, reaksiyon tesir kesiti üzerine bu parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Bu tez çalışmasının devamında mevcut literatür ile oluşmuş teorik bilgiler ve nükleer yapı ve reaksiyon hesaplamalarında yaygın olarak kullanılan fenomenolojik seviye yoğunluğu modelleri Bölüm 2'de, seviye yoğunluğu hesaplamalarında kullanılan bilgisayar programı ve özelliklerine Bölüm 3'de, araştırma bulgularına ve reaksiyon

tesir kesiti hesaplamalarına Bölüm 4'de yer verilmiştir. Bölüm 5 ise, sonuçlar ve tartışmaları içermektedir.

1.1. Uranyum

Uranyum Martin Klaproth tarafından 1789 yılında keşfedilmiştir. Uranyum; atom numarası 92, atom ağırlığı 238,03 g/mol olan bir elementtir. Doğal uranyum α -ışını yayınlayıcı izotopların bir karışımı olup izotop kütlesi 218, 222, 225–240 ve 242 olan 19 farklı izotopu bulunmaktadır. Radyoaktif bir element olup izotoplarının yarı ömürleri 1 μ s'den (^{222}U), 4,468x10⁹ yıla (^{238}U) kadar değişir. Uranyumun bazı izotoplarına ait bolluk oranı, yarılanma ömrü ve yayınladıkları α -ışını enerjileri aşağıda verilmiştir (Benedict vd., 1981; Ullmann's, 1986, Kirk-Othmer, 1997).

	Bolluk (%)	Yarı ömür	α -Enerjisi (MeV)
^{238}U	% 99,274	4,47x10 ⁹ yıl	4,15 MeV α
^{235}U	% 0,7202	7,08x10 ⁸ yıl	4,29 MeV α
^{234}U	% 0,0057	2,45x10 ⁵ yıl	4,78 MeV α

Çizelge 1.1 Uranyumun Doğada Bulunuşu ve Dağılımı (Kütahyalı, 2002)

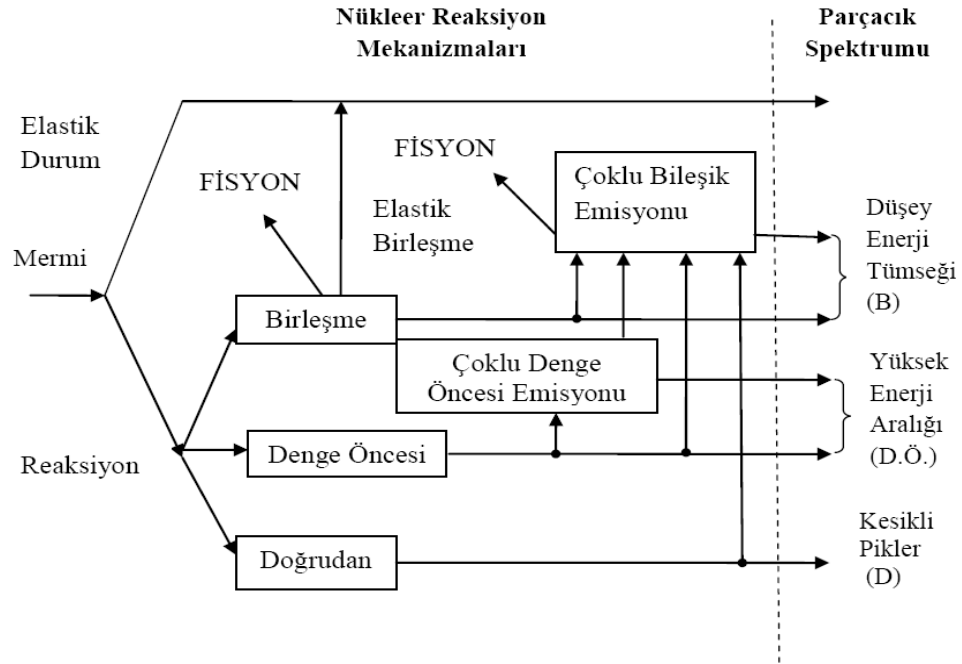
Volkanik Kayalar	Derişim (ppm)	Materyaller	Derişim (ppm)
Basalt	0,6	Yüksek tenörlü damarlar	(3–8,5)x10 ⁵
Granit (normal)	4,8	Kumtaşı cevherleri	(0,5–4)x10 ³
Kumtaşı, kireçtaşı	12-1,3	Altın cevheri (G. Afrika)	150–600
Yer kabuğu	2,1	Fosfat kayaları	50–300
Deniz suyu	0,002–0,003	Granitler	15–100
Meteoritler	0,05		

Uranyum doğada; kayalarda, okyanuslarda ve meteoritlerde önemli miktarlarda olmak üzere çok dağılmış şekilde bulunmaktadır. Genel bulunma şekli ve oransal dağılımı Çizelge 1.1’de verilmiştir.



2. NÜKLEER REAKSİYONLAR

Nükleer reaksiyonlar direkt reaksiyonlar ve bileşik reaksiyonlar olmak üzere iki şekilde incelenmiştir. Birincisi, direk reaksiyonlar çok hızlı reaksiyonlardır. Bu tür reaksiyonların süresi, bir mermi parçacığın, hedef çekirdeği çap boyunca hiç etkileşmeden geçmesi için gerekli süre civarındadır. Bu süre ortalama olarak 10^{-22} saniyedir. Diğer tür reaksiyonlar ise, bileşik çekirdek (compound nucleus) reaksiyonları olup, direkt reaksiyonlara göre oldukça uzun bir süreye sahiptirler. Bu süre de ortalama olarak 10^{-16} saniyedir. Bileşik çekirdek reaksiyonları istatistiksel metotlarla incelenirler. Nükleer reaksiyon mekanizmaları Şekil 2.1’de verilmiştir.



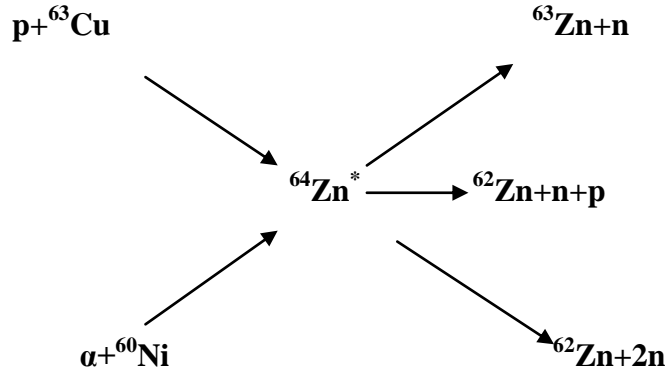
Şekil 2.1. Nükleer reaksiyonlarda direk, denge öncesi ve bileşik çekirdeklerin oluşum süreçleri ve farkları (Koning vd., 2013)

2.1. Bileşik Çekirdek Reaksiyonları

Gelen parçacığın yarıçapına göre küçük bir çarpışma parametresi ile hedef çekirdeğe girdiğini varsayalım. Bu parçacığın muhtemelen basit bir saçılma ile hedef nükleonlardan birisiyle etkileşme ihtimali çok yüksektir. Geri tepen nükleon ve gelen parçacık diğer nükleonlarla ardışık çarpışma yapabilir ve böyle birkaç etkileşmeden sonra gelme enerjisi, (gelen parçacık + hedef) bileşik sisteminin nükleonları arasında paylaşılır. Herhangi tek bir nükleonun enerjisindeki ortalama artış, çekirdeği terk etmesine yetecek kadar değildir. Fakat, bu rastgele çarpışmalar meydana gelirken enerjilerinde istatistiksel bir dağılım söz konusudur. Ayrıca, tek bir nükleonun çekirdeği terk edecek enerjiye sahip olma ihtimali de vardır. Bu ihtimal moleküllerin sıcak bir sıvıdan kaçması ihtimali kadardır. Böyle reaksiyonlar gelen parçacığın soğrulmasından sonra giden parçacığın yayınlanmasından önce belirli bir ara duruma sahiptir. Bu ara duruma bileşik çekirdek denir. Sembolik olarak bileşik çekirdek reaksiyonu;



şeklinde ifade edilir. Burada C^* bileşik çekirdeği göstermektedir. Böyle bir reaksiyonu iki basamaklı bir işlem olarak göz önüne alabiliriz: bileşik çekirdeğin oluşması ve sonra bozunumu. Belirli bir bileşik çekirdek, farklı yollarla bozunabilir. Nükleer reaksiyonların bileşik çekirdek modelinin temel varsayımı; bileşik çekirdeğin belli bir son ürünler kümesine bozunması için bağıl olasılığı, bileşik çekirdeğin oluşma şekline bağımsızdır şeklinde ifade edilebilir. Bozunma olasılığı sadece sisteme verilen toplam enerjiye bağlıdır. Bileşik çekirdek nasıl meydana geldiğini unutmur ve istatistiksel kurallara göre Şekil 2.2’de görüldüğü gibi bozunur (Krane, 2002).



Şekil 2.2. $^{64}\text{Zn}^*$ bileşik çekirdeği için farklı oluşum ve bozunum durumları
(Krane, 2002)

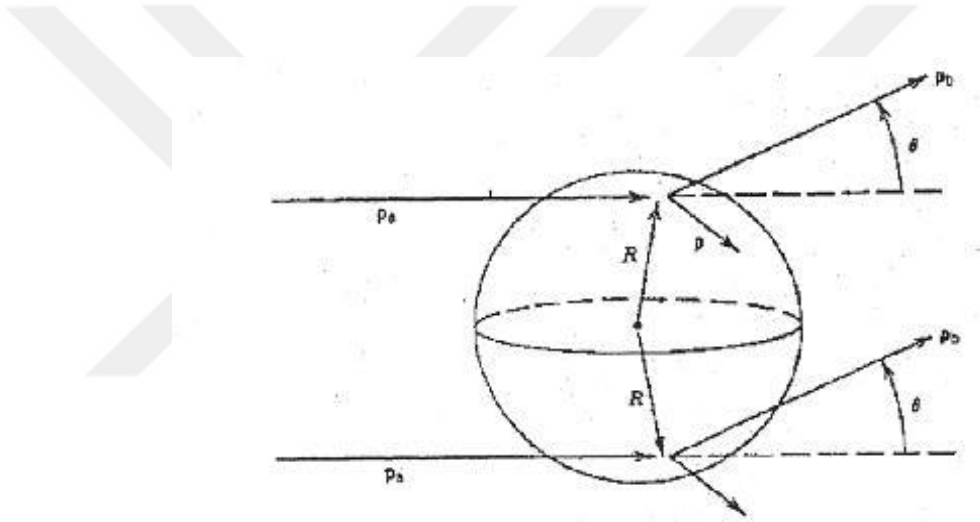
2.2. Direkt Reaksiyonlar

Bileşik çekirdek reaksiyonlarından başka diğer önemli reaksiyonlar direkt reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlarda gelen parçacık önce çekirdek yüzeyinde etkileşir. Parçacığın enerjisi arttıkça, dalga boyu da çekirdek büyüklüğündeki bir cisimle etkileşebilecek kadar küçülür. Reaksiyonun bileşik çekirdek reaksiyonu mu yoksa direkt reaksiyon mu olacağı mermi parçacığın enerjisine bağlıdır: 1 MeV enerjili gelen nükleonun yaklaşık dalga boyu 4 fm dir ve bu nedenle tek nükleonları göremez. Bu durumda bileşik çekirdek meydana gelmesi daha olasıdır. 20 MeV' lik bir nükleonun dalga boyu 1fm civarında olup direkt reaksiyonların meydana gelmesi daha olasıdır (Krane, 2002).

Bu etkileşim Şekil 2.3'de geometrik olarak gösterilmektedir. Şekilde p_a momentumuna sahip gelen bir parçacık p_b momentumlu giden bir parçacık verir. Kalan çekirdek $p = p_a - p_b$ momentumu ile geri tepmelidir. Bir direkt reaksiyonda transfer edilen nükleonun bir anda geri tepme momentumuna sahip olduğunu ve etkileşmenin çekirdek yüzeyinde meydana geldiğini varsayarak yörünge açılal momentumu $l = Rp$ olan bir yörüngeye yerleşmesi gerektiğini kabul edebiliriz (Krane, 2002).

Direkt reaksiyonlar aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- 1) Yüksek enerjilerde meydana gelirler ve reaksiyonun oluşma süresi bileşik çekirdek reaksiyonlarına göre daha kısadır (10^{-22} sn den daha kısa).
- 2) Reaksiyon sırasında mermi ve hedef çekirdek kontak yaparak şiddetli absorpsiyon meydana getirirler.
- 3) Etkileşim genelde yüzeyde, değerlik nükleonları arasında meydana gelir.
- 4) Tesir kesitleri bileşik çekirdek reaksiyonlarına göre düşüktür; Tesir kesitleri küçük açılarda pik yaparken büyük açılarda ise şiddetleri düşmektedir.



Şekil 2.3. Çekirdek yüzeyinde meydana gelen doğrudan tepkimelerin geometrisi
(Krane, 2002)

2.3. Rezonans Reaksiyonlar

Nükleer reaksiyonların bileşik çekirdek modeli, bağlı olmayan nükleer durumları yapısız, sürekli bir durum olarak incelenir. Yani kesikli nükleer durumlar bulunabilir, fakat bunlar o kadar çok sayıda ve birbirine o kadar çok yakınlardır ki sürekli bir spektrum oluştururlar. Kesikli durumlar olarak kabul edilen bu durumların her biri bozunmaya karşı kararsızdır ve dolayısıyla belirli bir genişliğe sahiptirler. Bu

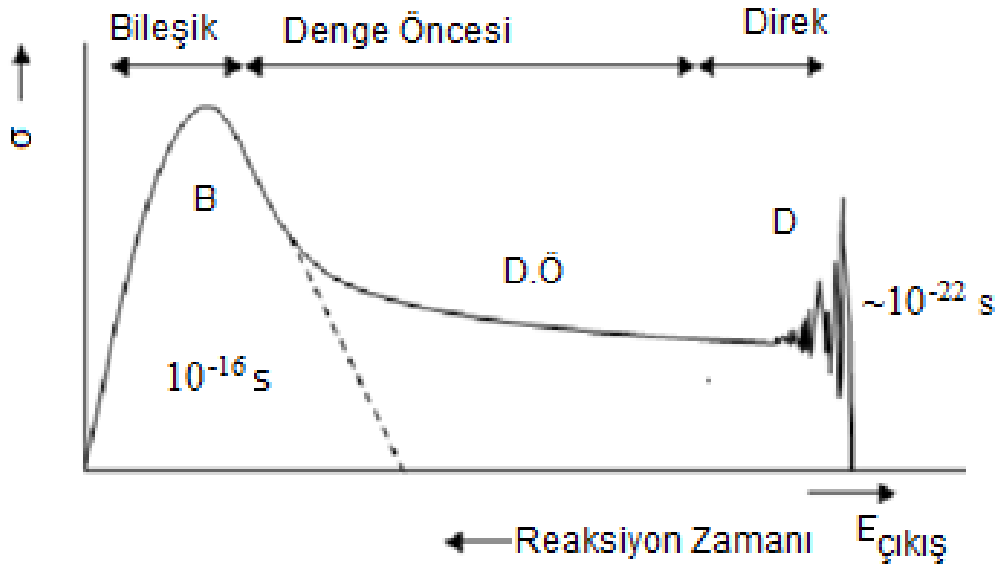
durumların sayısı durumlar arasındaki mesafe, her durumun genişliğinden daha küçük olacak kadar çok olduğunda bileşik-çekirdek sürekli durumu meydana gelir. Direk reaksiyonlar ile incelenen bağlı durumlar, ölçeğin ters ucundadır. Bunlar parçacık yayınlanmasına karşı kararlı olduklarından, ortalama ömürleri daha uzundur. Bunlara karşılık gelen genişlikler daha küçüktür. Bundan dolayı bunları belirli dalga fonksiyonlarına sahip kesikli durumlar olarak ele alabiliriz.

Bileşik-çekirdek bölgesindeki kesikli düzeyler bu iki durum arasındaki rezonans bölgesidir. Bu düzeylerin meydana gelme olasılığı çok yüksektir ve bunların genişlikleri çok küçüktür. Çünkü bu rezonansların, meydana gelme olasılıklarının çok yüksek olduğu düşük gelme enerjisinde, genel olarak sadece iki bozunma moduna sahip sanki bağlı durum, gelen parçacığı elastik ya da inelastik saçılma ya da γ olarak yeniden yayınlayabilir (Krane, 2002).

2.4. Denge Öncesi Nükleer Reaksiyonlar

10 MeV'in üstündeki gelme enerjilerde; direk reaksiyon sürecinden hemen sonra, çekirdeğin istatistiksel denge durumu oluşmadan önce, parçacık yayınlanması mümkün olmaktadır. Bu süreç; denge öncesi ya da zaman zaman bileşik öncesi nükleer reaksiyonlar olarak adlandırılmaktadır. Bu reaksiyonların zaman ölçeği, direk reaksiyonlar ile bileşik çekirdek reaksiyonlarının arasındadır. Şekil 2.4'de reaksiyon zaman aralığı gösterilmektedir (Koning vd., 2009).

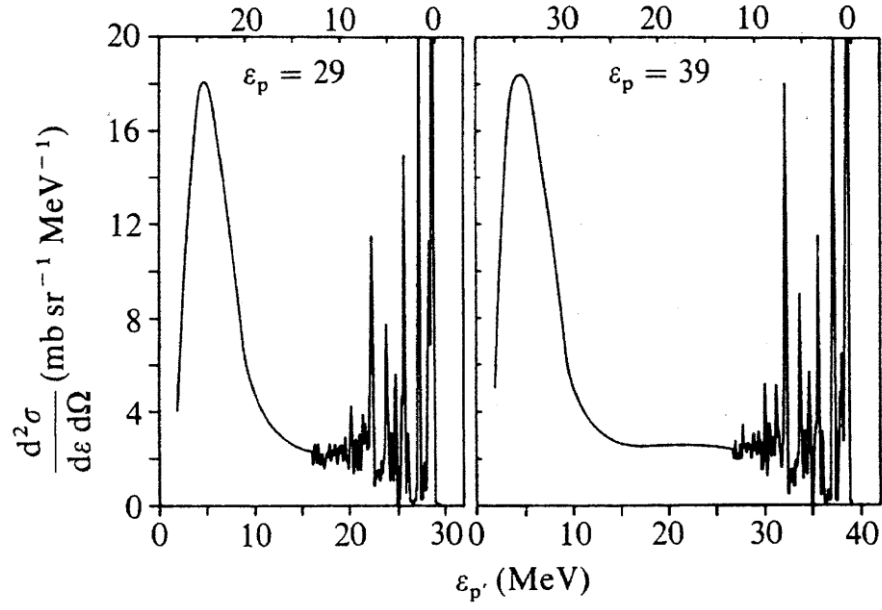
İlk olarak; 1950 ve 1960'lı yıllarda yapılan deneylerden elde edilen gözlemler, direk reaksiyonu ile bileşik çekirdek reaksiyonunun dışındaki denge öncesi reaksiyon mekanizmasının varlığını göstermiştir. Elde edilen gözlemler, hem direkt reaksiyon sürecinden hem de bileşik çekirdek reaksiyon sürecinden farklı sonuçlar vermektedir.



Şekil 2.4. Enerji bölgelerinde çıkan parçacık spektrumuna mekanizmaların katkıları.

Kesikli eğri, geçiş enerji aralığında geri kalan kısımdan bileşik katkıyı ayırır (Koning vd., 2009).

Şekil 2.5’de verilen 40° deki ^{54}Fe (p,p') reaksiyonuna ait proton yayınlanma spektrumu direk reaksiyonlar, bileşik reaksiyonlar ve denge öncesi reaksiyonların analizinde kullanılabilen bir örnektir. 0–10 MeV arası bileşik çekirdek bölgesi olup, beklenildiği gibi Maxwell dağılımı şekline sahiptir. 30 MeV üzeri ise, keskin piklerin var olduğu direk reaksiyon sürecine ait bölgedir. 10–30 MeV arasında kalan kısım her iki sürece de uymayan, biçimsiz ve sürekli bir şekle sahip olan denge öncesi sürecine aittir. Açısal dağılımı düşük enerjilerde bileşik çekirdek gibi 90° simetrik olmasına karşın, tesir kesitleri bileşik çekirdeğinkinden büyük değere sahiptir. Yüksek enerjilerdeki yayınlanan parçacık açısal dağılımı ise; direkt reaksiyon sürecindeki gibi ileri yönlü pike sahip olmasına karşın, kırınım yapısı bulunmamaktadır (Gadioli ve Hodgson, 1992; Hodgson vd., 2003; Shirokov ve Yudin, 1982).



