

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALAY HEDEFLERİNDEKİ FOTO-NÖTRON REAKSİYONLARI İÇİN SEVİYE
YOĞUNLUK MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Merve ERKAN

AĞUSTOS 2019

Fizik Anabilim Dalı'nda Merve ERKAN tarafından hazırlanan "KALAY HEDEFLERİNDEKİ FOTO-NÖTRON REAKSİYONLARI İÇİN SEVİYE YOĞUNLUK MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI" adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Saffet NEZİR

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Abdullah AYDIN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. M. Hicabi BÖLÜKDEMİR

Üye (Danışman) : Prof. Dr. Abdullah AYDIN

Üye : Doç. Dr. R. Gökhan TÜRECİ

.02./08/2019

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

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

KALAY HEDEFLERİNDEKİ FOTO-NÖTRON REAKSİYONLARI İÇİN SEVİYE YOĞUNLUK MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ERKAN, Merve

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Abdullah AYDIN

Ağustos 2019, 42 sayfa

Bu çalışmada kalay hedeflerin foto-nötron reaksiyonları için seviye yoğunluk modellerinin karşılaştırılması amaçlandı. Bunun için, Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) olmak üzere üç farklı seviye yoğunluk modeli kullanıldı. Kalay hedefleri için teorik tesir kesiti değerleri TALYS bilgisayar kodu kullanılarak hesaplandı. Elde edilen teorik tesir kesiti değerleri birbiri ile ve EXFOR veri tabanından alınan deneysel tesir kesiti değerleri ile karşılaştırıldı. $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,n)$ reaksiyonları için CTM ve GSM'nin BSFGM'e kıyasla deneysel tesir kesiti değerleriyle daha iyi uyum sağladıkları görülmekle beraber büyük bir farkın olmadığı görüldü. $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reaksiyonları için ise BSFGM'nin CTM ve GSM'e oranla çok daha iyi sonuçlar verdiği görüldü. Elde edilen sonuçlar teorik tesir kesiti değerlerinin deneysel tesir kesiti değerleri ile yaklaşık sonuçlar verdiğini gösterdi.

Anahtar kelimeler: Seviye Yoğunluk Modeli, Tesir Kesiti

ABSTRACT

COMPARISON OF THE LEVEL DENSITY MODELS FOR PHOTO-NEUTRON REACTIONS ON TIN TARGETS

ERKAN, Merve

Kırıkkale University Institute of Sciences and Technology

Department of Physics, Graduate Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Abdullah AYDIN

August 2019, 42 pages

In this study, it is aimed to compare the level density models of the photo-neutron reactions for the tin targets. To do this, three different level density models, which are constant temperature fermi gas model (CTM), back-shifted fermi gas model (BSFGM), and generalized super-fluid models (GSM), were used. The theoretical cross-section values of tin targets were calculated by using the TALYS computer codes. The calculated cross section values were compared with each other and with the experimental cross section values from the EXFOR database. For the $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,n)$ reactions, although CTM and GSM values are better fitted with the experimental cross section values when compared with BSFGM, a big difference was not observed. In $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reactions, BSFGM yielded better results than CTM and GSM. The obtained results showed that theoretical and experimental cross section values are approximately consistent.

Key Words: Level Density Model, Cross Section

TEŞEKKÜR

Bana bu tez konusunu veren, araştırmalarımnda yardımcı olan, çalışmalarım süresince karşılaştığım bütün zorlukları aşmam konusunda büyük bir sabırla beni yönlendiren, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Abdullah AYDIN'a sonsuz saygı ve şükranlarımı sunuyorum.

Bilgisayar programı ile çalıştığım zamanlarda yardımını esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN'e teşekkür ederim.