Şekil 2.5. 29 ve 39 MeV proton gelme enerjilerinde, $^{54}\text{Fe}(p,p')$ reaksiyonuna ait proton yayınlanma spektrumu

Denge öncesi reaksiyonları inceleyen başlıca modeller şunlardır:

- 1) İntranükleer Çığ (Cascade) ve Buharlaşma Modeli.
- 2) Griffin (Eksiton) Modeli.
- 3) Çığ Eksiton Modeli.
- 4) Hibrit modeli.
- 5) Geometri bağımlı hibrit model.

Modellerin hepsinde istatistiksel yöntemler kullanılır ve hesaplamalarda çekirdeğin yapısı hesaba katılmaz. Yayınlanan parçacık spektrumunu başarılı bir şekilde veren ilk model, Griffin'in çalışmaları (Griffin, 1966; 1967a, b; 1968) ile sonuçlanan Eksiton model'dir. Bu model; geniş aralıktaki deneysel verilerin analizi kullanılarak, çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirildi. Diğer bir önemli model; Harp, Miller ve Berne tarafından ortaya konulan çalışmalardır (Harp vd., 1968; Harp ve Miller, 1971). Blann, (1971) tarafından hazırlanan hibrit model, Griffin ve Harp, Miller ve Berne modellerinin bakış açılarını birleştiren bir modeldir ve çok geniş kullanılabilen bir formülasyona sahiptir. Blann (1972) daha sonra bu modeli düzenleyerek geometri

bağımlı hibrit modeli hazırlamıştır. 1971’de ve daha sonraki çalışmalarda (Bertrand ve Peelle, 1973; Serber, 1947b; Bertini vd., 1974) intranükleer cascade modeli de denge ve denge öncesi bölgesine dahil edilmiştir. Sonra; yapılan kuantum mekaniksel çalışmalarla (Feshbach vd., 1980; Tamura vd., 1982; Nishioka vd., 1986, 1988, 1989) yayınlanan parçacık açısal dağılımı hesaplanmıştır (Běták ve Hodgson, 1998; Blann, 1975). Bu modellerin geniş anlatımına (Pekdoğan, 2011)’de yer verilmiştir.

2.5. Nükleer Seviye Yoğunluğu

Nükleer seviye yoğunluğu, belirli enerji seviyeleri arasındaki seviyelerin sayısı olarak tanımlanır. Seviye yoğunluğu, ayrık seviye verilerinin tam olmadığı durumlarda, nükleer reaksiyonların istatistiksel modelini kullanarak, saçılma gözlenebilirlerinin güvenilir bir teorik analizini yapmak için optik model ile birlikte yer alan en önemli bileşenlerdendir. Optik model potansiyeli ile birlikte doğru seviye yoğunluğuna ulaşmada kullanılan en önemli adım, tesir kesitlerinin teorik analizinin, spektrumun, açısal dağılımın ve diğer izlenebilir nükleer reaksiyonların güvenilir olmasıdır (Koning vd., 2008). Bu nedenle, fenomenolojik analitik ifadeler için Hartree-Fock yaklaşımı ve birleştirici metotlardan direkt elde edilen mikroskobik seviye yoğunluklarından değişen modellerin kullanımıyla seviye yoğunluğu modelleri üzerine yoğun çalışmalar yapılmıştır (Demetriou, 2001; Hilaire, 2006).

Bu seviye yoğunluğu modelleri; Sabit Sıcaklık Modeli (Constant Temperature model, CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (Backshifted Fermi Gas Model, BSFGM), Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (Generalized Superfluid Model, GSM), Mikroskobik Seviye Yoğunluğu Modelleri (Microscopic Level Densities, GFM, HFM)

Modellerden her biri için, seviye yoğunluk parametreleri oluşturulmaktadır. Nükleer reaksiyon hesaplamaları üzerindeki çeşitli seviye yoğunluğu etkileri tutarlı bir çalışma olarak sunulmaktadır.

Bu çalışmada ilk olarak nükleer reaksiyon hesaplamalarında direkt olarak kullanabilecek çeşitli seviye yoğunluğu modellerine ve reaksiyon tesir kesitleri üzerinde etkisi olan seviye yoğunluğu parametrelerine yer verilmiştir. Bunun yanı sıra fenomenolojik modellere kaynak oluşturan Fermi gaz modeline ve bu modellere katkıda bulunan seviye yoğunluğu parametrelerine değinmek yararlı olacaktır.

2. 5.1. Fermi Gaz Modeli

Bethe, Fermi gaz modelini 1937 yılında açıklamıştır (Bethe, 1937). Model çekirdeğin uyarılmış seviyelerinin, eşit aralıklarla yerleştiği ve kolektif seviyelerin olmadığı tek parçacık hallerinin fiziksel yaklaşıklığına dayanır. Bu yaklaşım durum yoğunluğu için kapalı form bir eşitliğin türetilmesine imkan verir. Nükleonlardan oluşan bir çift-fermion sistemi için, toplam Fermi gaz durum yoğunluğu, aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$w_F^{top}(E) = \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp[2\sqrt{aU}]}{a^{1/4}U^{5/4}} \quad (2.2)$$

Eşitlikte kullanılan a seviye yoğunluğu parametresidir. Bu eşitlik bir çekirdek için deneysel verilerden veya genel sistematikten seviye yoğunluğu parametresi a 'nın elde edilmesi için kullanılır. Bu parametre; eşitlik ile tanımlanır.

$$a = \frac{\pi^2}{6} (g_p + g_n) \quad (2.3)$$

Bu ifade de yer alan g_p ve g_n ise, Fermi enerjisi civarındaki tek parçacık seviye yoğunluklarıdır. Eşitlik (2.2) aynı zamanda etkin uyarılma enerjisini de içerir ve bu enerji $U = E - \Delta$ olarak tanımlanır.

Burada enerji kayması Δ , çekirdekteki bilinen tek-çift etkilerinin, sebep olduğu çiftlenme enerjisine eşit veya onunla çok yakından ilgili olan ampirik bir parametredir. E ise, gerçek uyarılma enerjisidir.

Toplam açısai momentumun, izdüşümlerinin rastgele çiftlenmesi yaklaşıklığı kullanılırsa, çift bileşenli bir fermiyon sisteminin, Fermi gaz seviye yoğunluğu aşağıdaki eşitlik ile elde edilir (Bethe, 1937, Ericson, 1960).

$$\rho_F(E, J, \Pi) = \frac{1}{2} \frac{2J+1}{2\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp\left[-\frac{(J+\frac{1}{2})^2}{2\sigma^2}\right] \frac{\sqrt{\pi} \exp[2\sqrt{aU}]}{12 a^{1/4} U^{5/4}} \quad (2.4)$$

Burada; J çekirdeğin spini, π ise paritesi, $\frac{1}{2}$ katsayısı ise; pozitif ve negatif parite dağılımlarının eşit kabul edilmesi yaklaşıımından gelir. σ^2 spin eşik parametresidir ve enerjiye bağlıdır.

2.5.2. a Seviye Yoğunluğu Parametresi

İlk seviye yoğunluğu çalışmaları a parametresini, enerjiden bağımsız kabul etmiştir. Daha sonra Ignatyuk vd., (1993) tarafından a parametresi ile kütle formülünün sıvı-damla bileşenindeki kabuk düzeltmesi arasında bir ilişki olduğu öne sürülmüştür. Daha gerçeği bir seviye yoğunluğu için genel hatlarıyla Fermi gaz formüllerinden yapılan yaklaşımların, hala geçerli olduğunu fakat enerjiye bağlı kabuk etkilerinin, a için enerjiye bağlı bir ifadeye doğrudan dahil edilmesi gerektiği öne sürülmüştür. Bu yaklaşıım fenomenolojik olarak düşük enerjilerde kabuk etkilerinin varlığını hesaba katarken yüksek enerjilerde yok olması gerekliliğinde uyum sağlar (Ignatyuk vd., 1975). Bu etkileri içeren seviye yoğunluğu parametresi aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$a = a(E_x) = \tilde{a} \left(1 + \delta W \frac{1 - \exp[-\gamma U]}{U}\right) \quad (2.5)$$

Burada; \tilde{a} , asimtotik seviye yoğunluğu parametresidir ve tüm kabuk etkileri yok olduğuında elde edilir.

Genel olarak, $\tilde{a} = a(E_x) \rightarrow \infty$ ve ayrıca tüm enerjiler için $\delta W = 0$ olursa $\tilde{a} = a(E_x)$ elde edilir. Son olarak, δW kabuk düzeltme enerjisidir. Çekirdeğin deneysel olarak ölçülen kütlesi M_{DEN} ile küresel sıvı-damla modelinden elde edilen kütlesi M_{LDM} (her ikisi de MeV cinsinden) arasındaki fark olarak tanımlanır. ($\delta W = M_{DEN} - M_{LDM}$) \tilde{a} asimtotik değeri, düzgün değişen bir fonksiyon olarak aşağıdaki eşitlik ile verilir:

$$\tilde{a} = \alpha A + \beta A^{2/3} \quad (2.6)$$

Sönüm parametresi için ise aşağıdaki sistematik formül kullanılır:

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{A^{1/3}} \quad (2.7)$$

(2.6) ve (2.7) eşitliklerinde A kütle numarasıdır. α , β ve γ_0 genel parametrelerdir.

2.5.3. σ^2 Spin Eşik Parametresi

Spin eşik parametresi σ^2 , seviye yoğunluğunun açısal momentum dağılımının genişliğine karşılık gelir. Süreklilik için genel ifadesi, çekirdeğin sahip olduğu fakat tekil nükleonları uyarmak için kullanamadığı kolektif rotasyonel enerjinin gözlenmesine dayanır (Goriely, 1996).

Fermi gaz spin eşik parametresi aşağıdaki eşitlik ile verilir (Goriely, 1996; Hilaire vd., 2006).

$$\sigma_F^2(E_x) = 0.01389 \frac{A^{5/3}}{\tilde{a}} \sqrt{aU} \quad (2.8)$$

2.6. Seviye Yoğunluğu Modelleri

Nükleer fizikteki önemlerinden dolayı enerji seviye yoğunluğunu açıklamak için günümüze kadar pek çok teorik çalışmalar yapılmış ve modeller geliştirilmiştir. Bu doktora tezinde kullanılan modeller kısaca şöyle açıklanabilir:

2.6.1. Birleşik Gilbert-Cameron Modeli (CTM)

Gilbert ve Cameron tarafından oluşturulan sabit sıcaklık modeli olarak bilinen ve sabit sıcaklık kuralının geçerli olduğu bu model iki kısımda geçerlilik gösterir. Birinci kısım 0 MeV'den bir eşleşme enerjisine kadar bir düşük enerji bölgesi, ikinci kısım ise; Fermi gaz modelinin geçerli olduğu bir yüksek enerji bölgesidir (Gilbert, 1965).

Bu modelde toplam seviye yoğunluğu için aşağıdaki eşitlik ile ortaya konmuştur.

$$\rho_{CTM}^{top}(E_X) = \begin{cases} \rho_T^{top}(E_X) & E_X > E_M \\ \rho_F^{top}(E_X) & E_X \leq E_M \end{cases} \quad (2.9)$$

Seviye yoğunluğu ise aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır:

$$\rho_{CTM}(E_X, J, \Pi) = \begin{cases} \frac{1}{2} R_F(E_X, J) \rho_T^{top}(E_X) & E_X \leq E_M \\ \rho_F^{top}(E_X, J, \Pi) & E_X > E_M \end{cases} \quad (2.10)$$

Eşitlik (2.10)'da spin dağılımının sabit sıcaklık bölgesi için, tanımlı olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

Fermi gaz seviye yoğunluğu için etkin uyarılma enerjisi olarak $U = E_X - \Delta^{CTM}$ ifadesi kullanılır. Enerji kayması için ise, aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$\Delta^{CTM} = \chi \frac{12}{\sqrt{A}} \quad (2.11)$$

χ , burada;

$$\chi = \begin{cases} -1, tek - tek \\ 0, tek - çift \\ 2, çift - çift \end{cases}$$

Düşük uyarılma enerjileri için sabit sıcaklık modeli (CTM), eksponansiyel bir ifade yardımıyla ilk ayırık seviyelerin doğrulanabildiği deneysel kanıtına dayanır ve aşağıdaki eşitlik olarak verilen bu ifade sabit sıcaklık kanunu olarak bilinir.

$$N(E_x) = \exp\left(\frac{E_x - E_0}{T}\right) \quad (2.12)$$

Bu sabit sıcaklık kanunu olarak bilinen ifade de; T ve E_0 nükleer sıcaklık parametreleri farklı deneyimsel seviyelerin formülünü ayarlama yardımcı olmaktadır. Buradan toplam seviye yoğunluğu için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\rho^{tot}(E_x) = \frac{dN(E_x)}{d(E_x)} = \frac{1}{T} \exp\left(\frac{E_x - E_0}{T}\right) \quad (2.13)$$

Fermi gaz modeli yüksek enerjilerde ayırık seviyelerle daha uyumlu olduğundan (2.13) eşitliği tercih edilir. Bu eşitlikte ρ_F^{tot} , ρ_T^{tot} , E_M gibi bir eşleşme enerjisinde hem kendileri hemde türevleri eşit olacak şekilde eşleştirilmelidir. Sonuçta aşağıdaki (2.15) ve (2.18) eşitlikleri elde edilir

$$\rho_T^{tot}(E_M) = \rho_F^{tot}(E_M) \quad (2.14)$$

Bu eşitliğin direkt olarak yönlendirildiği durum aşağıdaki eşitlik ile verilir

$$E_0 = (E_M) - T \ln[T \rho_F^{tot}(E_M)] \quad (2.15)$$

İkinci ifade;

$$\frac{d\rho_F^{tot}}{dE_x}(E_M) = \frac{d\rho_T^{tot}}{dE_x}(E_M) \quad (2.16)$$

farklılıkların sürekliliğinden bahseder.

$$\frac{d\rho_T^{tot}(E_M)}{T} = \frac{d\rho_F^{tot}(E_M)}{dE_X} (E_M) \quad (2.17)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{d \ln \rho_F^{tot}(E_M)}{dE_X} (E_M) \quad (2.18)$$

Bu ilkede tüm Fermi gaz tipi ifadeler a , σ^2 , K_{rot} vb. eşitliklerin analitik olarak üzerinde durulabilir fakat pratikte, eşleştirme probleminde kullanılmış olan her seviye yoğunluğu modeline izin vermek için numaralandırılmış bir yaklaşım kullanılmıştır.

Bunun için yeterli seviye sistemi üzerinde hesaplanmış ρ_T^{tot} sıralı tersi bir sıcaklığa karar verilmiştir. Eşleştirme problemi bize (2.16) ve (2.19) daki eşitlikler tarafından verilen üç bilinmeyenli: T , E_0 ve E_M iki durumu verir. Bundan dolayı, diğer sınırlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum farklı seviye bölgelerinde sabit sıcaklık kanunu deneysel farklı seviyelerinin yeniden üretilmesini sağlar. Örneğin; ρ_T^{tot} 'nin ispat edilmeye ihtiyacı vardır.

$$N_U = N_L + \int_{E_L}^{E_U} [dE_X \rho_T^{tot}(E_X)] \quad (2.19)$$

ya da, sonrasında

$$N_U = N_L + \left(\exp\left[\frac{E_U}{T}\right] - \exp\left[\frac{E_L}{T}\right] \right) \exp\left[-\frac{E_0}{T}\right] \quad (2.20)$$

Eşitlik (2.15), (2.18) ve (2.20) kullanılarak T , E_0 ve E_M belirlenir. Eşitlik (2.15) eşitlik (2.20)'de yerine yazılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$T\rho_F^{tot}(E_M) \exp\left[-\frac{E_M}{T}\right] \left(\exp\left[\frac{E_U}{T}\right] - \exp\left[\frac{E_L}{T}\right] \right) + N_L - N_U = 0 \quad (2.21)$$

Eşitlik (2.20) tarafından verilen tablolatırılmış değerlerin eş zamanlı kullanımı ile tekrarlayan prosedür tarafından E_M çözülebilir. N_U ve N_L seviyeleri nükleer veritabanı yapısında depo edilen ve farklı şartların gözleendiği $\rho_T (E_x)$ gibi verilen en iyi tanım seçilmiştir. Efektif model ve kolektif model için, sırasıyla aşağıdaki eşitlikler verilir.

$$T = -0.22 + \frac{9.4}{\sqrt{A(1 + \gamma\delta W)}} \quad (2.22)$$

$$T = -0.25 + \frac{10.2}{\sqrt{A(1 + \gamma\delta W)}} \quad (2.23)$$

Direkt olarak E_M , (2.19)'da ki eşitliklerden elde edilir. (2.23)'de ki eşitlik tekrar var olan farklı seviye bilgilerinin olduğu nüklitlerin tüm bireysel değerler tarafından elde edilmiştir. Bazı durumlarda açık kapalı büyüklük olan E_M için T'ye verilen değerdeki küresel ifadedir. Bu durumda efektif model için eşleştirme enerjisinde ampirik ifadelere başvurulur (Koning vd., 2009). Efektif model için ve kolektif model için sırasıyla aşağıdaki eşitlikler verilmiştir.

$$E_M = 2.33 + \frac{253}{A} + \Delta^{CTM} \quad (2.24)$$

$$E_M = 2.67 + \frac{253}{A} + \Delta^{CTM} \quad (2.25)$$

2.6.2. Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM)

Geri-kaydırılmış Fermi gaz modelinde (BSFGM, Back-Shifted Fermi Gas Model), ayarlanabilir bir parametre olarak, çiftlenme enerjisi geçerli olur (Dilg vd., 1973). Seviye yoğunluğunu tanımlayabilmek için Fermi gaz ifadesi tüm enerjilerde kullanılır. Toplam seviye yoğunluğu aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$\rho_F^{tot}(E_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp[2\sqrt{aU}]}{a^{1/4}U^{5/4}} \quad (2.26)$$

Geri kaydırılmış fermi gaz modelinde, seviye yoğunluğu; aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir

$$\rho_F(E_x, J, \Pi) = \frac{1}{2} \frac{2J+1}{2\sqrt{2\pi\sigma^3}} \exp\left[-\frac{\left(J+\frac{1}{2}\right)^2}{2\sigma^2}\right] \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp[2\sqrt{aU}]}{a^{1/4}U^{5/4}} \quad (2.27)$$

Böylece, toplam seviye yoğunluğu için yukarıdaki eşitlikler kullanılır. Bunun yanı sıra bu ifadeler a ve σ^2 gibi parametreleri ile birlikte enerji bağımlı olmalarının yanında, etkin uyarılma enerjisi ve efektif uyarılma enerjileri $U = E_x - \Delta^{BSFGM}$ tanımını da içerir. Buradaki enerji kayması aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$\Delta^{BSFGM} = \chi \frac{12}{\sqrt{A}} + \delta \quad (2.28)$$

Enerji kayması ifadesindeki δ parametresi, her çekirdek için deneysel verilere göre ayarlanabilen bir parametredir (Grossjean vd., 1985).

χ , burada; tek- çift çekirdekler için aşağıdaki şekliyle verilir.

$$\chi = \begin{cases} -1, tek - tek \\ 0, tek - çift \\ 1, çift - çift \end{cases}$$

Geri-kaydırılmış Fermi gaz modelinin temel halinde çıkan bir problem, modelin kullanılmasını engel olmuştur. Grossjean vd., (1985) tarafından bu problemin çözümü sağlanmıştır. TALYS'de kabul edilen Demetriou vd., (2001) tarafından

pratik forma konmuştur. Buradan yola çıkarak Geri-kaydırılmış Fermi gaz modelinde (BSFGM) toplam seviye yoğunluğu için aşağıdaki eşitlik verilir.

$$\rho_{BSFGM}^{top}(E_X) = \left[\frac{1}{\rho_F^{top}(E_X)} + \frac{1}{\rho_0 E_X} \right]^{-1} \quad (2.29)$$

2.6.3. Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM)

Genelleştirilmiş süperakışkan modeli (GSM, Generalized Superfluid Model), süperiletken çiftlenme ilişkisini Bardeen-Cooper-Schrieffer teorisine göre hesaba katar. Modelin fenomenolojik hali çiftlenme etkilerinin seviye yoğunluğu üzerinde kuvvetli etkisi olduğu, düşük enerjideki süperakışkan davranışından, BSFGM ile tanımlanan yüksek enerji bölgesine bir faz geçişi ile karakterize edilir (Ignatyuk vd., 1979; Ignatyuk vd., 1993). Böylece; GSM, bir alçak enerji ve yüksek enerji bölgesi ayrımı yapmakla CTM ile benzerlik göstermekte ise de GSM' nin ayrımı teoriden gelmekte ve CTM'de olduğu gibi spesifik ayırık seviyelerden bir eşleşme enerjisi bulmayı gerektirmez. Bunun yerine model düşük enerjilerde kendiliğinden sabit sıcaklık benzeri bir davranış sergiler.

GSM için bir U_c kritik enerjisinin altında ve üstünde tanımlar farklıdır. U_c ' nin altındaki enerjiler için, seviye yoğunluğu, U_c ' de tanımlı termodinamik fonksiyonlar aşağıdaki eşitlik ile elde edilir.

$$U_c = a_c T_c^2 + E_{yog} \quad (2.30)$$

Burada kritik sıcaklık T_c ile verilir.

$$T_c = 0.567 \Delta_0 \quad (2.31)$$

Bu formülde Δ_0 eşleştirilmiş korelasyon fonksiyonu olarak verilmiştir

$$\Delta_0 = \frac{12}{\sqrt{A}} \quad (2.32)$$

Bu korelasyon (ilişki) fonksiyonu, süperakışkan fazının Fermi gaz fazına göre azalışını karakterize eden yoğunlaşma enerjisi E_{yog} değerini belirler ve aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$E_{yog} = \frac{3}{2\pi^2} a_c \Delta_0^2 \quad (2.33)$$

Kritik seviye yoğunluğu parametresi; a_c aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$a_c = \tilde{a} \left[\delta W \frac{1 - \exp(-\gamma a_c T_c^2)}{a_c T_c^2} \right] \quad (2.34)$$

Kritik seviye yoğunluğu parametresi a_c ; \tilde{a} , δW ve γ değerlerinin bilinmesi ile kolayca elde edilir. Eşitlik (2.35) kabuk etkilerinin yeniden uygun olarak hesabın içerisine alındığını gösterir. Seviye yoğunluğunu belirlemek için aynı zamanda kritik entropi S_c olarak adlandırılır ve aşağıdaki eşitlik ile verilir

$$S_c = 2a_c T_c \quad (2.35)$$

Kritik spin eşik (cut-off) parametresi σ^2 ve kritik determinant parametresi D_c ; sırasıyla (2.36),(2.37) eşitlikleri ile verilir.

$$D_c = \frac{144}{\pi} a_c^3 T_c^5 \quad (2.36)$$

$$\sigma_c^2 = 0.01389 A^{5/3} \frac{a_c}{\tilde{a}} T_c \quad (2.37)$$

Artık her şeyi belirtilen U_c , etkin uyarılma enerjisini tanımlamak için, U_c seviye yoğunluğunun aşağısındaki süperakışkan hal için verilen eşitliği kullanılabilir. Burada; etkin uyarılma enerjisi, aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$U' = E_x + \chi\Delta_0 + \delta \quad (2.38)$$

$$\chi = \begin{cases} 2, \text{tek} - \text{tek} \\ 1, \text{tek} - \text{çift} \\ 0, \text{çift} - \text{çift} \end{cases}$$

δ ayarlanabilir kayma parametresidir.

$$\varphi^2 = 1 - \frac{U'}{U_c} \quad (2.39)$$

tanımı yapılırsa $U' \leq U_c$ için φ ve T

$$\varphi = \tanh\left(\frac{T_c}{T} \varphi\right) \quad (2.40)$$

süperakışkan durum eşitliğini sağlar (Ignatyuk vd., 1979).

Eş değer olarak; $U' \leq U_c$ için diğer gerekli fonksiyonlar entropi S ve spin eşik parametresi σ^2 aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$S = S_c \frac{T_c}{T} (1 - \varphi^2) = S_c \frac{T_c}{T} \frac{U'}{U_c} \quad (2.41)$$

D determinantının belirlenmesi:

$$D = D_c (1 - \varphi^2)(1 + \varphi^2)^2 = D_c \frac{U'}{U_c} \left(2 - \frac{U'}{U_c}\right)^2 \quad (2.42)$$

ve spin eşik (cut-off) parametresi

$$\sigma^2 = \sigma_c^2 (1 - \phi^2) = \sigma_c^2 \frac{U'}{U_c} \quad (2.43)$$

özetle seviye yoğunluğu bütün enerji aralığı için tanımlanabilir. $U' \leq U_c$ için toplam seviye yoğunluğu;

$$\rho_{GSM}^{tot}(E_X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \frac{e^S}{\sqrt{D}} \quad (2.44)$$

ile verilir. Benzer olarak seviye yoğunluğu aşağıda verilmiştir.

$$\rho_{GSM}(E_X, J, \Pi) = \frac{1}{2} R_F(E_X, J) \rho_{GSM}^{tot}(E_X) \quad (2.45)$$

$U' > U_c$ için, enerji kayması CTM ve BFM'deki çiftlenme düzeltmesinden farklı olmak üzere, Fermi gaz modelinin ifadeleri geçerlidir. Etkin uyarılma enerjisi aşağıdaki eşitlik ile verilir. Burada enerji kayması, $\Delta^{GSM} = E_{yog} - \chi\Delta_0 - \delta$ ile verilir.

$$U = E_X - \Delta^{GSM} \quad (2.46)$$

Toplam seviye yoğunluğu için aşağıdaki eşitlikler geçerli olacaktır.

$$\rho_{GSM}^{tot}(E_X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \frac{\sqrt{\pi} \exp[2\sqrt{aU}]}{12a^{1/4}U^{5/4}} \quad (2.47)$$

yüksek enerji bölgesindeki spin eşik (cut-off) parametresi okunur:

$$\sigma^2 = I_0 \frac{a}{\tilde{a}} \sqrt{\frac{U}{a}} \quad (2.48)$$

ve toplam seviye yoğunluğu aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$\rho_{GSM}(E_X, J, \Pi) = \frac{1}{2} R_F(E_X, J) \rho_{GSM}^{tot}(E_X) \quad (2.49)$$

Enerji eşleştirilmesinde, $E_X = U_C - \chi\Delta_0 - \delta$ için (2.46) ve (2.49) eşitliklerinin eşleştirilmesi gerçekleştirilir. Böylece toplam seviye yoğunluğu muhtemelen süreklidir. GSM için özetle a ve δ olmak üzere iki tane ayarlanabilir parametre vardır (Koning vd., 2009).

2.7. Gama Işınlarnın Yüksek Enerjili Durumları

Uyarılma enerjileri yüksek olan nötronlar ile birlikte hareket eden gama ışınlarının Dev Dipol Rezonans ve Cüce Dipol Rezonans durumları incelenebilir. Yüksek enerjili olan bu durumdaki gama ışınları ($E_\gamma > 8$ MeV) çekirdeğin yapısı ve nükleer bozulmalar hakkında önemli bilgiler verirler.

2.7.1 Dev Dipol Rezonans (GDR)

Dev Dipol rezonanslar, çekirdekte oluşan çok düşük dalga boyundaki titreşimleridir (Greiner vd., 1996; Brink 1999, 2008; Bracco 2001; Ring vd., 1980; Gossett 1988; Goldhaber vd., 1948; Mattiuzii vd., 1995; Chamos 1997; Kwatsu vd., 2003; Zardi vd., 1986). Çekirdekteki nükleonların zıt fazlı titreşimleri, “izovektör rezonanslar”, eş fazlı titreşimleri, “izoskaler rezonanslar” olarak bilinir.

Dev dipol rezonans ilk olarak, ortalama 15 MeV’lik foton enerjisi civarında, çekirdeğin tesir kesitinde keskin bir artışı gözlenmesi ile, 1947’de Klaiber ve Baldwin tarafından bulunmuştur (Baldwin vd., 1947). Çekirdek üzerine gönderilen elektromanyetik gama ışınlarının çekirdek etrafında oluşturduğu elektrik alan, protonların çekirdekte salınmasına neden olur. Dev dipol rezonans uyarılması, tüm

çekirdeklerde var olan bir özelliktir. Rezonansın grafiği, Şekil (2.6)'de verilmek üzere bir Lorentz dağılımı ile tanımlanabilir (Berman vd., 1975).

$$\sigma(E) = \frac{\sigma_m}{1 + [(E^2 - E_m^2)^2 / E^2 \Gamma^2]} \quad (2.50)$$

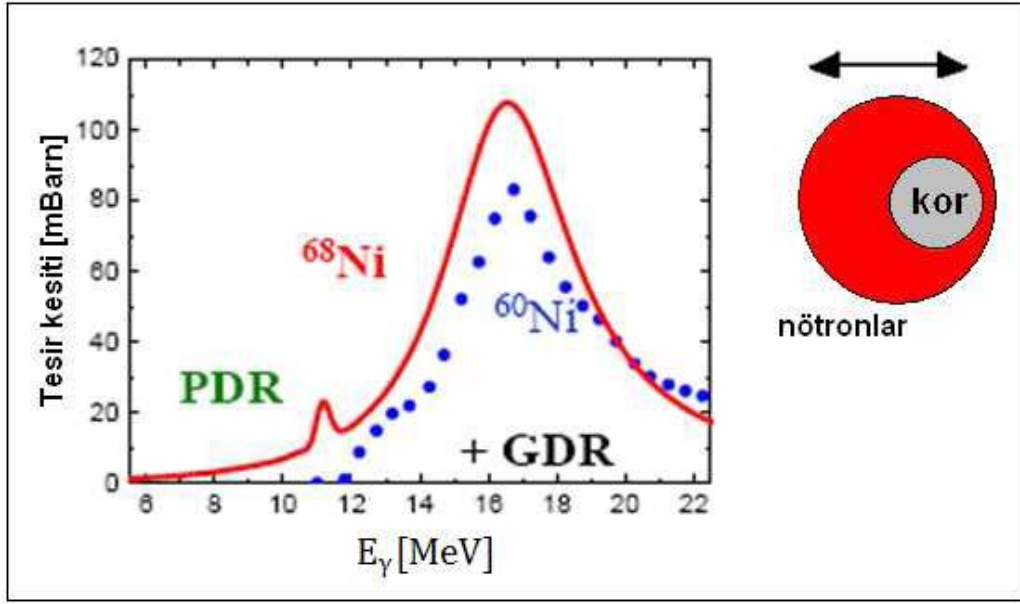
Eşitlik (2.50)'de E_m , σ_m ve Γ sırasıyla, rezonans enerjisi, pik tesir kesiti ve yarı genişlikte yarı maksimum (FWHM)'dir. Bu değerler, çekirdeklerin kütle numaraları ile değişiklik gösterirler.

$$E_m = 31.2A^{-1/3} + 20.6A^{-1.6} \text{ MeV} \quad (2.51)$$

Dev dipol rezonans enerjisi, (2.51) ile hesaplanabilir ve formülden anlaşıldığı gibi, düşük kütle numaralı çekirdekler için daha yüksek değer alır. Sihirli çekirdekler, rezonans genişlikleri en dar olan çekirdeklerdir. Bu rezonansların genişlikleri, 4 ile 7 MeV arasında değişir

2.7.2 Cüce Dipol Rezonans (Pygmy Dipol Resonance)

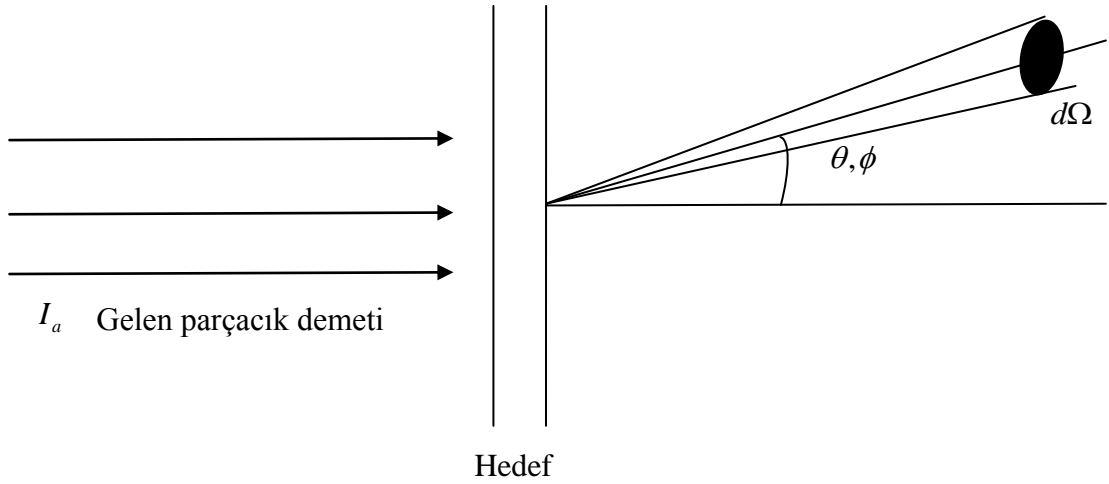
Nötron bakımından zengin çekirdeklerin araştırılmasıyla, Dev dipol rezonans tümseğinin düşük enerjili kısmında, Cüce dipol rezonans olarak isimlendirilen yeni bir durum ortaya çıkmıştır. (Avdeenkov vd., 2009; Paar vd., 2005; Tsoneva vd., 2007; Bracco vd., 2009). Cüce dipol rezonans durumlarının yapıları tam olarak anlaşılmamış olmakla beraber, elektrik ve manyetik dipol yapılarına benzerdirler. Bazı çekirdeklerin incelenmesi sonucunda, Cüce dipol rezonans piklerinin, çekirdeğin N/Z oranı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Cüce dipol rezonans durumlarında oluşan pikler, Dev dipol rezonans durumlarına nazaran küçüktürler. Bu yüzden, bu tip rezonans durumlarına cüce ismi verilir. Aynı zamanda genişliklerinin de Dev dipol rezonans durumlarına göre daha az olduğu Şekil 2.6'da görülebilir.



Şekil 2.6. Dev dipol rezonans ve Cüce dipol rezonans pikleri (Wieland vd., 2009)

2.8. Tesir Kesiti

Tesir kesiti, bir reaksiyonun oluşma ihtimalinin ölçüsüdür. Bu ihtimal, çekirdek ve gelen parçacık özellikleri ile onların enerjilerine bağlıdır. Gelen parçacık demeti ile çekirdek reaksiyonunun bağıl olasılığı nükleer tesir kesiti olarak adlandırılır.



Şekil 2.7. Gelen demet, hedef ve θ, ϕ deki $d\Omega$ katı açısı içinde saçılan demet gösteren reaksiyon geometrisi (Krane, 2002)

Eğer demet doğrultusuna göre θ, ϕ doğrultusunda yayınlanan b parçacığını kaydetmek için bir dedektör yerleştirirsek, dedektör hedef çekirdekte küçük bir $d\Omega$ katı açısı tanımlar (Şekil 2.7). Birim zamanda gelen parçacıkların akımı I_a olsun ve birim alandaki hedef çekirdek sayısını N ile gösterelim. Çıkan parçacıkların sayısı R_b ise, reaksiyon tesir kesiti,

$$\sigma = \frac{R_b}{I_a N} \quad (2.52)$$

şeklinde tanımlanır. Bu yolla tanımlanan σ , çekirdek başına alan boyutuna sahiptir. Ancak gelen demetin gördüğü alan, hedef çekirdeklerin kesitlerinin geometrik alanından daha büyük ya da daha küçük olabilir (Krane, 2002).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasına konu olan ^{233,234,235,236,237,238}U(γ ,f) reaksiyonlarının tesir kesitlerinin hesaplanması için TALYS 1.6 bilgisayar programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar EXFOR kütüphanesinden alınan deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma işlemi ise GRAPHER-8 grafik programı ile yapılmıştır.

Tezin amacına uygun olarak, ^{233,234,235,236,237,238}U(γ ,f) tesir kesitlerinin hesaplanmasında deneysel verilerle en iyi uyumu verecek seviye yoğunluk parametrelerinin belirlenmesi amacıyla TALYS 1.6 bilgisayar programının giriş dosyasında bazı değişiklikler yapılmıştır.

3.1. Kullanılan Materyaller

Bu doktora tezinde ^{233,234,235,236,237,238}U(γ ,f) reaksiyonları için TALYS 1.6 bilgisayar programı kullanılarak tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Bu bilgisayar programı aşağıda kısaca anlatılmıştır.

3.1.1. TALYS Bilgisayar Programı

TALYS bilgisayar programı, nükleer reaksiyonların simülasyonu için yazılmış bir paket programıdır. Bu programda kullanılan nükleer modeller tüm ana reaksiyon mekanizmaları kapsayacak şekilde düzenlenmiştir. Ayrıca; TALYS programı tüm reaksiyon kanallarının ve gözlenebilirlerin tam olarak belirlenmesini sağlar. Simülasyon reaksiyonlarda, nötron, proton, döteryum, trityum, ³He, α parçacıkları ve γ ışınımları ile 1 keV – 1000 MeV enerji bölgesinde çalışılabilir. Hedef çekirdek kütleleri için $5 < A \leq 339$ arasına geliştirilmiş olup nükleer reaksiyon modellerine bağlı nükleer hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. TALYS; seviye yoğunluğu modelleri, optik modeller, fisyon reaksiyon modelleri, direk reaksiyon modelleri,

bileşik çekirdek reaksiyon modelleri ve denge–öncesi reaksiyon modellerini nükleer reaksiyon tesir kesiti hesaplama işlemlerinde kullanılmaktadır.

TALYS'den elde edilen dosyalardan, esnek ve esnek olmayan toplam tesir kesiti, elastik saçılma açısal dağılımlar, kesikli seviyelerde açısal dağılımlar, izomerik 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 (Koning vd., 2013).

3.1.2. Girdi Veri Dosyası

TALYS 1.6 programı Linux ve benzeri tabanlı işletim sistemlerinde çalıştırılabilen bir programdır. TALYS 1.6 programından istenilen bir reaksiyonu gerçekleştirmek için input (parametrelerin bulunduğu dosya) ve enerji dosyası olmak üzere iki dosya oluşturulur. Bu dosyalar aynı dizin içerisinde bulunması gerekmektedir. Input dosyaları ve enerji dosyaları oluşturulduktan sonra TALYS 1.6 programında çalıştırılır. Bir enerji dosyası ve bir input dosyası o parametre için teorik fisyon tesir kesiti değeri verir. Tek bir çekirdek için enerji dosyaları aynıdır. Bu tezde 3 fisyon seviye yoğunluk modeli ve parametreleri kullanılmıştır.

3.1.3. Çıktı Veri Dosyası

TALYS 1.6 programında çalıştırılan dosyaların, her input dosyası için hesaplamaların sonuçları birkaç çıktı dosyasına yazılır. Bu dosyalar içinden “fission.tot” dosyasının içindeki enerji değerleri ve tesir kesiti değerleri kullanılan parametrenin teorik fisyon tesir kesiti değerleridir. Alınan bu değerler deneysel değerlerle karşılaştırılmak üzere grafik programında kullanılır.

3.1.4. Kullanılan Yöntemler

- 1) $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonlarının her birisi için en iyi seviye yoğunluk modeli belirlenmiştir.
- 2) Belirlenen en iyi seviye yoğunluk modeline ait seviye yoğunluk parametresi üzerinde değişiklik yapılarak deneysel verilerle en iyi uyumu sağlayacak parametre belirlenmiştir.
- 3) Her bir uranyum izotopu için belirlenen en iyi seviye yoğunluk parametrelerine ait tablo oluşturulmuştur.
- 4) Seviye yoğunluk parametrelerinin kütle numarasına bağlılığını görmek amacıyla $a - A$ grafiği çizildi. Böylece $a - A$ ilişkisini veren bir polinom tipi formül elde edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tezde, U izotopları için 20 MeV'e kadar fotofisyon $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonları incelenmiştir. Burada $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için TALYS 1.6 nükleer reaksiyon model kodu kullanılarak elde edilen tesir kesitleri, EXFOR kütüphanesinden alınan deneysel verilerle karşılaştırılmıştır (<http://www.nndc.bnl.gov/nndc/EXFOR/>). Tesir kesiti hesaplamalarına, varsayılan CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modelleri ile birlikte bu modellere dâhil olan seviye yoğunluk parametreleri ilave edilmiştir.