Çalışmam süresinde yararlandığım İngilizce kaynakların çevirilerinde yardımcı olan Sayın Dr. Mahmut KERTİL ve ailesine teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, desteklerini esirgemeyen değerli aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kalay Elementinin Özellikleri	3
1.2. Nükleer Tepkimeler	4
1.3. Tesir Kesiti	5
1.4. Nükleer Seviye Yoğunluğu	8
1.5. Seviye Yoğunluk Modelleri	9
1.5.1. Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM)	10
1.5.2. Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM)	14
1.5.3. Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM)	15
2. MATERYAL VE YÖNTEM	20
2.2. TALYS Kodu	20
2.3. NuDat 2.7	21
2.4. EXFOR Veri Tabanı	24
3. BULGULAR	25
3.1. $^{120}\text{Sn}(\gamma, n)^{119}\text{Sn}$ Reaksiyonu	25
3.2. $^{120}\text{Sn}(\gamma, 2n)^{118}\text{Sn}$ Reaksiyonu	27
3.3. $^{122}\text{Sn}(\gamma, n)^{121}\text{Sn}$ Reaksiyonu	29
3.4. $^{122}\text{Sn}(\gamma, 2n)^{120}\text{Sn}$ Reaksiyonu	30
3.5. $^{124}\text{Sn}(\gamma, n)^{123}\text{Sn}$ Reaksiyonu	32
3.6. $^{124}\text{Sn}(\gamma, 2n)^{122}\text{Sn}$ Reaksiyonu	34

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	37
KAYNAKLAR	39
TEZ ÇALIŞMASI ÇERÇEVESİNDE SUNULAN BİLDİRİLER.....	42



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Nükleer Reaksiyonların Mekanizması	5
1.2. Bir Nükleer Reaksiyonda Gelen Demet ve Dedektör Sisteminin Şematik Gösterimi ..	7
2.1. NuDat 2.7’de yer alan bilinen kararlı ve radyoaktif çekirdeklerin verilerinin yer aldığı gösterim	22
3.1. $^{120}\text{Sn}(\gamma,n)^{119}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesir kesitlerinin karşılaştırılması	26
3.2. $^{120}\text{Sn}(\gamma,2n)^{118}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesir kesitlerinin karşılaştırılması	28
3.3. $^{122}\text{Sn}(\gamma,n)^{121}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesir kesitlerinin karşılaştırılması	30
3.4. $^{122}\text{Sn}(\gamma,2n)^{120}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesir kesitlerinin karşılaştırılması	31
3.5. $^{124}\text{Sn}(\gamma,n)^{123}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesir kesitlerinin karşılaştırılması	33
3.6. $^{124}\text{Sn}(\gamma,2n)^{122}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesir kesitlerinin karşılaştırılması	35

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Bazı Kararlı Kalay İzotopları ve Bolluk Yüzdeleri	4
2.1. ¹¹⁹ Sn Taban Durum Özellikleri	22
2.2. ¹¹⁸ Sn Taban Durum Özellikleri	23
2.3. ¹²¹ Sn Taban ve İzomerik Durum Özellikleri	23
2.4. ¹²⁰ Sn Taban Durum Özellikleri	23
2.5. ¹²³ Sn Taban ve İzomerik Durum Özellikleri	23
2.6. ¹²² Sn Taban Durum Özellikleri	23
3.1. ^{120,122,124} Sn Hedeflerinin (γ,n) ve ($\gamma,2n$) Reaksiyonlarına Ait Eşik Enerjileri, S _n ve S _{2n} Enerjileri	25

SİMGELER DİZİNİ

$\omega^{tot}(E_x)$	Toplam durum yoğunluğu
$d\Omega$	Katı açısı
E_{cond}	Yoğunlaşma enerjisi
E_x	Uyarılma enerjisi
J	Spin
M_A	Atomik kütlesi
N	Hedefteki çekirdek sayısı
N_A	Avogadro sayısı
n_p	Demetteki mermi parçacıklarının yoğunluğu
n_t	Birim hacim başına hedef çekirdek sayısı
Q	Reaksiyon enerjisi
R	Reaksiyon hızı
U_c	Kritik enerji
Π	Parite
ρ	Hedefin yoğunluğu
$\rho^{tot}(E_x)$	Toplam seviye yoğunluğu
σ	Tesir kesiti
Φ	Akı
E_M	Çiftlenme Enerjisi