4.1. İstatistik Kriterler

Deneysel verilerle hesaplanan sonuçların karşılaştırılması için aşağıdaki sapma faktörleri verilmiştir (Levkovskij 1991; Wenrong 1993). Sapma faktörleri bu tezde hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerlerini, hem kendi içinde hem de deneysel reaksiyon tesir kesiti değerleri ile karşılaştırmada kullanılmıştır.

$$H = \left(\frac{1}{N} \sum_i^N \left(\frac{\sigma_i^{\text{deney}} - \sigma_i^{\text{hesap}}}{\Delta \sigma_i^{\text{deney}}} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (4.1)$$

$$R = \frac{1}{N} \sum_i^N \frac{\sigma_i^{\text{hesap}}}{\sigma_i^{\text{deney}}} \quad (4.2)$$

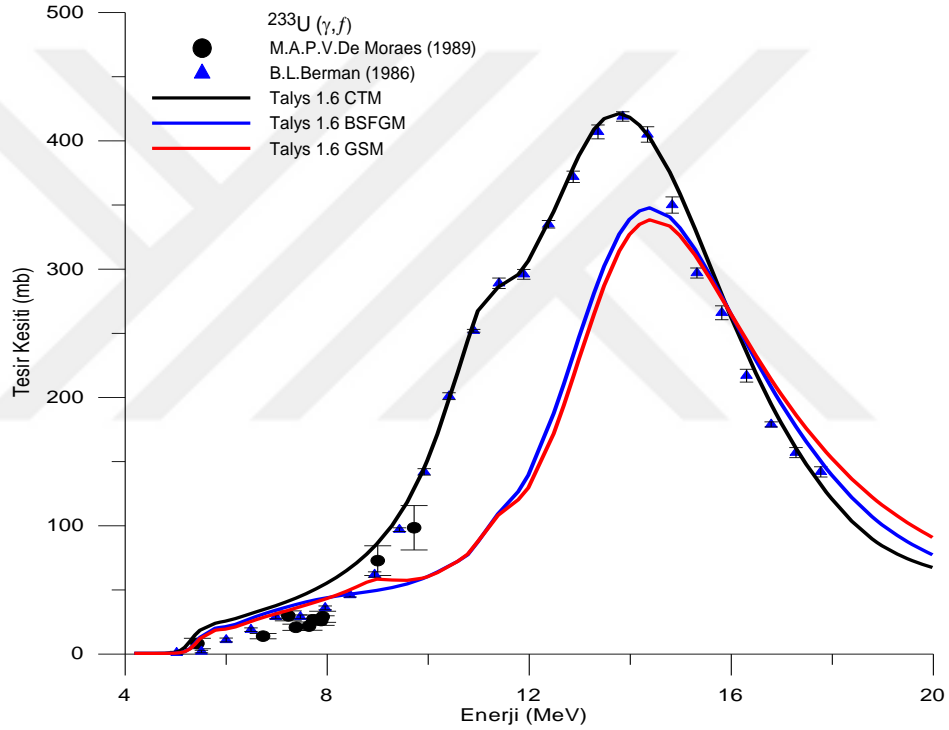
$$D = \frac{1}{N} \sum_i^N \left| \frac{\sigma_i^{\text{deney}} - \sigma_i^{\text{hesap}}}{\sigma_i^{\text{deney}}} \right| \quad (4.3)$$

Burada σ_i^{deney} ve $\Delta \sigma_i^{\text{deney}}$ deneysel tesir kesiti ve deneysel hata olarak verilir. Teorik olarak TALYS 1.6 ile hesaplanmış tesir kesiti ise; σ_i^{hesap} olarak verilir. N ise, deneysel noktaların sayısıdır.

4.2. Tesir Kesiti Hesaplamaları

4.2.1. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi

Bu bölümde; $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Reaksiyon tesir kesiti hesaplamalarda TALYS 1.6 bilgisayar programına ait olan CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modelleri kullanılmıştır. Elde edilen teorik nükleer model hesaplamaları, EXFOR Nükleer veri bankasından alınan deneysel veriler ile Şekil 4.1’de karşılaştırılmış ve analiz edilerek sonuçlara yer verilmiştir.



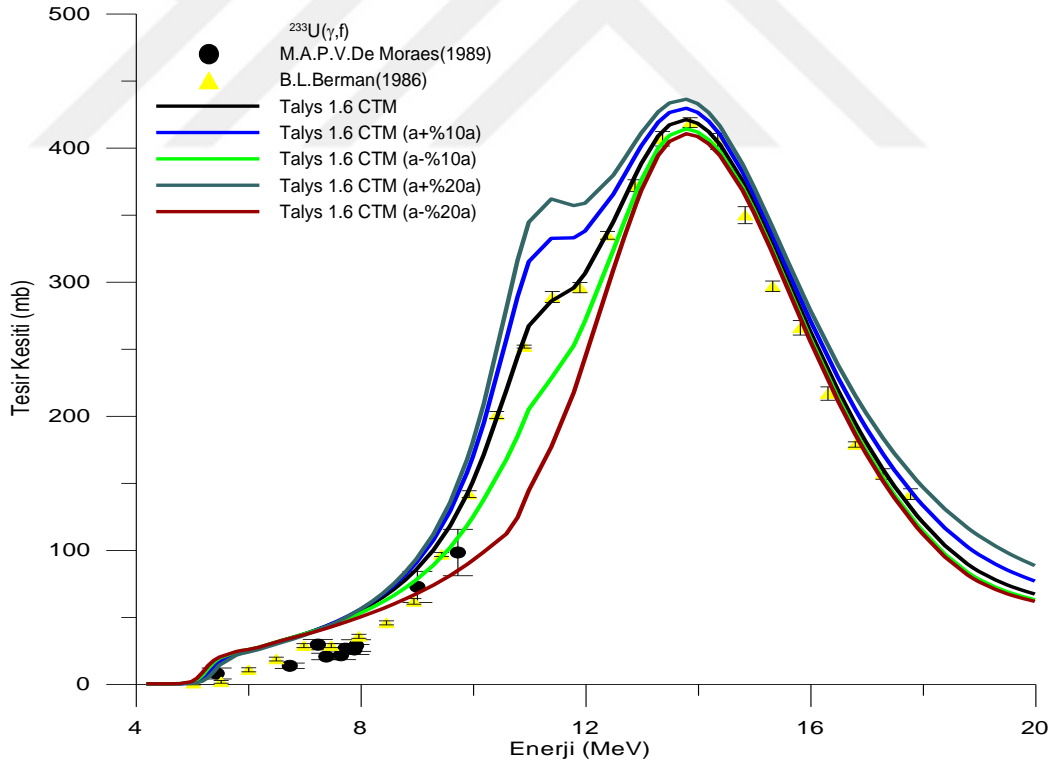
Şekil 4.1. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi

$^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitleri deneysel verilerle karşılaştırıldığında, TALYS 1.6 fisyon reaksiyon modellerinden BSGFM ve GSM ile yapılan reaksiyon tesir kesiti hesapları, birbirleri ile benzer durum sergilemektedir. Ancak, reaksiyon modellerinden CTM modeli ile yapılan tesir kesiti hesaplamaları diğer her iki modele bakarak deneysel reaksiyon tesir kesiti değerleri ile mükemmel bir uyum gösterdiği açıkça görülmektedir. CTM modeli ile yapılan hesaplamaların

deneysel verilerle uygunluğunun tespit edilmesiyle, bu modeline ait olan seviye yoğunluk parametresi üzerine yapılan çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

4.2.2. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi

Bu kısımda, CTM modeline ait seviye yoğunluk parametresi için deneysel verilere en iyi uyan a değerini tespit etmek amaçlanmıştır. Bunun için, TALYS 1.6 programında CTM modelinin ^{233}U için kabul ettiği seviye yoğunluğu parametresinin değeri %10 ve %20 oranlarında artırılıp azaltılmıştır. Seviye yoğunluğu parametresinin elde edilen yeni değerleri kullanılarak, TALYS 1.6 programı yeniden çalıştırılmıştır. Böylece her seviye yoğunluk parametresi kullanılarak elde edilen $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait tesir kesitleri birbirleriyle ve deneysel verilerle Şekil 4.2'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.2. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesir kesitlerine etkisi

Şekil 4.2 incelendiği zaman, ilk göze çarpan olay CTM modelinde varsayılan seviye yoğunluk parametresi a değerinin ($a_{\text{varsayılan}} = 15,9529$) en uygun değer olduğu görülmektedir. Böylece bu modelde geçerli olan ve deneysel tesir kesiti verilerine en yakın uyumu sağlayan seviye yoğunluk parametresi tespit edilmiştir. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için yapılan hesaplamalarda kullanılan seviye yoğunluğu parametreleri Çizelge 4.1’de verilmiş ve deneysel verilere en iyi uyumun sağlandığı seviye yoğunluğu parametresi ise Çizelge 4.1’de koyu olarak belirtilmiştir.

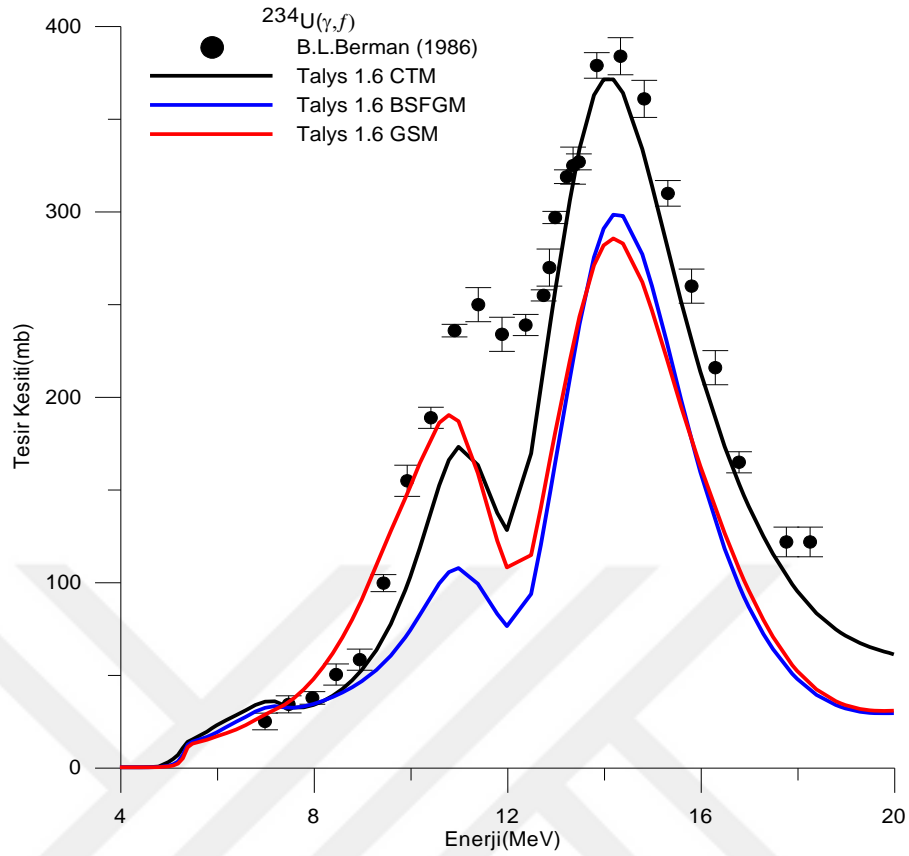
Çizelge 4.1. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri.

$^{233}\text{U}(\gamma, f)$	a varsayılan	$a + \%10 a$	$a - \%10 a$	$a + \%20 a$	$a - \%20 a$
CTM (Id1)	15,9529	17,5482	14,3576	19,1435	12,7623

4.2.3. $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi

Bu bölümde $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için TALYS 1.6 bilgisayar programı ile CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modelleri kullanılarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Teorik nükleer model hesaplamaları, EXFOR nükleer veri bankasından alınan deneysel veriler ile Şekil 4.3’de karşılaştırılmış ve analiz edilerek sonuçlara yer verilmiştir.

Şekil 4.3’de $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ fotofisyon reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitleri deneysel verilerle karşılaştırıldığında, TALYS 1.6 fisyon reaksiyon modellerinden CTM modeli ile yapılan tesir kesiti hesaplamaları diğer her iki modele bakarak deneysel reaksiyon tesir kesiti değerleri ile mükemmel bir uyum gösterdiği açıkça görülmektedir. Özellikle 14-18 MeV arasında diğer iki modele göre, çok iyi uyum sağlanmıştır. Bunun yanı sıra 12-16 MeV civarında yüksek enerjili bir tümsek oluşmuştur. Bu oluşum dev dipol rezonans olarak bilinir.



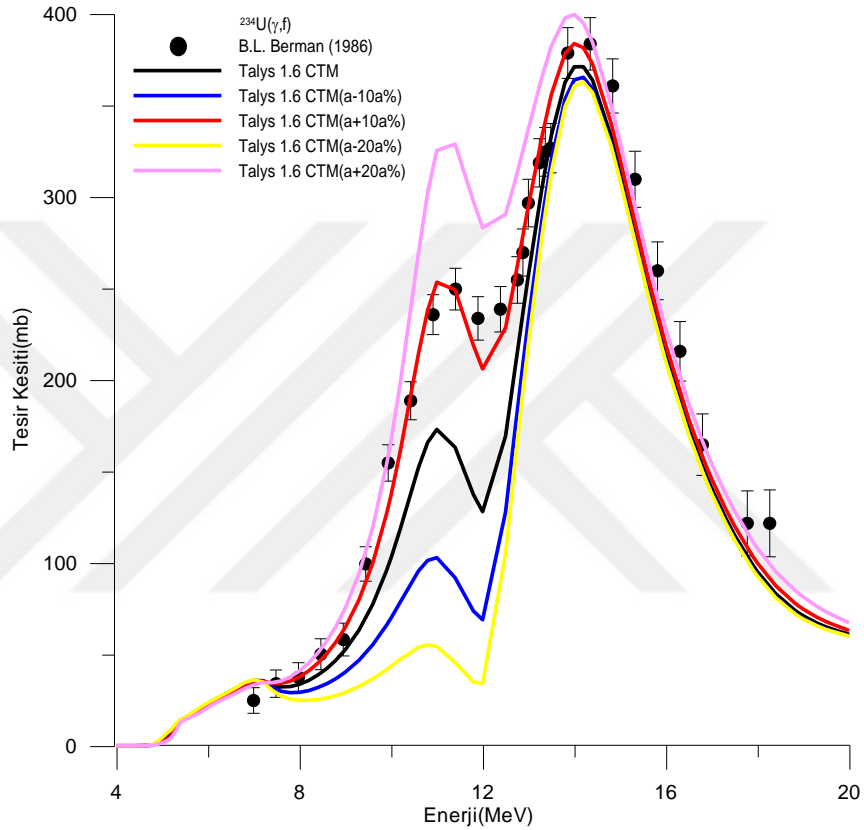
Şekil 4.3. $^{234}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesisir kesitlerine etkisi

Yukarda anlatıldığı gibi CTM model ile yapılan reaksiyon tesisir kesiti değerleri deneysel sonuçlarla en uygun olanıdır. Bundan sonra CTM modeline ait olan, varsayılan seviye yoğunluk parametresi üzerinde çalışmalar yapılmış ve tesisir kesitine etki eden en uygun parametre tespit edilmiştir.

4.2.4. $^{234}\text{U}(\gamma,f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi

Bu kısımda Şekil 4.3'den elde edilen sonuçlar ışığında; $^{234}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonunda TALYS 1.6 fisyon reaksiyon modellerinden biri olan, CTM modeli ile yapılan reaksiyon tesisir kesiti hesabı, deneysel reaksiyon tesisir kesiti hesaplamaları ile yaklaşık sonuçlar ortaya koymuştur. Bu yüzden CTM modeli örnek alınarak, bu modele ait

olan seviye yoğunluk parametresi üzerinde çalışmalar yapacağız. Bunun için bu modelde varsayılan seviye yoğunluğu parametresinin değeri %10 ve %20 oranlarında artırılıp azaltılmıştır. Seviye yoğunluğu parametresinin elde edilen yeni değerleri kullanılarak TALYS 1.6 programı ile hesaplamalar yapılmıştır. Böylece, her seviye yoğunluk parametresi kullanılarak elde edilen $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait tesir kesitleri hem kendi aralarında hem de deneysel verilerle Şekil 4.4’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.4 $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesir kesitlerine etkisi

Burada yapılan teorik hesaplamalar EXFOR nükleer veri bankasından alınan deneysel verilerle kıyaslandığı zaman, seviye yoğunluk parametresi a değerinin %10 artırılması ile ortaya çıkan sonuç, CTM modeline ait olan varsayılan seviye yoğunluk parametresi a değerine göre ve diğer hesaplanan a değerlerine nazaran çok iyidir. Böylelikle, Çizelge 4.2’de ki $a = 17,3469$ değeri CTM modelinde yerine yazılarak yapılan reaksiyon tesir kesiti değerleri, deneysel reaksiyon tesir kesiti değerleriyle

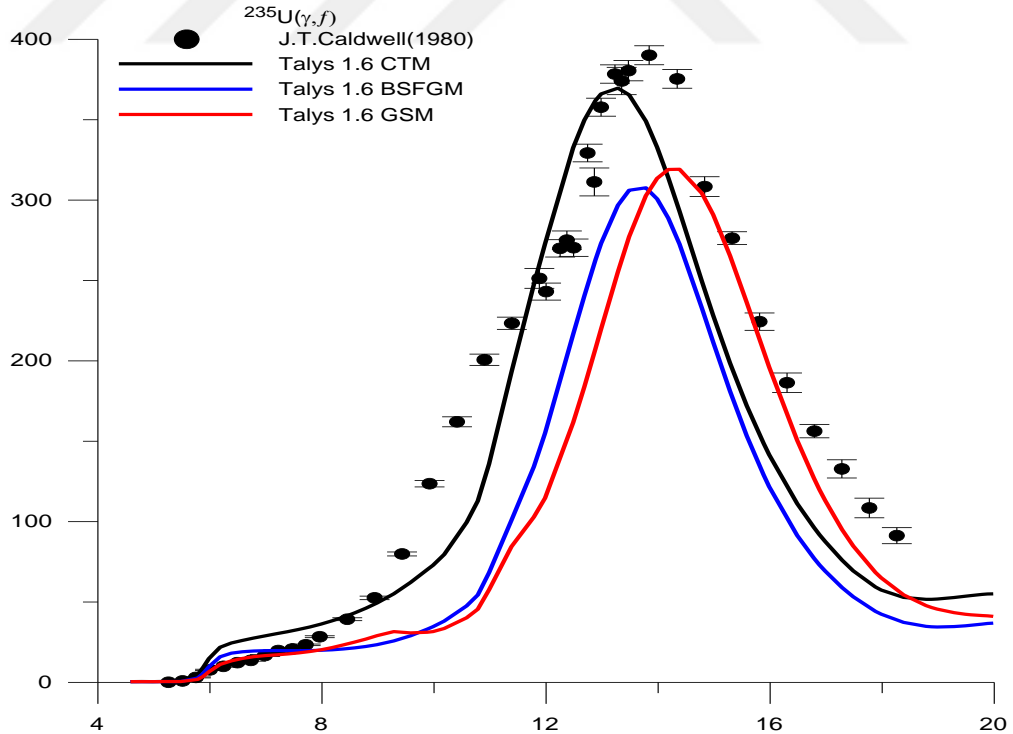
daha uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu değer Çizelge 4.2'de koyu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.2. $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri.

$^{234}\text{U}(\gamma, f)$	a varsayılan	$a + \%10 a$	$a - \%10 a$	$a + \%20 a$	$a - \%20 a$
CTM (Id1)	15,7699	17,3469	14,1929	18,9238	12,6159

4.2.5 . $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi

Buradaki çalışmada; $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için TALYS 1.6 bilgisayar program kodu ile CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modelleri kullanılarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Teorik nükleer model hesaplamaları, EXFOR nükleer veri bankasından alınan deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır.

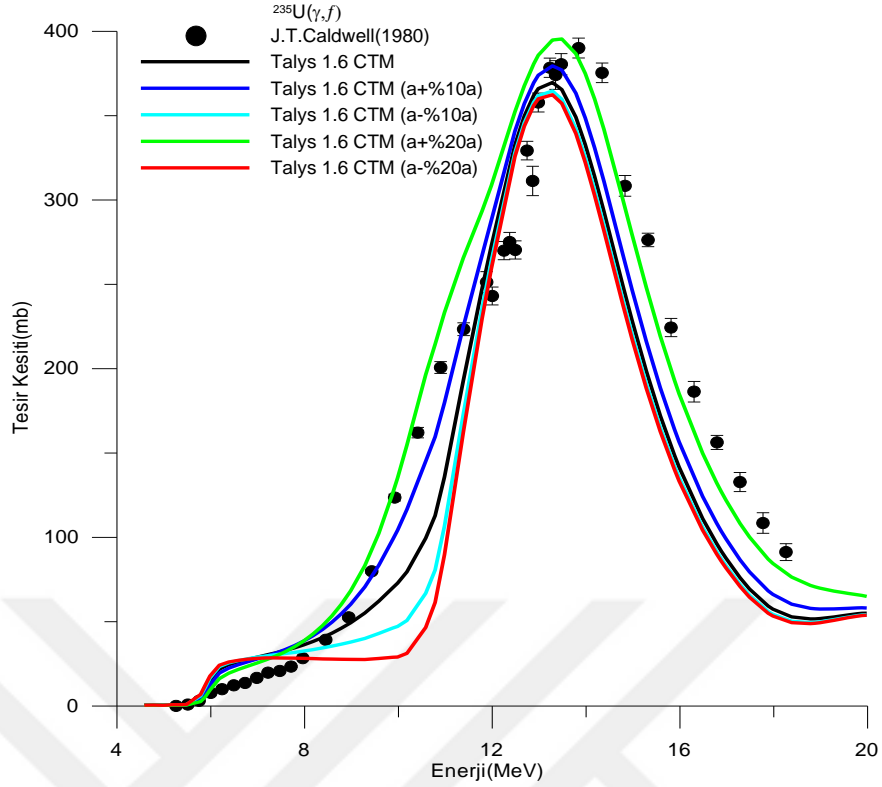


Şekil 4.5. $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi

Şekil 4.5’de görüldüğü üzere $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için, TALYS 1.6 bilgisayar program kodu ile her üç model kullanılarak reaksiyon tesir kesiti hesabı yapılmıştır. TALYS 1.6 fotofisyon reaksiyon modellerinden CTM modeli kullanılarak yapılan tesir kesiti hesaplamaları diğer her iki modele bakarak deneysel reaksiyon tesir kesiti değerleri ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. Özellikle, bu farkı (9-14) MeV enerji aralığında açık bir şekilde görmekteyiz. Bu tespitten sonra CTM modeline ait olan varsayılan seviye yoğunluk parametresi üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

4.2.6. $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi

Bu kısımda CTM modeline ait seviye yoğunluk parametresi için model hesaplamalarında kullanılacak en uygun seviye yoğunluk parametresinin tespiti yapılacaktır. Yapılan araştırmalar sonucunda; $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modele ait olan varsayılan a değeri ele alınarak reaksiyon tesir kesiti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Seviye yoğunluğu parametresi a değeri %10 ve %20 oranlarında artırılıp azaltılmıştır. Elde edilen yeni parametre değerleri CTM modelinde yerine yazılarak, TALYS 1.6 bilgisayar programı ile yeni hesaplamalar yapılmıştır. Her parametre için ortaya çıkan yeni reaksiyon tesir kesiti değerleri, kendi aralarında ve deneysel reaksiyon tesir kesitleriyle Şekil 4.6’da karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.6. $^{235}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesisir kesitlerine etkisi

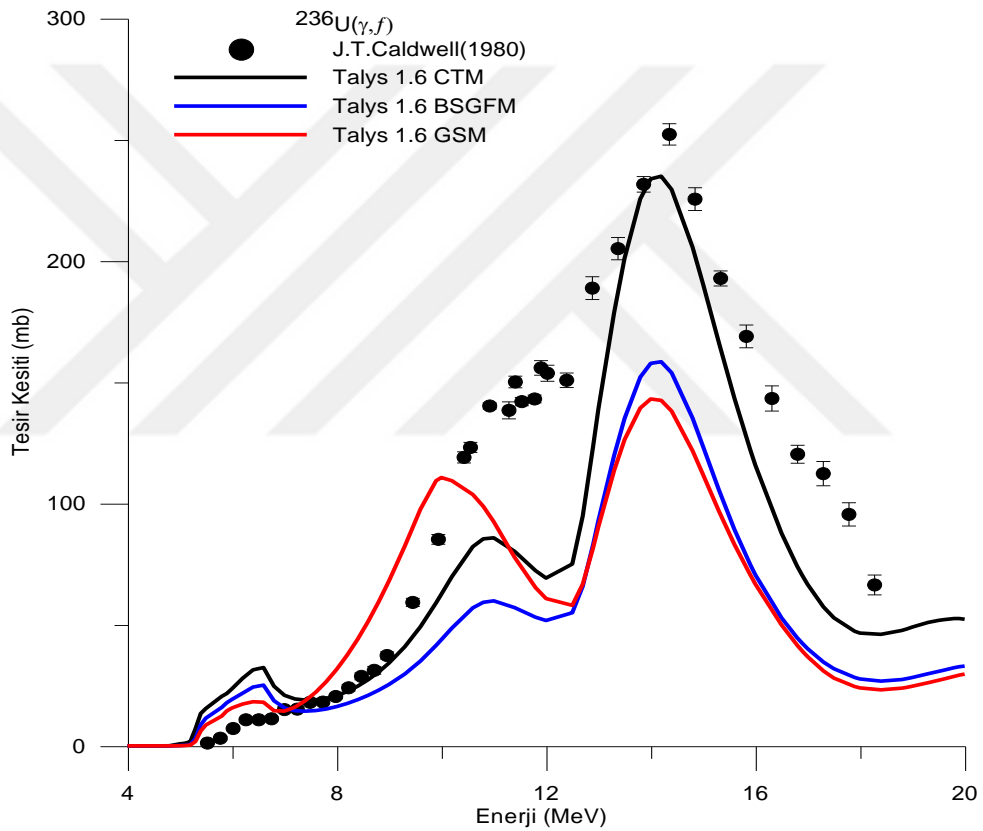
Şekil 4.6 incelendiği zaman; yeni elde edilen a seviye yoğunluk parametreleri değerleri kullanılarak hesaplanan reaksiyon tesisir kesitleri, deneysel sonuçlarla genel bir uyum içindedir. Ancak varsayılan a değerinin yüzde yirmi artırılmış haliyle elde edilen reaksiyon tesisir kesiti hesaplamaları deneysel sonuçlarla tüm enerji aralığında çok iyi bir uyum sağlamaktadır. Bu değer Çizelge 4.3'de koyu şekilde yazılmıştır. Tespit edilen seviye yoğunluk parametresi yapılacak olan çalışmalarda kullanılacaktır.

Çizelge 4.3. $^{235}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri.

$^{235}\text{U}(\gamma,f)$	a varsayılan	$a +\%10 a$	$a -\%10 a$	$a +\%20 a$	$a -\%20 a$
CTM (Id1)	15,81284	17,3941	14,2316	18,9754	12,6504

4.2.7. $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi

Bu bölümde, $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için TALYS 1.6 bilgisayar program kodu ile CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modelleri kullanılarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için yapılan teorik nükleer model hesaplamaları, EXFOR nükleer veri bankasından alınan deneysel veriler Şekil 4.7’de karşılaştırılmış ve sonuçlara yer verilmiştir.



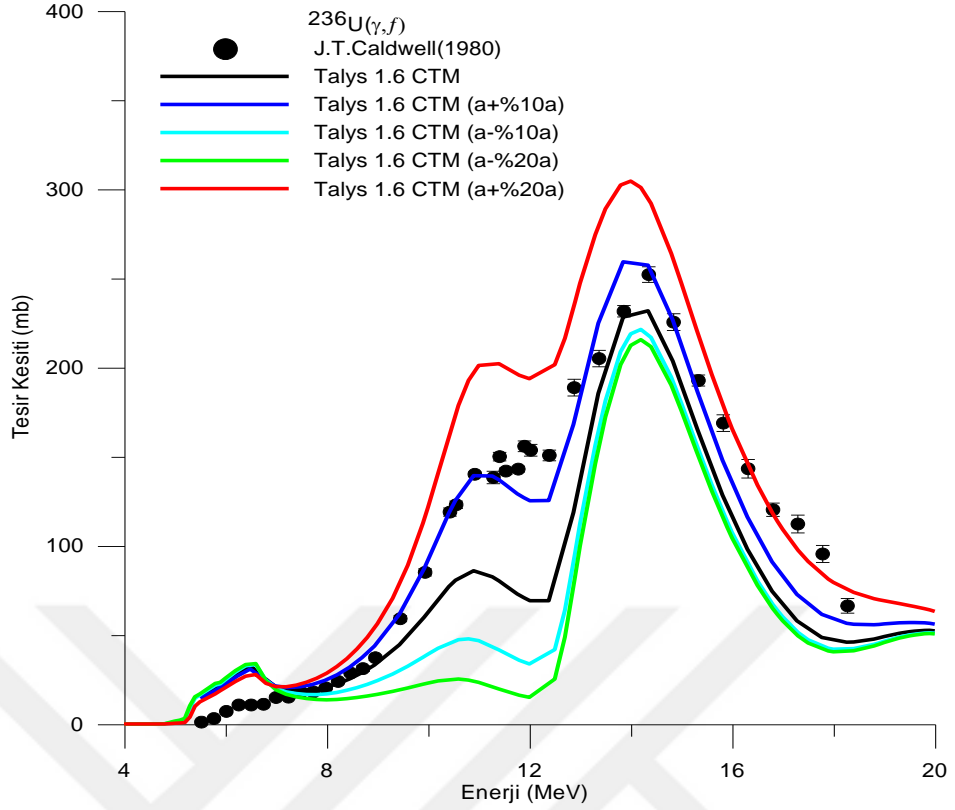
Şekil 4.7. $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi

Şekil 4.7’de $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için hesaplanan fisyon reaksiyonu tesir kesitleri deneysel verilerle karşılaştırıldığında, reaksiyon modellerinden BSGFM ve GSM hesaplamaları deneysel sonuçlardan oldukça uzaktır. CTM modeli ile yapılan tesir

kesiti hesaplamaları diğer her iki modele bakarak, deneysel reaksiyon tesir kesiti değerleri ile mükemmel bir uyum göstermektedir. Bu uyum, (5-9) MeV ile 14-18 MeV civarında açıkça görölmektedir. Ayrıca; Şekil 4.7'de dikkat çeken diğer bir olayda (7-10) MeV arası cüce dipol rezonans, (11-15) MeV arası ise dev dipol rezonans görölmektedir. CTM modeli ile yapılan hesaplamaların deneysel verilerle uygunluğunun tespit edilmesiyle, bu modeline ait olan seviye yoğunluk parametresi üzerine yapılan çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

4.2.8. $^{236}\text{U}(\gamma,f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi

Bu kısımda; TALYS 1.6 reaksiyon program kodu içinde yer alan, CTM modeline ait seviye yoğunluk parametresi için model hesaplamalarında kullanılacak en uygun seviye yoğunluk parametresinin tespiti yapılacaktır. Yapılan araştırmalar sonucunda; $^{236}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonu için CTM modele ait olan, varsayılan a değerı ele alınarak reaksiyon tesir kesiti üzerindeki etkisi incelenmiştir. CTM modeline ait olan varsayılan a parametresi %10, %20 oranlarında arttırılıp, azaltılmıştır. Elde edilen yeni değerler CTM modelinde yerine yazılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan sonuçlar, hem kendi aralarında hem de deneysel sonuçlarla kıyaslanmak üzere Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. $^{236}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesisir kesitlerine etkisi

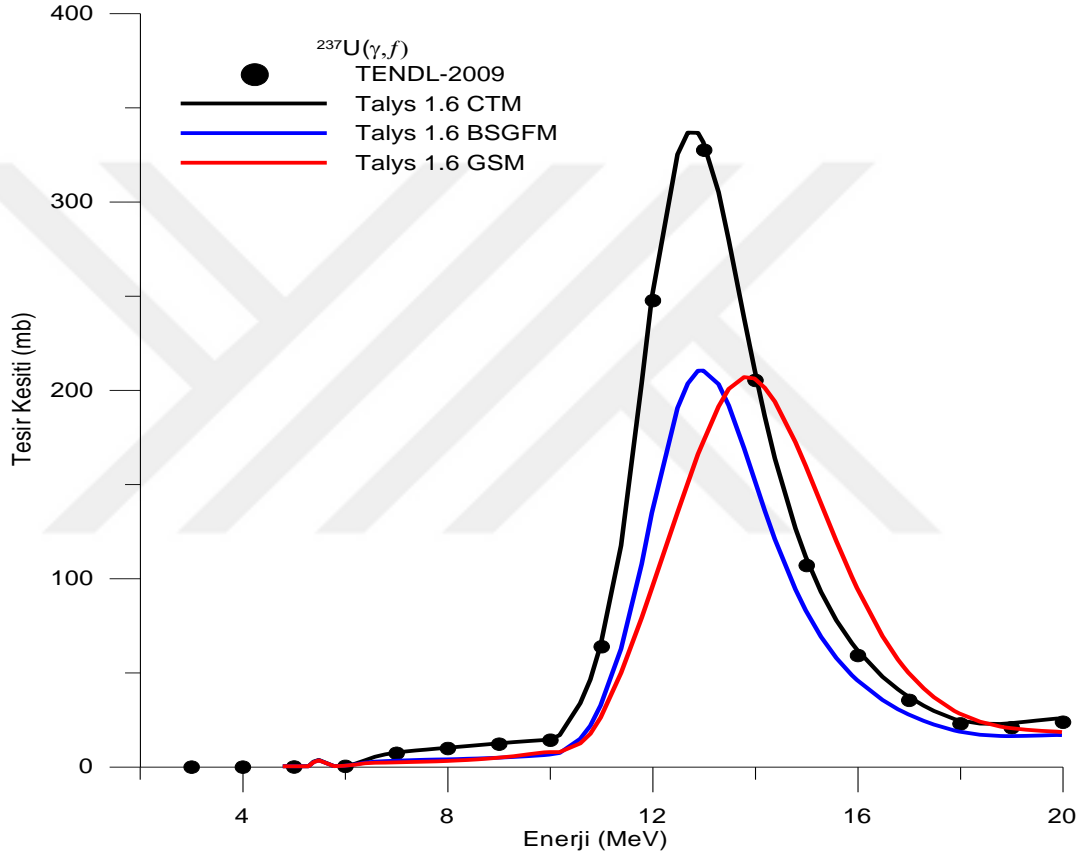
Şekil 4.8 incelenirse; CTM modelinde varsayılan seviye yoğunluk parametresi a değerini arttırdığımız zaman deneysel sonuçlara daha yakın değerler ortaya çıktığı görülmektedir. Aksine a değerini azatlığımız zaman ise, elde edilen değerler deneysel değerlerden uzaklaşmaktadır. Bu durumda; yapılan inceleme sonucunda a parametresini %10 artırılması ile ortaya çıkan sonuç, CTM modeline ait olan varsayılan seviye yoğunluk parametresi a değerine ve diğer hesaplanan a değerlerine göre deneysel reaksiyon tesisir kesitleriyle daha iyi bir uyum sağlamaktadır. Uygun olan bu değer Çizelge 4.4'de koyu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4. $^{236}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri

$^{236}\text{U}(\gamma,f)$	a varsayılan	$a + \%10 a$	$a - \%10 a$	$a + \%20 a$	$a - \%20 a$
CTM (Id1)	16,5358	18,1893	14,8821	19,8429	13,2286

4.2.9. $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi

Bu kısımda $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için TALYS 1.6 bilgisayar kod programı kullanılarak elde edilen teorik nükleer model hesaplamaları, TENDL-2009 (TALYS-tabanlı hesaplanmış nükleer veri kütüphanesi) 'dan alınan veriler ile karşılaştırılmış ve analiz edilerek sonuçlara yer verilmiştir.



Şekil 4.9. $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.

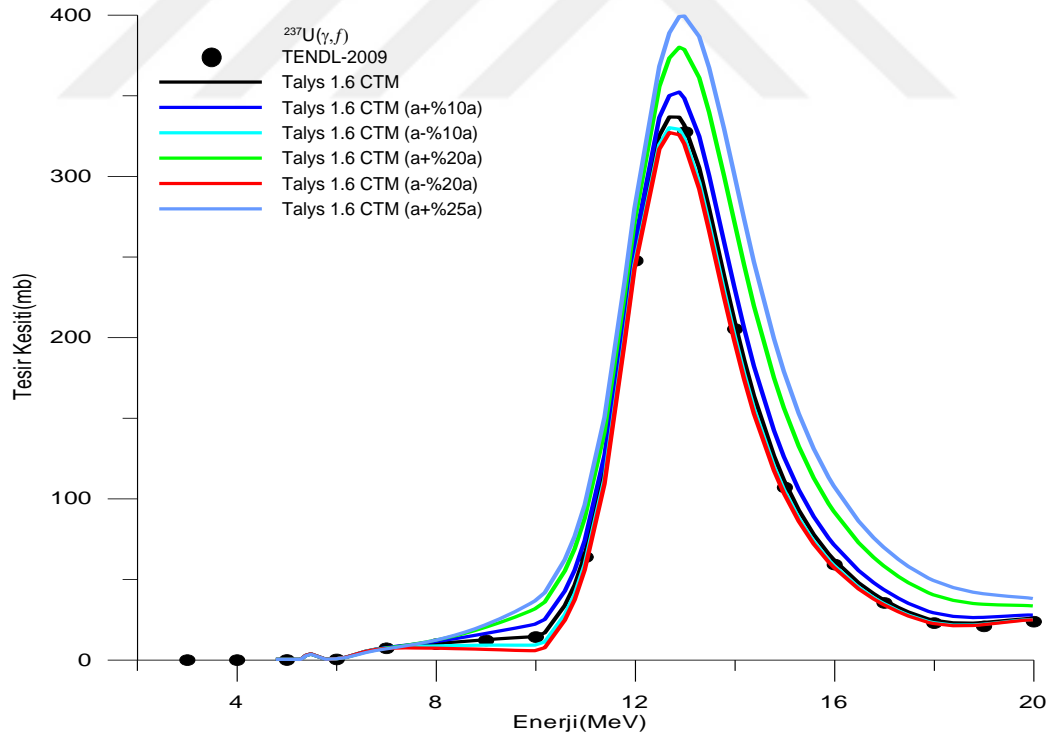
Şekil 4.9'da görüldüğü üzere $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için her üç model ile yapılan reaksiyon tesir kesiti hesapları hem kendi aralarında hem de TENDL-2009'dan alınan veriler ile karşılaştırıldı. CTM model kullanılarak elde edilen sonuçlar TENDL-2009'dan alınan veriler ile karşılaştırıldığında çok iyi bir uyum ortaya çıktığı görüldü. Ancak BSGFM, GSM model kullanılarak elde edilen sonuçlar TENDL-2009'dan alınan veriler ile karşılaştırıldığında genel bir uyum

gözükmektedir. Şekil 4.14'den de görüldüğü üzere CTM sonuçları diğer BSFGM ve GSM hesaplamalarına nazaran, TENDL-2009' dan alınan veriler ile en iyi uyan model hesaplaması olarak belirlendi. CTM tespit edildikten sonra aşağıdaki bölümde bu modele ait olan parametre değeri üzerinde çalışmalar olacaktır.

4.2.10. $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi

Bu bölümde; Şekil 4.9'da CTM modeli kullanılarak yapılan reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları TENDL-2009'dan alınan verilerle en iyi uyumu sağladığı görülmüştür.

Buradan yola çıkarak CTM modele ait olan seviye yoğunluk parametresini %10,%20 %25 oranlarda artırıp, %10,%20 azaltma yaparak yeni seviye yoğunluk parametreleri elde edilmiştir.



Şekil 4.10. $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesir kesitlerine etkisi

Elde edilen yeni seviye yoğunluk parametreleri, CTM modelinde yerine yazılarak TALYS 1.6 bilgisayar programı ile hesaplama yapılarak her bir parametre için reaksiyon tesir kesitleri elde edilmiştir. Bu elde edilen reaksiyon tesir kesitleri hem kendi aralarında hem de TENDL-2009'dan alınan verilerle Şekil 4.10'da karşılaştırılmak üzere verilmiştir.