KISALTMALAR DİZİNİ

BSFGM	Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli
CTM	Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli

GDR
GSM
FGM

Dev Dipol Rezonans
Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli
Fermi Gaz Modeli



1. GİRİŞ

Fotonükleer reaksiyonlar, atom çekirdeğinin yapısının ve dinamiğinin anlaşılmasında önemli bir yere sahiptir. Bunun yanı sıra foto-nötron tesir kesitleri de fisyon ve füzyon reaktör teknolojisinde, aktivasyon analizlerinde, radyasyon transport ve korunmasında, radyoterapide, atık dönüşümlerinde, uyarılmış durumların incelenmesinde önemlidir (Chadwick, 2000; Ishkhanov ve Varlamov, 2004). Ayrıca seviye yoğunluk modelleri ve bu modellere ait fiziksel parametrelerin incelenmesi, bu modellerin ve parametrelerin nükleer reaksiyonlar üzerindeki etkilerinin araştırılması her zaman dikkat çekici olmuştur. Bu sebeple, bu tez çalışmasında hem sihirli çekirdek olması hem de astrofiziksel öneminden dolayı kalay izotopları üzerindeki foto-nötron reaksiyonları ele alınacaktır. Farklı seviye yoğunluk modellerinin ve bu modellere ait bazı fiziksel parametrelerin foto-nötron reaksiyonları üzerindeki etkileri incelenecektir.

Utsunomiya vd. (2009), $^{118-124}\text{Sn}$ izotopları için pigme dipol rezonans ile dengelenmiş foto-nötron ve nötron yakalama kanallarında γ şiddet fonksiyonu metodu ile foto-nötron tesir kesitlerini hesaplamışlardır. Sonuçlar, Lorentzian model ile oldukça uyumlu olduğu fakat HFB+QRPA modelinin eşğin hemen üzerinde tesir kesitini kayda değer biçimde daha az tahmin ettiğini göstermiştir. Araştırmacılar, Sn çekirdeği üzerinde düşük düzeyli şiddetin açıklanabilmesine yönelik, bu çalışmanın bulgularını temel alan daha ayrıntılı çalışmalar yapılmasını önermişlerdir.

Utsunomiya vd. (2011) tarafından yapılan bir diğer çalışmada $^{118-124}\text{Sn}$ izotopları için γ şiddet fonksiyonu, HFB+QRPA metodu kullanarak foto-nötron tesir kesitleri hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan γ şiddet fonksiyonu metodunun tesir kesitlerini hesaplamada makul verdiği gösterilmiştir.

Oprea vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, foto-nötron reaksiyonlarındaki izomerik durum üretimlerinin tesir kesitleri ile bunlara karşılık gelen bazı Cd, Sn, Mo, Sm izotopları için dev dipol rezonans bölgesinde standart TALYS kodu

kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada izomerik ölçüm için rastgele gama akısı tarifi ve deneysel izomerik oran yöntemleri kullanılarak ölçüm yapılmış ve elde edilen sonuçların Bremsstrahlung ile foton içeren nükleer reaksiyon sonucundan elde edilen verilerle kıyaslandı. Çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar ile teorik sonuçların iyi derecede uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Bajpeyi vd. (2016), Rutenyum ve Kalay izotoplarının, Gamow enerjisi aralığında proton ve alfa girişli reaksiyonların tesir kesitleri üzerinde çalışmışlardır. Özellikle p-çekirdek (p-process) sentezi açısından çalışmanın sonuçları önemlidir. Bu çalışmada, RMF (relativistic mean field) formalizmi içerisinde nükleer yoğunluklar hesaplanarak reaksiyon hızları, Hauser-Feshbach tarafından tasarlanan TALYS kodu ile hesaplandı. Nükleer hız ve yapı ile ilgili hesaplanan sonuçlar ile var olan teorik ve mevcut deneysel verilerin uyumlu olduğu gözlemlendi. Bu çalışma nükleon-mezon etkileşiminden başlayan RMF yoğunluklarının, (astrofiziksel süreçleri anlama ile ilgili) nükleer reaksiyon hızlarını hesaplamada işe yarayabileceğini göstermektedir.