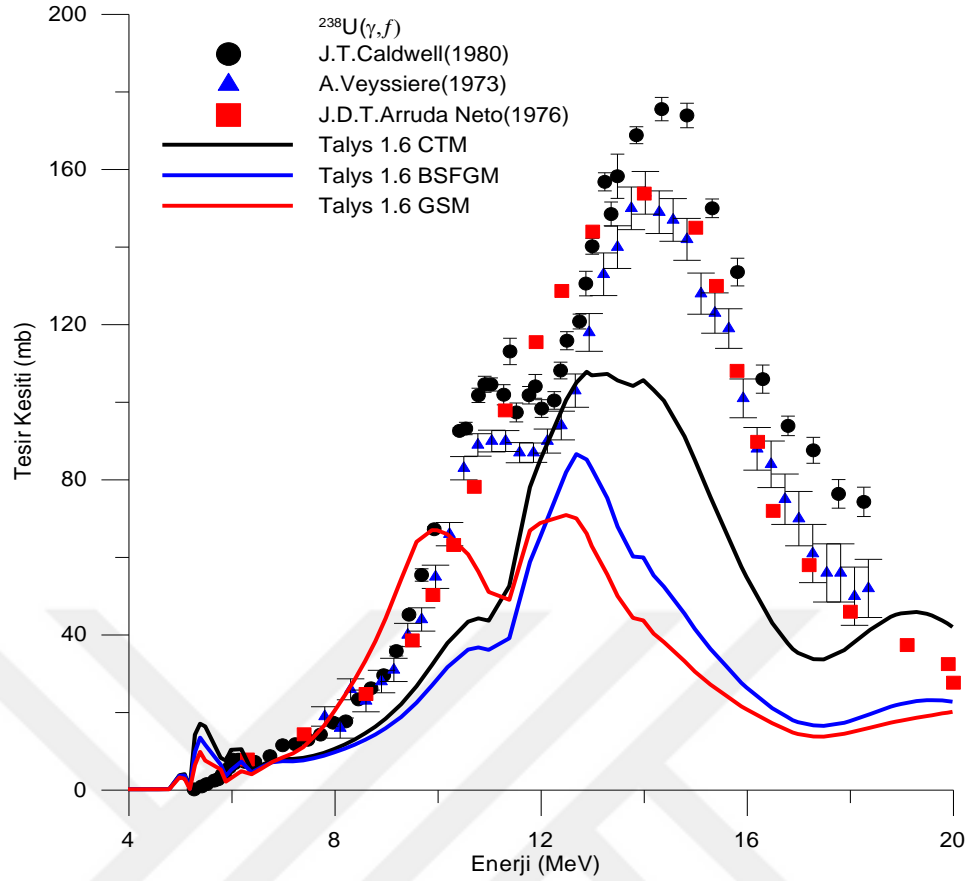
Şekil 4.10'dan çıkan sonuçlara göre; a varsayılan parametre değerini artırdığımız zaman elde edilen reaksiyon tesir kesitleri TENDL-2009'dan alınan değerlerden uzaklaşmıştır. Uyum ortadan kalkmaktadır. Parametreyi azaltığımız zaman ise; TENDL-2009'dan alınan sonuçlarla genel bir uyum gözükmemektedir. Ancak aralarında en iyi uyumu ise $a = 16,0068$ değerini kullanarak hesapladığımız reaksiyon tesir kesiti değerleri vermektedir. Bu değer Çizelge 4.5 koyu olarak verilmiştir. Burada ki hesaplamalar sonucunda en iyi parametre değeri bulunmuştur. Bu değer bir sonraki kısımda kullanılmak üzere çalışmalar sonucunda elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda artırılmış ve azaltılmış değerleri

$^{237}\text{U}(\gamma, f)$	a varsayılan	$a + \% 10 a$	$a - \% 10 a$	$a + \% 20 a$	$a - \% 20 a$	$a + \% 25 a$
CTM (Id_1)	16,0068	17,6074	14,4061	19,2081	12,8054	20,0085

4.4.11. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin En İyi Seviye Yoğunluk Modelinin Belirlenmesi

Bu kısımda $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için TALYS 1.6 program ile yapılan, CTM, BSFGM, GSM reaksiyon modellerini kullanılarak tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar EXFOR nükleer veri bankasından alınan deneysel veriler ile Şekil 4.11'de karşılaştırılmış ve sonuçlara yer verilmiştir.

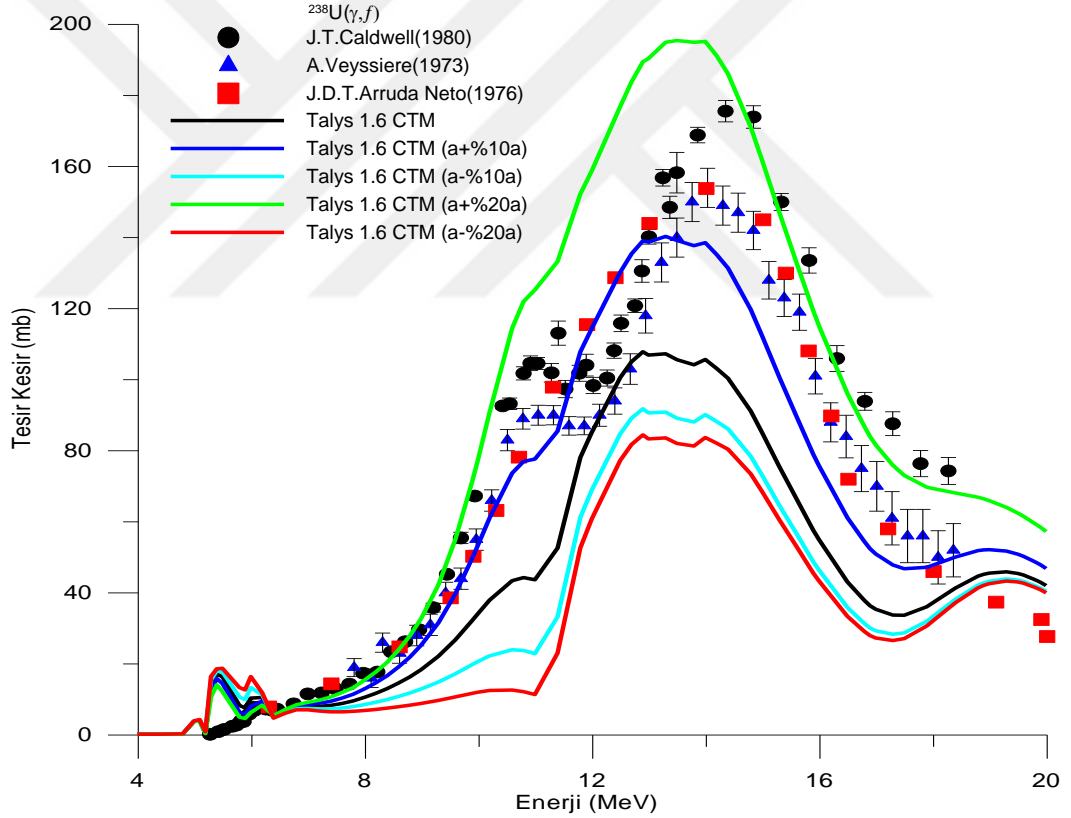


Şekil 4.11. $^{238}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait CTM, BSGFM, GSM, GFM, HFM seviye yoğunluk modellerinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi.

Şekil 4.11’ de yer verilen $^{238}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonun da her üç reaksiyon modeli ile yapılan hesaplama deneysel verilerle kıyaslandığı zaman iyi bir uyum gözükmemektedir. Fakat bu modeller arasında CTM modeli kullanarak elde edilen sonuçlar deneysel değerlere en yakın olanıdır. Bunun yanı sıra; 5-7 MeV civarında GDR tümseğinin düşük enerjili sırtında, PDR olarak adlandırılan bir olay gözlenmiştir. Bu olay, cüce dipol rezonans olarak adlandırılır. 11-14 MeV civarında ise yüksek enerjili bir tümsek oluşmuştur. Bu oluşum dev dipol rezonans olarak bilinir. Bu çalışmada deneysel reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları ile en uyumlu reaksiyon tesir kesiti değerlerini veren hesaplama modelinin CTM olduğu anlaşılmaktadır. Aşağıdaki çalışmada bu model dikkate alınarak, bu modele ait varsayılan seviye yoğunluk parametre değeri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

4.2.10. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonu İçin CTM Modeline Ait En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi

Bu alanda Şekil 4.11’de elde etmiş olduğumuz sonuca uygun olarak TALYS 1.6 reaksiyon program kodu içinde yer alan CTM modeline ait seviye yoğunluk parametresi için model hesaplamalarında kullanılacak en uygun seviye yoğunluk parametresinin tespiti yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda; $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modele ait olan varsayılan seviye yoğunluk parametresi a değeri ele alınarak reaksiyon tesir kesiti üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.12. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait CTM seviye yoğunluk modelinde seviye yoğunluk parametresi a 'nın azaltılması ve artırılması durumlarında reaksiyon tesir kesitlerine etkisi

CTM modele ait olan varsayılan a değeri %10, %20 oranlarında azaltıp, arttırılarak yeni seviye yoğunluk parametreleri elde edilmiştir. Bu parametre değerleri CTM modelde yerine yazılarak TALYS 1.6 bilgisayar programı ile hesaplamalar yapılmıştır. Her bir parametre için elde edilen reaksiyon tesir kesitleri hem kendi aralarında hem de deneysel reaksiyon tesir kesitleri ile birlikte karşılaştırılmak üzere Şekil 4.12’de verilmiştir.

Şekil 4.12’den elde edilen sonuçlara göre; deneysel sonuçlarla, teorik olarak elde edilen reaksiyon tesir kesitleri genel bir uyum içindedirler. Ancak bu kıyaslama sonucu hedef parametre olan a seviye yoğunluk parametresinin yüzde on arttırılmış hali $a=18,1409$ ile yapılan tesir kesiti hesaplamaları deneysel değerlerle en olumlu sonucu vermiştir. Ortaya çıkan bu değer Çizelge 4.6’da koyu olarak işaretlenmiştir. Bu yeni parametre değeri, $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için gerçekleştirilecek olan yeni hesaplamalar için kullanılacaktır.

Çizelge 4.6. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için CTM modeline ait a seviye yoğunluk parametresinin farklı oranlarda arttırılmış ve azaltılmış değerleri.

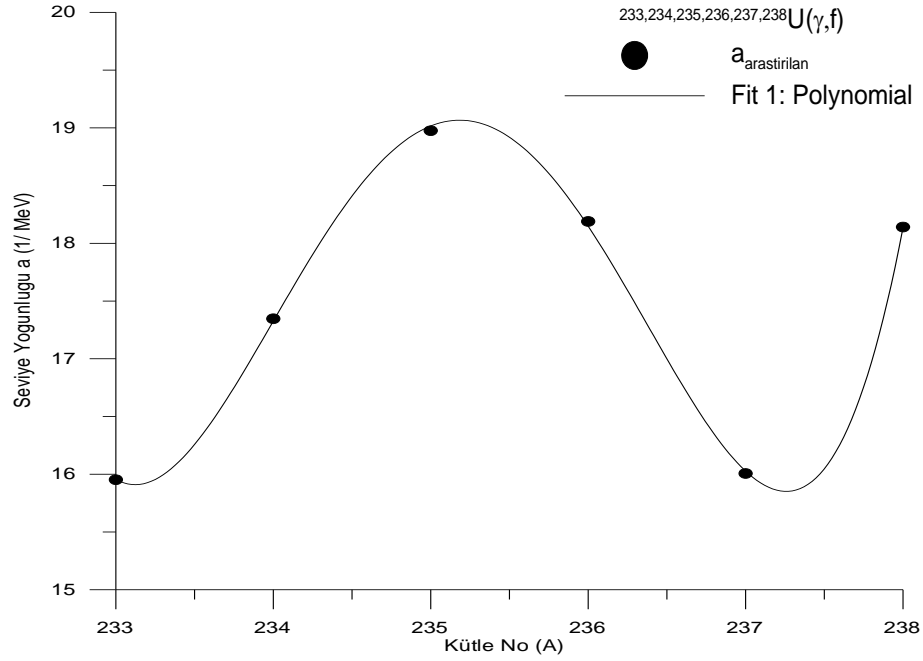
$^{238}\text{U}(\gamma, f)$	a varsayılan	$a + \%10 a$	$a - \%10 a$	$a + \%20 a$	$a - \%20 a$
CTM (Id1)	16,4917	18,1409	14,8426	19,7901	13,1934

4.2.11. $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonları İçin Kütle Numarasına Bağlı Seviye Yoğunluk Parametre Hesabı

Bu kısımda $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}$ izotoplarının kütle numarası ile çizelge 4.7’de verilen $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonları için elde edilen seviye yoğunluk parametreleri Şekil 4.13’de verilmiştir. Şekil 4.13’de uranyum izotoplarının kütle numaralarına bağlı hesaplanan seviye yoğunluk parametresi grafiği çizilmektedir.

Çizelge 4.7. $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ için araştırmalar sonucunda elde edilen seviye yoğunluk parametreleri

$\text{U}(\gamma, f)$	Araştırılan seviye yoğunluk parametreleri a (1 / MeV)
$^{233}\text{U}(\gamma, f)$	15,9529
$^{234}\text{U}(\gamma, f)$	17,3469
$^{235}\text{U}(\gamma, f)$	18,9754
$^{236}\text{U}(\gamma, f)$	18,1893
$^{237}\text{U}(\gamma, f)$	16,0068
$^{238}\text{U}(\gamma, f)$	18,1409



Şekil 4.13. Kütle Numarasına Bağlı Seviye Yoğunluk Parametre Hesabı

Şekil 4.13’de polinom fit yaparak 4. dereceden bir eşitlik elde ederiz. Seviye yoğunluk parametresini hesaplamaya yarayan bu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$R=0,999$$

$$a = B_0 + B_1 * A + B_2 * A^2 + B_3 * A^3 + B_4 * A^4$$

$$B_0 = 532928760,5$$

$$B_1 = - 9064569,151$$

$$B_2 = 57815,63035$$

$$B_3 = - 163,8889429$$

$$B_4 = 0,1742104164$$

Burada; a: seviye yoğunluğu parametresi, A: kütle numarası, B₀, B₁, B₂, B₃, B₄ ise; eşitlik ile birlikte elde edilen sabit değerlerdir. Bu denklemi kullanarak her bir uranyum izotopu ^{233,234,235,236,237,238}U için, kütle numaraları denklemde yerine yazılarak seviye yoğunluk parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu parametre değerleri Çizelge 4.8’de diğer parametrelerle (a varsayılan, a araştırılan, a hesaplanan) birlikte yer almıştır.

Çizelge 4.8. ^{233,234,235,236,237,238}U(γ,f) için kullanılan seviye yoğunluk parametreleri

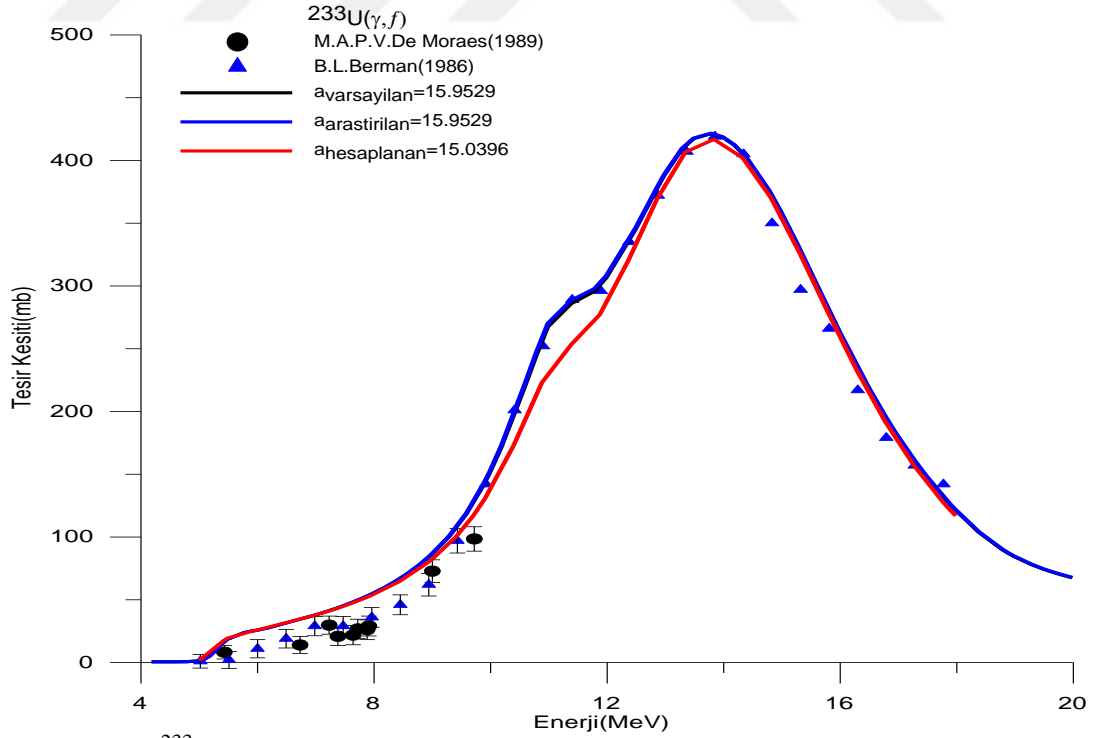
U(γ,f)	Seviye yoğunluk parametresi a (1 / MeV)		
	CTM Varsayılan parametreler	Araştırılan parametreler	Hesaplanan parametreler
²³³ U(γ,f)	15,9529	15,9529	15,0396
²³⁴ U(γ,f)	15,7699	17,3469	16,3966
²³⁵ U(γ,f)	15,8128	18,9754	18,0736
²³⁶ U(γ,f)	16,5357	18,1893	17,1933
²³⁷ U(γ,f)	16,0068	16,0068	15,0591
²³⁸ U(γ,f)	16,4917	18,1409	17,1558

4.3. $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma,f)$ Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerini Kullanarak Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması.

Bu bölümde; $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonları için elde edilen seviye yoğunluk parametreleri CTM modelinde yerine yazılarak TALYS 1.6 bilgisayar programı ile hesaplamalar yapılmıştır. Her bir parametre ile elde edilen reaksiyon tesir kesitleri, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

4.3.1 $^{233}\text{U}(\gamma,f)$ Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması

Bu kısımda; daha önce elde etmiş olduğumuz seviye yoğunluk parametrelerini (a varsayılan, a araştırılan, a hesaplanan) CTM modelinde yerine yazarak TALYS 1.6 bilgisayar programı ile reaksiyon tesir kesiti hesabı yapılmıştır. Elde edilen tüm teorik sonuçlar, EXFOR nükleer veri bankasından alınan deneysel sonuçlarla Şekil 4.14'de görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.14. $^{233}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi

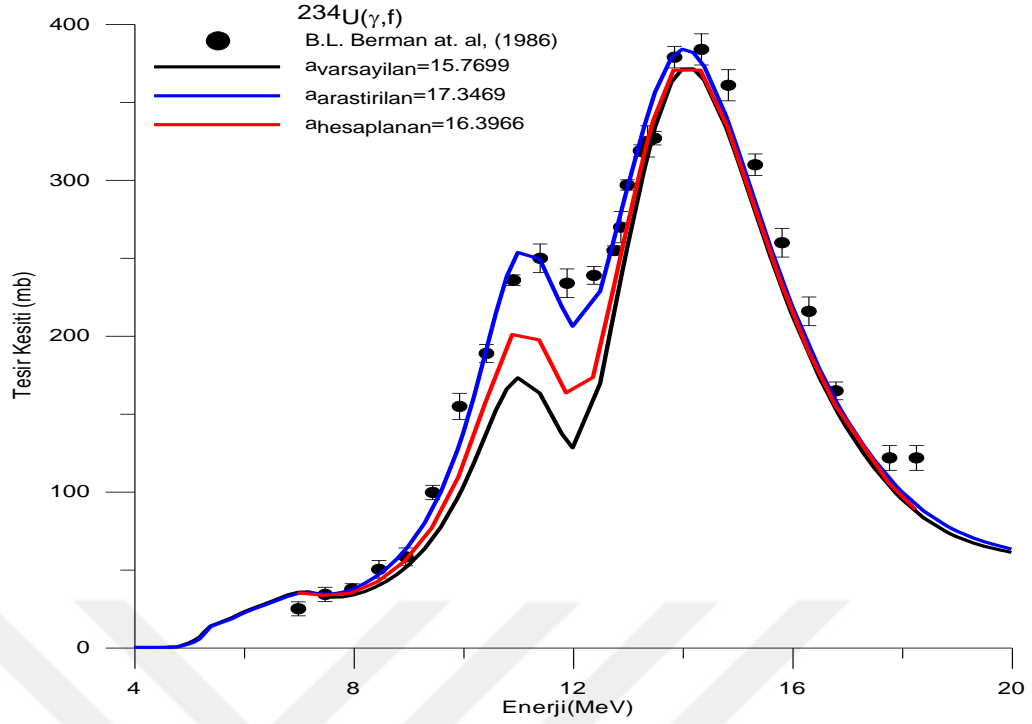
Şekil 4.14’de verilen çalışmada tüm teorik hesaplama değerlerinin, hem kendi içlerinde hem de deneysel verilerle uyum içinde olduğu görülmektedir. Ancak, hangi teorik hesaplama sonucunun deneysel sonuçlarla en iyi uyumunu sergilediğini belirleyemeyiz. Bu yüzden, hangi teorik hesaplama sonuçlarının deneysel verilere daha iyi uyduğunu belirlemek amacıyla daha önce **4.1 İstatistik Kriter** alt başlığı ile verdiğimiz kısımdaki (4.1), (4.2) ve (4.3) denklemleri kullanılmıştır. İstatistik kriter hesapları için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir. Bu çizelgeden, deneysel verilerle en iyi uyumun a hesaplanan parametre değeri ile elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, Çizelge 4.9’da koyu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.9. $^{233}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait istatistik değerler

$^{233}\text{U}(\gamma, f)$	H	R	D
a varsayılan	6,7233	1,5719	0,5843
a araştırılan	6,7233	1,5719	0,5843
a hesaplanan	8,1885	1,5393	0,5830

4.3.2 $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması

Aşağıdaki çalışmada; a varsayılan , a hesaplanan, a araştırılan seviye yoğunluk parametre değerleri CTM modelinde yerlerine yazılarak TALYS 1.6 bilgisayar programı ile tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen tüm reaksiyon tesir kesiti değerleri Şekil 4.15’de kendi aralarında ve deneysel reaksiyon tesir kesiti değerleriyle kıyaslanmak üzere gösterilmiştir.



Şekil 4.15. $^{234}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi

Şekil 4.15 incelendiği zaman ilk bakışta dikkati çeken özellikle (10-14) MeV arasında $a_{\text{varsayılan}}$ değeri ile ortaya çıkan reaksiyon tesir kesiti hesabı, diğer parametreleri kullanarak yapılan, reaksiyon tesir kesiti hesaplarından görünür derecede ayrışmaktadır.

Ancak $a_{\text{hesaplanan}}$, $a_{\text{arastirilan}}$ parametre değerleri yapılan hesaplama sonuçları birbirinden ayırt edilemeyecek kadar yakındır. Aynı zamanda bu hesaplamalar ile elde edilen reaksiyon tesir kesiti değerleri, deneysel reaksiyon tesir kesiti değerleri ile çok uyumludur. Şekil 4.15’den hangi hesaplama sonucunun, deneysel sonuçlarla daha uygun olduğunu tam olarak belirlenememektedir. Bu yüzden eşitlik(4.1), (4.2), (4.3)’de verilen istatistik kriterleri kullanarak bu belirsizliği ortadan kaldıracacağız.

$^{234}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait olan tüm teorik reaksiyon tesir kesiti hesaplama değerlerine istatistik kriterler hesabı yapılarak sonuçlar Çizelge 4.10’da verilmiştir.

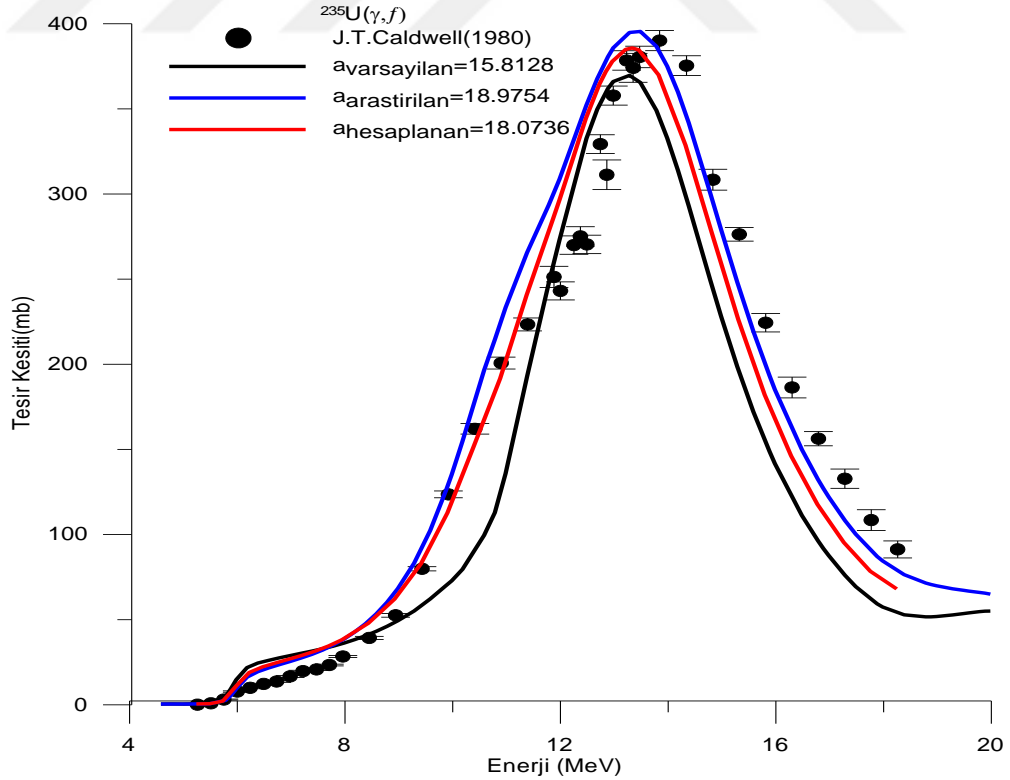
İstatistik kriterlere göre, $a_{\text{arastirilan}}$ parametre değeri ile elde edilen değerler deneysel değerlerle en iyi uyumu sağlamaktadır. Bu değerler Çizelge 4.10’da koyu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.10. $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait istatistik değerler

$^{234}\text{U}(\gamma, f)$	H	R	D
a varsayılan	7,5593	0,8494	0,1808
a araştırılan	2,3374	0,9745	0,0745
a hesaplanan	4.9810	0,8973	0,1340

4.3.3 $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde; $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için elde edilen a varsayılan, a hesaplanan ve a araştırılan seviye yoğunluk parametrelerini CTM modelinde kullanarak TALYS 1.6 programı ile reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda bulunan reaksiyon tesir kesitlerine, hem kendi aralarında hem de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmak üzere Şekil 4.16’da yer verilmiştir.



Şekil 4.16. $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi

Şekil 4.16 incelendiği zaman; ilk başta göze çarpan bütün a seviye yoğunluk parametreleri kullanılarak yapılan reaksiyon tesir kesiti sonuçları, hem kendi içinde hem de deneysel sonuçlarla genel bir uyum içindedir. Bu durumda deneysel sonuçlarla en uygun reaksiyon tesir kesiti hesabını bulabilmek için eşitlik (4.1), (4.2), (4.3) ile verilen İstatistik kriterler ile hesaplamalar yapılacaktır.

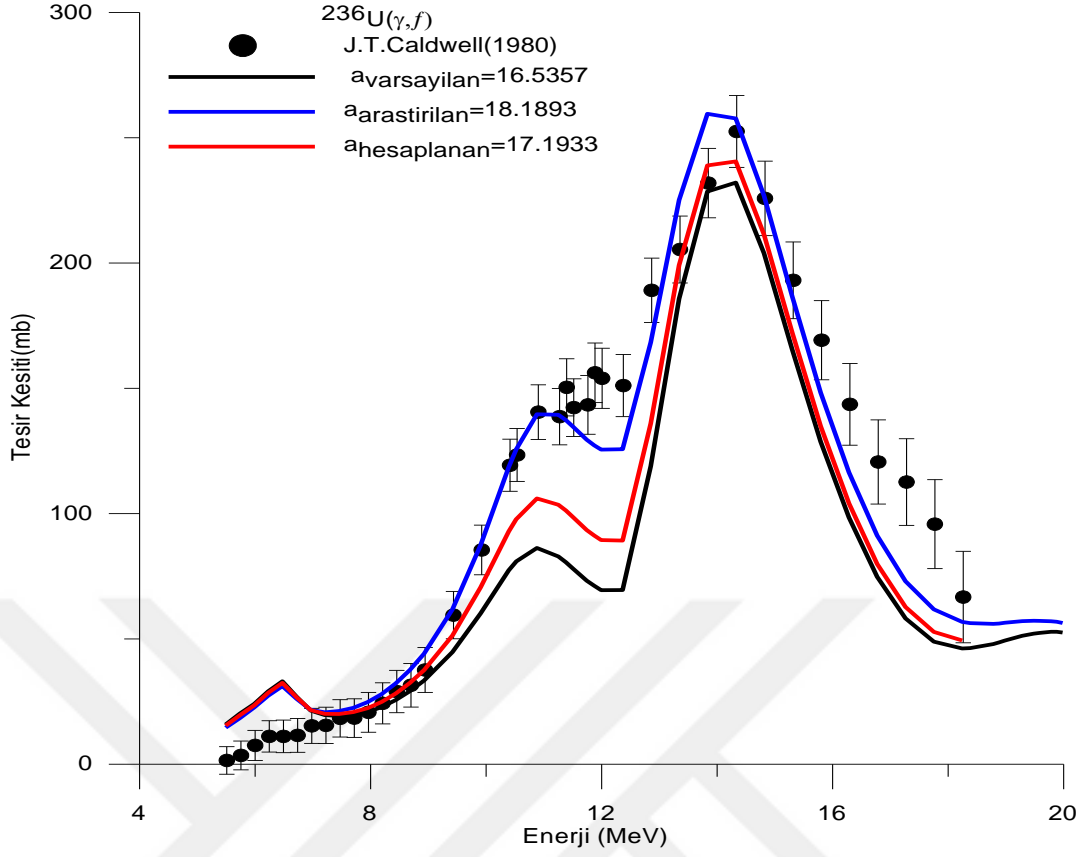
İstatistik kriterler ile yapılan hesaplamalar Çizelge 4.11’de verilmiştir. İstatistik kriter hesabına göre deneysel sonuçlarla en iyi sonucu a hesaplanan parametre değerini kullanarak elde edilen reaksiyon tesir kesitleri vermektedir. Uygun olan İstatistik kriter değerleri Çizelge 4.11’de koyu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.11. $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait istatistik değerler

$^{235}\text{U}(\gamma, f)$	H	R	D
a varsayılan	14,3976	1,0692	0,3284
a araştırılan	9,7038	1,1208	0,2336
a hesaplanan	9,112	0.9960	0,2025

4.3.4. $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde; $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için elde a varsayılan, a hesaplanan, a araştırılan seviye yoğunluk parametrelerini kullanarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar ile elde edilen reaksiyon tesir kesiti değerlerine, hem kendi içinde hem de EXFOR nükleer veri bankasından alınan deneysel sonuçlarla karşılaştırmak üzere Şekil 4.17’de yer verilmiştir.



Şekil 4.17. $^{236}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesis kesitine etkisi.

Şekil 4.17 incelendiği zaman ilk başta göze çarpan bütün a seviye yoğunluk parametreleri kullanılarak yapılan reaksiyon tesis kesiti sonuçları deneysel sonuçlarla genel bir uyum içindedir.

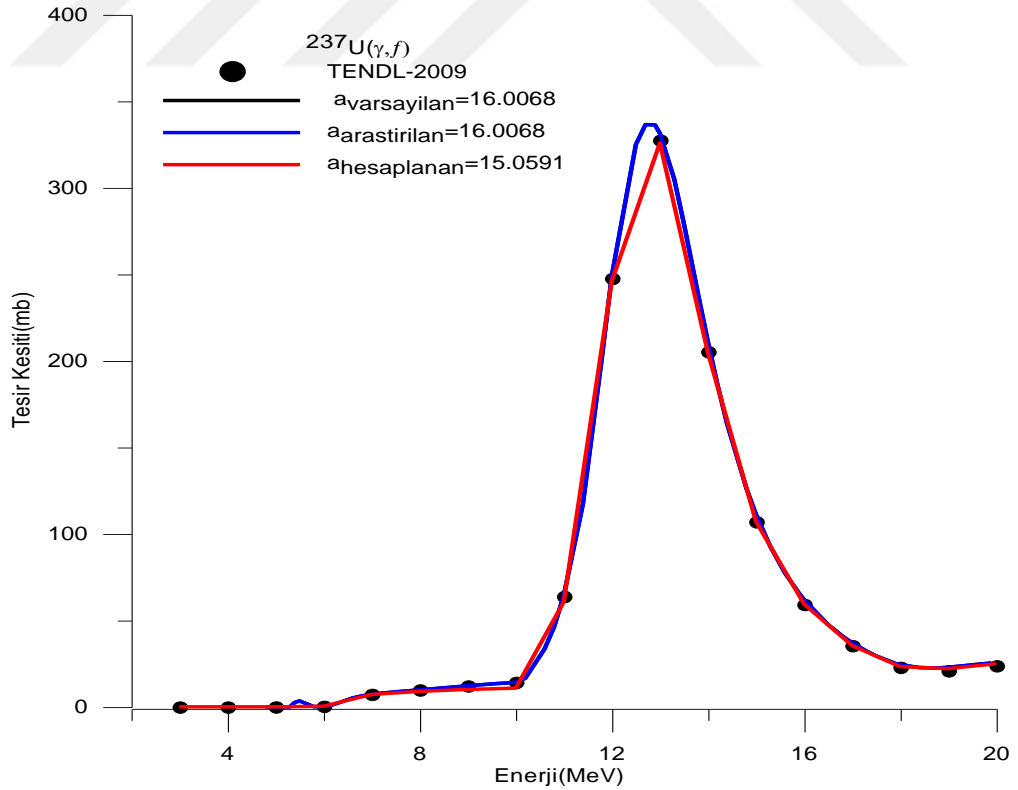
Ancak bu sonuçlar birbirinden ayırt edilemeyecek kadar birbirine yakın değerdedir. Bu durumu çözebilmek için İstatistik kriter hesabı yapılacaktır. Bu hesap için verilen eşitlikler (4.1), (4.2), (4.3) kullanılmıştır. $^{236}\text{U}(\gamma,f)$ reaksiyonuna ait hesaplanan tüm teorik reaksiyon tesis kesiti değerleri kullanılarak İstatistik kriterler hesabı ile hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmiştir. Çizelge 4.12’de verilen sonuçlara göre, deneysel sonuçlarla en uygun olan a araştırılan parametresi kullanılarak yapılan hesap belirlenmiştir. Uygun olan bu değerler, Çizelge 4.12’de koyu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.12. $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait istatistik değerler

$^{236}\text{U}(\gamma, f)$	H	R	D
a varsayılan	18,8328	1,3373	0,7766
a araştırılan	9,7064	1,4819	0,6042
a hesaplanan	14.700	1,3900	0,7015

4.3.5 $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde; $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için elde edilen a varsayılan, a hesaplanan, a araştırılan seviye yoğunluk parametrelerini kullanarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Tüm bu teorik hesaplama sonuçları, TENDL-2009'dan alığımız değerlerle karşılaştırmak üzere Şekil 4.18'de verilmiştir.

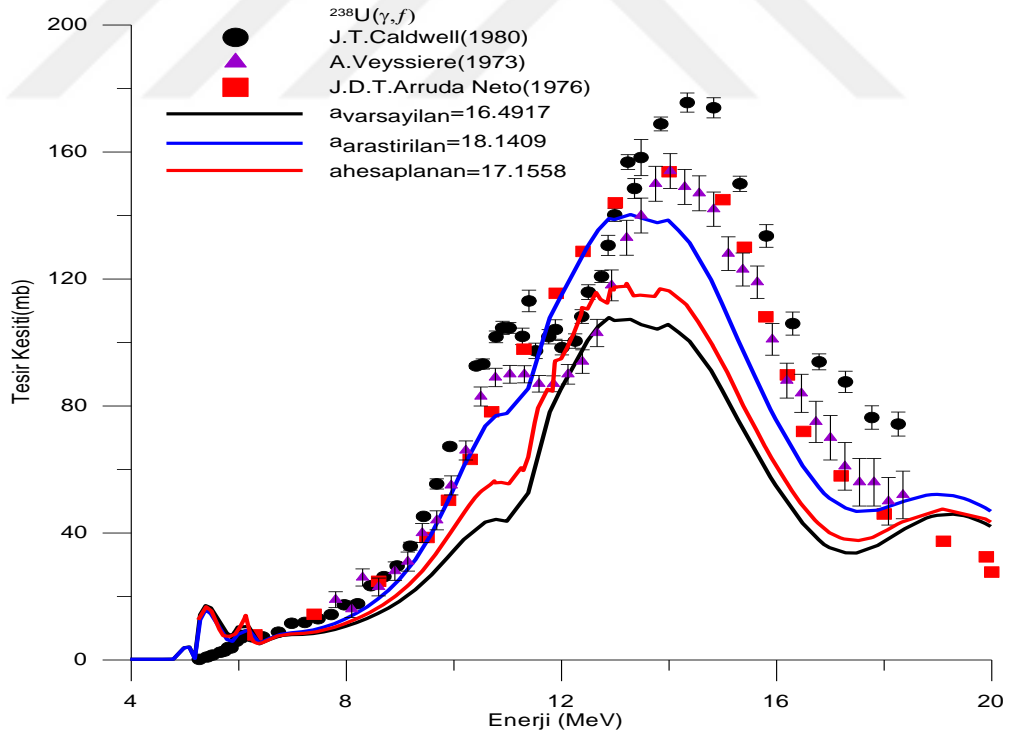


Şekil 4.18. $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi

Şekil 4.18 incelenirse; $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için yapılan bütün teorik reaksiyon tesir kesiti değerleri hem kendi içlerinde hem de TENDL-2009'dan alığımız değerlerle genel bir uyum içindedir. Ancak TENDL-2009'dan alığımız değerlerle en iyi uyumu veren çalışmayı bulmak için İstatistik kriter hesabı yapılamamıştır. Çünkü $^{237}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için deneysel çalışmaya rastlanmamıştır.

4.3.6. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ Reaksiyonları İçin Seviye Yoğunluk Parametrelerinin Kullanılması İle Elde Edilen Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde; $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için a varsayılan, a hesaplanan, a araştırılan seviye yoğunluk parametrelerini kullanarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen teorik hesaplama sonuçları, EXFOR nükleer veri bankasından alınan deneysel sonuçlarla Şekil 4.18'de görüldüğü gibi karşılaştırılmak üzere verilmiştir.



Şekil 4.19. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait elde edilen seviye yoğunluk parametrelerinin reaksiyon tesir kesitine etkisi

Şekil 4.19’da a varsayılan parametrenin yer aldığı reaksiyon tesir kesiti hesabı deneysel sonuçlardan oldukça uzaktır. Ancak a hesaplanan, a araştırılan parametre değerleri ile elde edilen sonuçlar birbirinden ayırt edilemeyecek kadar yakındır. Aynı zamanda, bu reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları deneysel reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları ile çok uyumludur. Buradan deneysel sonuçlarla en iyi uyumu hangi parametre hesabının sağladığını bulmak için istatistik kriter hesabı yapılmıştır. Ancak bu reaksiyon için bazı deneysel çalışmalarda hata payı yer almamaktadır. Bu yüzden, istatistik kriter hesabı yapılırken eşitlik(4.2) ve (4.3) kullanılmıştır.

$^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonu için elde edilen a değerleri CTM modelinde kullanılarak TALYS 1.6 bilgisayar programı ile yapılan reaksiyon tesir kesiti hesapları incelenerek istatistik hesabı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.13’de yer almaktadır. Çizelge 4.13 incelenirse; a araştırılan parametre ile yapılan tesir kesiti hesaplarının deneysel sonuçlarla en uygun sonuçları verdiği anlaşılmaktadır. Buradan görüldüğü üzere, en uyumlu sonuç Çizelge 4.13’de koyu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.13. $^{238}\text{U}(\gamma, f)$ reaksiyonuna ait istatistik değerler

$^{238}\text{U}(\gamma, f)$	H	R	D
a varsayılan		1,5286	1,1706
a araştırılan		1,3030	0,9879
a hesaplanan		1,5473	1,0584

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada seviye yoğunluk parametresinin reaksiyon tesir kesitlerine etkisi araştırılmıştır. $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ fotofisyon reaksiyonları için reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan TALYS 1.6 bilgisayar programı teorik tesir kesitlerinin hesaplanmasında oldukça güvenilir bir programdır. Araştırmamız, $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ fotofisyon reaksiyonları için en iyi seviye yoğunluk parametrelerinin elde edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Böylece; elde edilen sonuçlar, bu çalışmaya konu olan hedef çekirdeklerin seviye yoğunluğu ve seviye yoğunluk parametresi gibi yapısal özellikleri hakkında yeni bilgiler elde etmemizi sağlamıştır. Aynı zamanda bu ve benzeri çalışmalar, nükleer modellerin ve nükleer modellerle hesap yapan bilgisayar programların geliştirilmesine de temel oluşturabilmektedir.