Beil vd. (1971) tarafından yapılan çalışmada, $_{56}\text{Ba}$, $_{57}^{139}\text{La}$, $_{58}\text{Ce}$, $_{59}^{141}\text{Pr}$, $_{60}\text{Nd}$ elementleri için monokromatik foton ışıması kullanılarak toplam foto-nötron tesir kesitleri $\sigma(\gamma, n)$, $\sigma(\gamma, pn)$ ve $\sigma(\gamma, 2n)$ kısmi foto-nötron kısmi tesir kesitlerinin doğrudan ve eş zamanlı ölçülmesiyle elde edildi. Özellikle ^{141}Pr 'nin dev dipol rezonans modülasyonu daha önce yayınlanmış sonuçlarla kıyaslandı. Bütüncül bir model denemesi ile beraber, gözlemlenen yapının yüzeysel bir analizi parça-bütün çerçevesi içerisinde yapıldı.

Beil vd. (1974), çalışmalarında monokromatik foton ışıması değişkenini kullanarak, dev dipol rezonans bölgesinde Mo'nun çift katmanlı ^{92}Mo , ^{94}Mo , ^{96}Mo , ^{98}Mo ve ^{100}Mo izotopları için kısmi foto-nötron tesir kesitleri ($\sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, pn), \sigma(\gamma, 2n)$ ve $\sigma(\gamma, 3n)$) belirledi. Foto-nötron tesir kesitlerinin birleşik ölçümleri, A'nın bir fonksiyonu olarak mevcut birleşik tesir kesitleri ile karşılaştırıldı. Dev dipol rezonansı (GDR) genişletildiğinde dinamik kolektif modelin tahminleriyle uyumlu olarak A'nın yükseldiği gözlemlendi. Bu çalışmada bazı izospin yarılanma etkileri üzerine de yüzeysel olarak çalışıldı. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şunlardır: (a) GDR'nin düşük enerji bölgelerinde (γ, p) ve (γ, n) arasındaki güçlü mücadelede

(yarışta) çıkış kanallarının oluşmaktadır, (b) 26 MeV'e kadar ki birleşik toplam foton tesir kesitleri sonuçları önceki ağır çekirdek üzerine deneysel verileri doğrulamaktadır, (c) çalışmanın nicel veri kümeleri, foto-nötronun GDR üzerine katkısı olan FWHM ile hedef çekirdeğin kolektif düşük enerji özellikleri arasında bir korelasyon olduğunu göstermektedir.

Berman vd. (1969) çalışmalarında, 8 ile 29 MeV enerji aralığında foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak Eu^{153} , Gd^{160} , Ho^{165} ve W^{186} için foto-nötron tesir kesitlerini hesapladı. Radyasyon kaynağı, hızlı pozitronların yok oluşlarından elde edilen monoenerjik foton ışınmasıdır. Kısmi tesir kesitleri nötron çarpanı sayımı ile belirlenmiş ve tek ve çift foto-nötron olayları için belirlenmiş ortalama nötron enerjileri, tesir kesiti verisi ile eş zamanlı olarak zincir-oran metodu ile belirlenmiştir. Toplanan verilerden çıkarılan çekirdek bilgileri, dev rezonans parametrelerini, birleşik tesir kesitlerini ve bunların momentlerini, nükleer simetri enerjilerini, içsel kuadropol momentlerini ve nükleer seviye yoğunluğu parametrelerini kapsamaktadır. Bu verilerden çekirdekler için ortalama bir yarıçap parametresi ($R_0 = 1,26 \pm 0,02$) elde edilmeye çalışılmıştır.