Hazırlanan bu tezde kullanılan $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}$ izotoplarına fotofisyon reaksiyonları için reaksiyon tesir kesitleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamada kullanılan seviye yoğunluk modellerine seviye yoğunluk parametrelerini dahil edilerek, bu parametrelerin yeniden hesaplanan reaksiyon tesir kesitlerine etkileri araştırılmıştır. Tezde fisyon modelleri; Birleşik Gilbert-Cameron modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM), Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) kullanılmıştır. Fisyon modelleri kullanılarak, her $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}$ için teorik fisyon tesir kesiti değeri elde edilmiştir. Fisyon tesir kesiti değerleri 0-20 MeV gelme enerjilerine sahip fotonlarla gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırılmalar, EXFOR nükleer veri bankasından alınan deneysel fisyon tesir kesitleriyle ve TENDL-2009'dan alınan verilerle yapılmıştır. $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ izotopları için TALYS 1.6 bilgisayar programı kullanarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda CTM, BSFGM, GSM modelleri kullanılmıştır. $^{233,234,235,236,237,238}\text{U}(\gamma, f)$ izotopları için CTM model ile yapılan hesaplamalar deneysel reaksiyon tesir kesitleri ile en uyumlu model hesaplaması olduğu görülmüştür. Bu yüzden, CTM model hesaplamaları örnek model hesaplaması olarak alınmıştır. Bu modelde her izotop için a varsayılan seviye yoğunluk parametresi mevcuttur. Bu parametreler, %10, %20 oranlarında artırma ve azaltma işlemleri ile değiştirildi ve

yeni seviye yoğunluk parametreleri elde edildi. Yeni seviye yoğunluk parametreleri CTM modelde yerine yazılarak TALYS 1.6 bilgisayar programı ile teorik reaksiyon tesir kesiti hesapları yapılmıştır. Daha sonra bu hesaplamalar hem kendi arasında hem de deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Yeni elde edilen parametreler ile yapılan hesaplamaların, hangisinin deneysel sonuçlarla daha uygun olduğu, bu karşılaştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Buradan elde ettiğimiz sonuçlara Çizelge 4.7’de yer verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 4.7’de verilen bu yeni parametreler ile ^{233,234,235,236,237,238}U izotopların kütle numaralarını kullanarak, kütle numarasına bağlı seviye yoğunluk parametresi grafiği elde edilmiştir. Bu grafik üzerinde polinom fit yaparak Şekil 4.13’de verilmiştir. Şekil 4.13’den polinom fit yapılmasıyla 4. dereceden bir denklem elde ederiz. Bu denklem kütle numarasına bağlı olarak, seviye yoğunluk parametre hesabında kullanılmıştır. ^{233,234,235,236,237,238}U izotopları için bu denklemde kütle numaraları yerine yazılarak yeni seviye yoğunluk parametre hesabı yapılmıştır. Buradan elde edilen yeni parametrelerde, elde edilen diğer parametreler gibi Çizelge 4.8’de yer almıştır.

Çizelge 4.8’de verilen seviye yoğunluk parametre değerlerini kullanarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. ^{233,234,235,236,237,238}U(γ, f) fotofisyon reaksiyonları için elde edilen tüm teorik reaksiyon tesir kesitleri, EXFOR nükleer veri bankasından alınan deneysel fisyon tesir kesitleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; ^{233,234,235,236,237,238}U(γ, f) fotofisyon reaksiyonları için seviye yoğunluk parametreleri, reaksiyon tesir kesitlerine kuvvetli bir derecede etkili olmuştur. Aynı zamanda, maliyet değeri yüksek olan nükleer fisyon reaksiyonlarının gerçekleştirilmeden önce reaksiyon hakkında ön bilgi teşkil etmesi açısından bu çalışmalar çok önem arz etmektedir.

Tez çalışmasında kullanılan uranyum izotoplarından çift-çift çekirdeklerde GDR bölgesinin etkisi açıkça Şekil 4.3, 4.7 ve 4.11’de görülmektedir. Bu çekirdekler GDR etkisinden dolayı, yani çiftlenim etkisinden dolayı iki tane pik görülmektedir. Çift-çift olmayan çekirdeklerde bu çiftlenim etkisi görülmediği için tek bir pik görülmektedir (Şekil 4.1, 4.5, 4.9). Ayrıca yine çift-çift çekirdekler için seviye yoğunluk parametresinin farklı değerlerinin gösterildiği Şekil 4.4, 4.8 ve 4.12’deki grafiklerde görülmektedir ki seviye yoğunluk parametresinin etkisi ilk pikde daha

belirgin olarak görülmekte ikinci pikde birinci pikdeki kadar bir değişim göstermemektedir.

Bu tez çalışmasının sonuçlarından daha sonraki çalışmalar için öneriler aşağıda verilmiştir:

- 1) GDR etkisinin bütün çift-çift çekirdekler için aynı davranışı gösterip göstermediği araştırılmalıdır.
- 2) GDR etkisi uranyum izotoplarında 10-15 MeV arasında görülmektedir. Diğer atomlar için bu enerji aralığı araştırılmalıdır.
- 3) Seviye Yoğunluk parametresinin etkisinin neden ilk pikde daha fazla görüldüğü araştırılmalıdır.
- 4) Uranyum izotopları için elde edilen formülasyonun diğer çekirdeklerde geçerli olup olmadığı araştırılmalıdır.
- 5) GDR etkisinin görüldüğü tüm çift-çift çekirdekler için kütle numarasına bağlı bir seviye yoğunluk hesabı formülasyonu elde edilmesi araştırılmalıdır.
- 6) Çift-çift çekirdekler ve tek çekirdekler için formülasyonun ayrı ayrı yapılarak nasıl bir fark olduğu araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aydin, A., Yalım, H.A., Tel, E., Şarer, B., Ünal, R., Sarpün, İ., Kaplan, A., Dağ, M.,
Level density parameter dependence of the fission cross sections of some
subactinide nuclei induced by protons with the incident energy up to 250 MeV.
Ann. Nucl. Energy 36, 1307–1312, 2009.
- Avdeenkov, A.V., Kamerdzhiev, S.P. Pygmy Dipole Resonance in Nuclei. Physics
of Atomic Nuclei, Vol. 72, pp. 1332–1339. Nuclear Physics, Section A
Vol.199, p.45, 1973.
- Arruda Neto, J.D.T., Herdade, S.B., Bhandari, I.C. Electrofission and Photofission of
 ^{238}U in the Energy Range 6-60 MeV. Physical Review, Part C, Nuclear Physics
Vol.14, p.1499, 1976.
- Anonim, EXFOR/CSISRS (Experimental Nuclear Reaction Data File), Database
Version of July 14, 2010. Brookhaven National Laboratory National Nuclear
Data Centre.İnternet Sitesi. <http://www.nndc.bnl.gov/nndc/EXFOR/>. Erişim
Tarihi: 10.03. 2014.
- Bethe., H. Nuclear Physics B. Nuclear Dynamics, Theoretical, Reviews of Modern
Physics 9, 69-244, 1937.
- Berman., B. L., Caldwell., J. T., Dowdy, E. J., Dietrich, S. S., Meyer, P and Alvarez,
R. A. Photofission and photoneutron cross sections and photofission neutron
multiplicities for ^{233}U , ^{234}U , ^{237}Np , and ^{239}Pu . Phys. Rev. C 34, 2201,1986.
- Bertrand, F.E., Pelle, R.W. Complete Hydrogen and Helium Particle Spectra from
30- to 60-MeV Proton Bombardment of Nuclei with A=12 to 209 and
Comparison with the Intranuclear Cascade Model. Physical Review C,8(3),
1045-1064, 1973.

Bertini, H.W., Harp, G.D., Bertrand, F.E. Comparisons of predictions from two intranuclear-cascade models with measured secondary proton spectra at several angles from 62 - and 39 - MeV protons on various elements. *Physical Review C*, 10 (6), 2472-2482, 1973.

Běťák, E., Hodgson, P.E. Particle-hole state densities in pre-equilibrium nuclear reaction models. *Reports on Progress in Physics*, 61 (5), 483-524, 1998.

Benedict, M., Pigford, T. H., Levi, H. W. *Nuclear Chemical Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1008p, 1981.

Blann, M. Hybrid model for Pre-equilibrium decay in nuclear reactions. *Physical Review Letters*, 27 (6), 337-340, 1971.

Blann, M. Importance of the nuclear density distribution on preequilibrium decay. *Physical Review Letters*, 28 (12), 757-759, 1972.

Blann, M. Preequilibrium decay. *Annual Review of Nuclear and Particle Science.*, 25, 123-166, 1975.

Brink, D.M. Summary Talk: Giant Resonances at Finite Temperature. *Nuclear Physics A*, Vol. 649, pp. 218c–221c, 1999.

Brink, D.M. *Giant Resonances in Excited Nuclei*. Germany, 2008.

Bracco, A. Gamma Decay of the GDR on Superdeformed Configurations of ^{143}Eu . *Nuclear Physics A*, Vol. 682, pp. 449c–457c, 2001.

Baldwin, G.C. and Klaiber, G.S. Photo-Fission in Heavy Elements. *Physical Review* Vol. 71, pp. 3–10, 1947.

Bracco, A. and Wieland, O. The Pygmy Dipole Resonance in the Neutron- Rich Nucleus $^{68}\text{Ni}^*$. *Acta Physica Polonica B*, Vol. 40, pp. 535–542, 2009.

- Berman, B.L. and Fultz, S.C. Measurements of the giant Dipole Resonance with Monoenergetic Photons. *Rev. Mod. Phys.*, Vol. 47, pp. 713–761, 1975.
- Caldwell, J.T, Dowdy, E.J, Berman, B.L, Alvarez, R.A, Meyer, P. Giant resonance for the actinide nuclei: photoneutron and photofission cross sections for ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , and ^{232}Th . *Physical Review, Part C, Nuclear Physics* Vol.21, p.1215, 1980.
- Dilg, W., Schantl, W., Vonach, H. and Uhl, M. Level density parameters for the back-shifted fermi gas model in the mass range $40 < A < 250$. *Nucl.Phys. A*, 217, 269, 1973.
- Demetriou, P., Goriely, S. Microscopic nuclear level densities for practical applications. *Nucl. Phys. A*, 95: 695, 2001.
- Ericson, T, The statistical model and nuclear level densities. *Advances in Physics* 9, 425-511, 1960.
- Feshbach, H., Kerman, A.K., Koonin, S. The statistical theory of multi-step compound and direct reactions. *Annals of Physics*, 125 (2), 429-476, 1980.
- Grossjean, M.K., Feldmeier, H. Level density of a Fermi gas with pairing interactions. *Nucl. Phys. A*, 444, 113, 1985.
- Goldhaber, M., Teller, E. On Nuclear Dipole Vibrations. *Physical Review*, Vol. 74, pp. 1046–1048, 1948.
- Gossett, C.A. Systematic Behaviour of the Giant Dipole Resonance in Highly Excited Nuclei. *J. Phys. G: Nucl. Phys.*, Vol. 14, pp. S267-S274, 1988.
- Gilbert, A., Cameron, A.G.W. A composite nuclear-level density Formula with shell Corrections. *Canada Journal Physics*, 43, 1446, 1965.

- Goriely, S. A new nuclear level density formula including shell and pairing correction in the light of microscopic model calculation. *Nuclear Physics A* 605, 28- 60, 1996.
- Goriely, S., Tondeur, F., Pearson, J.M. A hartree–fock nuclear mass table. *Atom. Data Nucl. Data Tables*, 77, 311, 2001
- Gadioli, E., Hodgson, P.E. *Pre-equilibrium nuclear reactions*. Oxford University Press, ISBN 0-19-851734-3, 518p. New York, 1992.
- Griffin, J.J. *Statistical Model of Intermediate Structure*. *Physical Review Letters*, 17, 478-481, 1966.
- Griffin, J.J. *Int. Nucl. Phys. Conf. 1966, Gatlinburg, Tenn.* ed. R.L. Becker, p. 778, Academic. New York, 1967a.
- Griffin, J.J. Energy dependence of average direct reaction cross sections and partial nuclear level densities. *Physics Letters B*, 24 (1), 5-7, 1967b.
- Griffin, J.J. *Intermediate Structure in Nuclear Reactions*, ed. H.P. Kennedy, R. Schriels, Univ. Kentucky Press, 219 pp. Lexington, 1968.
- Greiner, W., Maruhn, J.A. *Nuclear Models*. Springer-Verlag, 375 s., Berlin, 1996.
- Harp, G.D., Miller, J.M., Berne, B.J. Attainment of Statistical Equilibrium in Excited Nuclei. *Physical Review*, 165 (4), 1166-1169, 1968.
- Harp, G.D., Miller, J.M. Precompound Decay from a Time-Dependent Point of View. *Physical Review C*, 3 (5), 1847-1855, 1971.
- Hodgson, P.E., Gadioli, E., Gadioli Erba, E. *Introductory nuclear physics*. Oxford University Press, ISBN 0-19-851897-8, 723p. New York, 2003.

- Hilaire, S., Goriely, S. Global microscopic nuclear level densities within the HFB plus combinatorial method for practical applications. Nucl. Phys. A, 779, 63, 2006.
- Ignatyuk, A.V., Simerinkin, G.N. and Tishin, A.S. Phenomenological description of the energy dependence of the level density parameter. Soviet Journal Nuclear Physics, 21: 255,1975.
- Ignatyuk, A.V., Istekov, K.K. and Smirenkin, G.N. Role of collective effects in the systematics of nuclear level densities.Soviet Journal Nuclear Physics,29: 450, 1979.
- Ignatyuk, A.V., Weil, J.L., Raman, S. and Kahane, S. Density of discrete levels in ^{116}Sn . Phys. Rev. C, 47: 1504, 1993.
- C. Kütahyalı. Mangal Kömüründen Üretilen Aktif Karbon kullanılarak Uranyum'un Selektif Adsorpsiyonunun ve Uygulama Alanlarını İncelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,125 s, 2002.
- Kwatsu, C., Shevin, M. Parameters for the Hot Giant Dipole Resonance. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 2003.
- Koning, A. J., Duijvestijn, M. C. New nuclear data evaluations for Ge isotopes, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research Sec. B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 248, 197 – 224, 2006.
- Koning, A.J., Hilaire, S. and Goriely, S. Global and local level density models. Nuclear Physics A, 810, 13–76, 2008.
- Konning, A. J. , Hilaire, S., Duijvestijn, M. TALYS 1.2 A Nuclear Reaction Program, NRG-Nuclear Research and Consultancy Group, Netherlands, 2009.

Koning ,A.J., Hilaire, S., Goriely, S. TALYS-1.6 A Nuclear Reaction Program. Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), User Manuel, Netherlands, 2013.

Krane, K.S. Nükleer Fizik-II. Palme Yayıncılık, No: 195, 559s, 560s, 561s, 563s. Ankara, 2002.

Levkovskij., V.N. Activation cross section nuclides of average masses ($A = 40-100$) by protons and alpha-particles (Inter-Vesti, Moscow, USSR, B-215,1991.

Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology, A Wiley-Interscience Publication, Fourth Edition, USA, V.24, 1997.

Moraes, M.A.P.V., Cesar, M.T.F. Photofission Cross Sections of ^{233}U and ^{239}Pu Near Threshold Induced by Gamma Rays From Thermal Neutron Capture. Nucl. Instrum. Methods in Physics Res., Sect.A Vol.277, p.467, 1989.

Mattuzzi, M., Bracco, A., Camera, F., Million, B., Pignanelli, M., Gaardhøje, J. J., Maj, A., Ramsøy, T., Tveter, T., Żelazny, Z. Thermal Fluctuation and Collisional Damping Effects in GDR Observables in Hot ^{176}W Nuclei. Physical Letters B, Vol. 364, pp. 13–18, 1995.

McLaughlin, A.F., Southee, A.E., Nuclear Medicine in Clinical Diagnosis and Treatment. New York: 711-35, 1994.

Nishioka, H., Verbaarschot, J.J.M., Weidenmüller, H.A., Yoshida, S. Statistical theory of precompound reactions: The multistep compound process. Annals of Physics, 172 (1), 67-99, 1986.

Nishioka. H., Weidenmüller, H.A., Yoshida, S. Statistical theory of precompound reactions: The multistep direct process. Annals of Physics, 183 (1), 166-187, 1988.

- Nishioka, H., Weidenmüller, H.A., Yoshida, S. Direct-reaction effects in compound-nucleus and multistep compound reactions. *Annals of Physics*, 193 (1),195-205,1989.
- Paar, N., Nikšić, T., Vretenar, D., Ring, P. Isotopic Dependence of the Pygmy Dipole Resonance. *Physics Letters B*, Vol. 606, pp. 288–294, 2005.
- H. Pekdoğan, Proton Hızlandırıcılarının Uygulama Alanları ve Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM)’nde Radyoizotop Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 61 s, 2011.
- Ring, P., Schuck, P. *The Nuclear Many-Body Problem*. Springer-Verlag. 716 p., New York, 1980.
- Sarpün, İ. H., Aydın, A., Kaplan, A., Koca, H., Tel, E. “Comparison of Fission Barrier and Level Density Models in (a,f) Reactions of Some Heavy Nuclei”, *Ann. Nucl. Energy*, 70, 175–179, 2014.
- Serber, R. The Production of High Energy Neutrons by Stripping. *Physical Review*, 72 (11), 1008-1016, 1947a.
- Serber, R. Nuclear Reactions at High Energies. *Physical Review*, 72 (11), 1114-1115, 1947b.
- Shirokov, Y.M., Yudin, N.P. *Nuclear Physics, Volume: 1*. Mir Publishers, 445p. Moscow, 1982.
- Tsoneva, N., Lenske, H. Pygmy Dipole Resonance in Exotic Nuclei. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, Vol. 59, 317–319, 2007.

Tamura, T., Udagawa, T., Lenske, H. Multistep direct reaction analysis of continuum spectra in reactions induced by light ions. *Physical Review C*, 26 379- 04, 1982.

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. VCH, Federal Republic of Germany, Fifth Completely Revised Edition, 1986.

Veysiere, A., Beil, H., Bergere, R., Carlos, P., Lepretre, A. A study of the photofission and photoneutron processes in the giant dipole resonance of ^{232}Th , ^{238}U and ^{237}Np , 1973.

Zardi, F. and Bortignon, P.F. Particle Decay of Giant Resonances. *Europhysic Letters*, Vol. 1 (6), pp. 281–285, 1986.

Wieland, O. vd., Search for the Pygmy Dipole Resonance in ^{68}Ni at 600 MeV/nucleon. *Physical Review Letters*, Vol. 102, 092502, 2009.

Wenrong., Z, Lu Hanlin and Yu Weixiang, *Chin. J. Nucl. Phys.* 15(4), 337, 1993.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan PEKDOĞAN
Doğum Yeri ve Yılı : Kırıkkale 10.03.1981
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-Mail :hakanpdogan@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kanuni Sağlık Meslek Lisesi Kırıkkale – 1998
Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Fen Ed. Fak. Fizik Bölümü – 2005
Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Fizik ABD. –2011

Çalıştığı Kurum

Kırıkkale Yüksek İhtisas Hastanesi

Yayınlar

SCI Yayınlar

1. Aydın, A., Pekdoğan, H., Kaplan, A., Sarpün, İ. H., Tel, E., Demir, B., Comparison of Level Density Models for the $^{60,61,62,64}\text{Ni}(p, n)$ Reactions of Structural Fusion Material Nickel from Threshold to 30 MeV. Received April 21; J Fusion Energ DOI 10.1007/s10894-015-9927-2, 2015.
2. Pekdoğan, H., Aydın, A., Sarpün, İ. H. Investigation of the effects of nuclear level density parameters on the cross sections for the $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ reaction. EPJ Wep of conferences 100, 01006, 2015.

Poster ve Sözlü Sunum ile Gösterimler (Ulusal ve Uluslararası)

Uluslararası sempozyum, kongre, workshoplar:

1. Pekdoğan, H., Aydın, A., The Calculation Of The Production Cross Section. $^{123,125}\text{Xe}$ And $^{128,129}\text{Ba}$ Radioisotopes. (Turkish Physical Society 29th Internatiol Physics Congress), 05-08 September, Bodrum / TURKEY, 2012.
2. Pekdoğan, H., Sarpün, İ. H., Aydın, A. Nükleer Seviye Yoğunluk Parametresinin Reaksiyon Tesir Kesitlerine Etkisinin İncelenmesi. VII. International Workshop on Nuclear Structure Properties, 27–29 October , Sinop / TURKEY, 2014.
3. Pekdoğan, H., Aydın, A., Sarpün, İ. H. Investigation of the effects of nuclear level density parameters on the cross sections for the $^{234}\text{U}(\gamma, f)$ reaction. (TESNAT 2015) April 23–26, Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye/TURKEY, 2015.

4. Aydin, A., Pekdogan, H., Sarpün, İ. H. The effects of nuclear level density parameters on photofission cross sections of $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ up to 20 MeV. (TESNAT 2016) April 28–30, Mustafa Kemal University, Hatay/ TURKEY, 2016.