1.1. Kalay Elementinin Özellikleri

Kalay eski çağlardan beri bilinen yöntemler kullanılarak, kimyasal indirgeme ile elde edilir. Metal olan kalay elementi yumuşak, dövülebilir, kolayca tel ve levha haline gelebilir. Düşük erime noktasına sahip olan kalay, oda sıcaklığında havaya ve suya karşı dayanıklıdır; asit ve bazlardan etkilenmediği için daha az dayanıklı olan metallerin (demir ve bakır gibi) kaplanmasında yani teneke yapılmasında kullanılır (Petrucci, 2012).

Periyodik cetvelde 14. Grupta yer alan kalay için (Latince yazılışı Stannum) Sn sembolü kullanılır. Atom numarası $Z=50$ olan kalayın ^{118}Sn , ^{119}Sn , ^{120}Sn , ^{122}Sn , ^{124}Sn vb. izotopları vardır.

Çizelge 1.1. Bazı Kararlı Kalay İzotopları ve Bolluk Yüzdeleri (Lilley, 2018).

İzotop	Bolluk (%)
¹¹⁸ Sn	24,22
¹¹⁹ Sn	8,25
¹²⁰ Sn	32,59
¹²² Sn	4,63
¹²⁴ Sn	5,79

1.2. Nükleer Tepkimeler

Birkaç radyoaktif çekirdek dışında, doğal olarak oluşan çekirdekler kararlıdır. Çekirdeklerin sırlarını ortaya çıkarmak için nükleer fizikçiler çekirdeklerin yapısı ve özellikleri hakkında daha yetkin bilgiler elde etmek amacıyla bir hedefe mermi parçacıklarını göndererek oluşan etkileşimleri incelerler. Böylece bir hedef çekirdek ve mermi arasındaki etkileşimin özellikleri ile çekirdeğin özellikleri anlaşılabilir çalışılır (Lilley, 2018).

Bir A çekirdeği üzerine bir a parçacığının gönderildiği b ve B ürünlerinin oluşturduğu iki elemanlı bir reaksiyon göz önüne alınsın. Bu reaksiyon aşağıdaki formda yazılır:



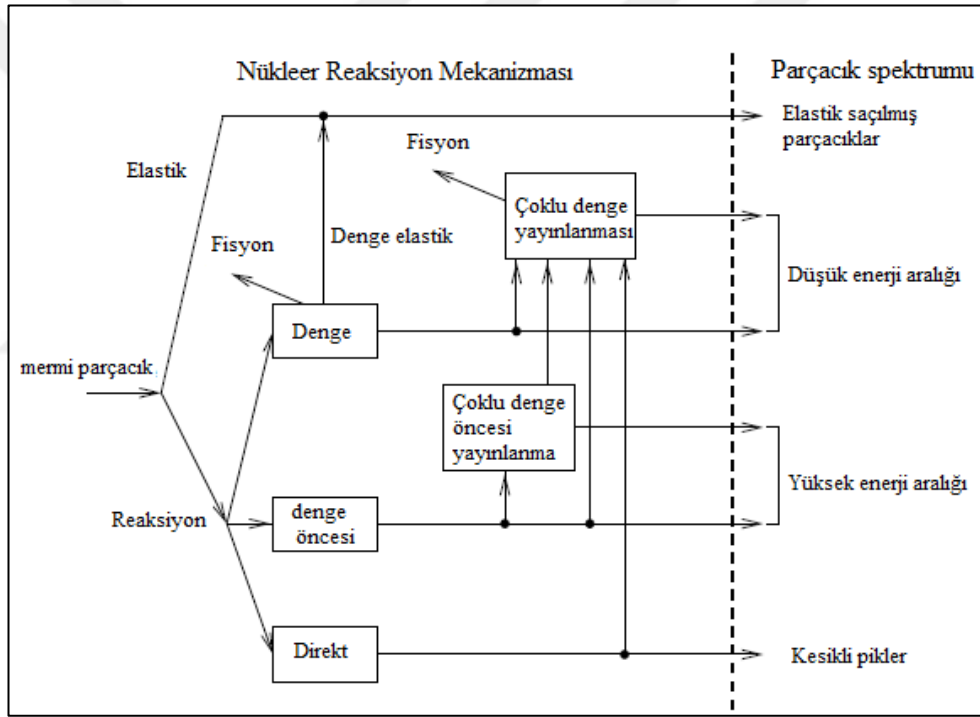
Burada $a + A$, giriş kanalı ve $b + B$ ise çıkış kanalı olarak adlandırılır.

Reaksiyon enerjisi veya Q değeri, enerji korunumuna göre ilk ve son parçacıkların c^2 ile çarpılan kütlelerinin farkı olarak verilir:

$$Q = (m_a + m_A - m_b - m_B) c^2 \quad (1.2)$$

Q değerinin negatif veya pozitif olmasına bağlı olarak reaksiyon endotermik veya ekzotermik olarak adlandırılır (Lilley, 2018).

Eşitlik 1.1'deki α parçacığı protonlar, döteronlar, α parçacıkları ve diğer çekirdekler olabilir. Bunlar pozitif yüklüdürler. Coulomb engelin aşılması için yeterli miktarda kinetik enerji gereklidir. Bu engelin büyüklüğü dikkate değer olabilir; örneğin, bir uranyum hedefi üzerine gönderilen alfa parçacığı için bu enerji yaklaşık 20 MeV'dir. Nötronlar böyle bir engelle karşılaşmadıkları için çok düşük enerjilerde bile ekzotermik reaksiyonları başlatabilir. Gama ışını fotonları da bir çekirdeğe yaklaştıklarında hiçbir engelle karşılaşmazlar. Elektromanyetik kuvvet yoluyla etkileşirler ve bir nükleer reaksiyon yaptıklarında hedef çekirdek içindeki akımların ve yüklerin dağılımı hakkında detaylı bilgi verirler (Lilley, 2018).



Şekil 1.1. Nükleer Reaksiyonların Mekanizması (TALYS 1.8, 2015)

1.3. Tesir Kesit

Bir nükleer çarpışmanın farklı son durumlarının her biri, kendine özgü meydana gelme ihtimaline veya tesir kesitine sahiptir (Lilley, 2018).

Hepsi aynı yönde hareket eden mermi parçacıklarının durgun bir hedef üzerine gönderildiğini düşünelim. Akı, Φ , birim zamanda hareket yönüne dik doğrultudaki birim alandan geçen parçacık sayısı olarak tanımlanabilir. Tüm parçacıklar aynı ϑ hızına sahip ise akı (Lilley, 2018);

$$\Phi = n_p \vartheta \quad (1.3)$$

ile verilir. Burada n_p demetteki mermi parçacıklarının sayısıdır. Genel olarak, parçacık hızlarının bir dağılımı vardır ve $n_p(\vartheta) d\vartheta$, hızları ϑ ile $\vartheta + d\vartheta$ aralığında olan mermi parçacıkların sayısı olarak verilirse bu durumda akı $\Phi = \int \vartheta n_p(\vartheta) d\vartheta$ integrali ile verilir.

$A(a, b)B$ şeklinde verilen bir reaksiyonun belli bir hızda oluştuğu varsayalım. Eğer, hedefteki çekirdekler bağımsız olarak hareket ediyorlarsa, parçacık demeti ile etkileşen çekirdek başına oluşan olay hızı (ya da reaksiyon hızı), gelen akı ile orantılıdır. Bu orantı sabiti, *tesir kesiti* (σ) olarak adlandırılır ve;

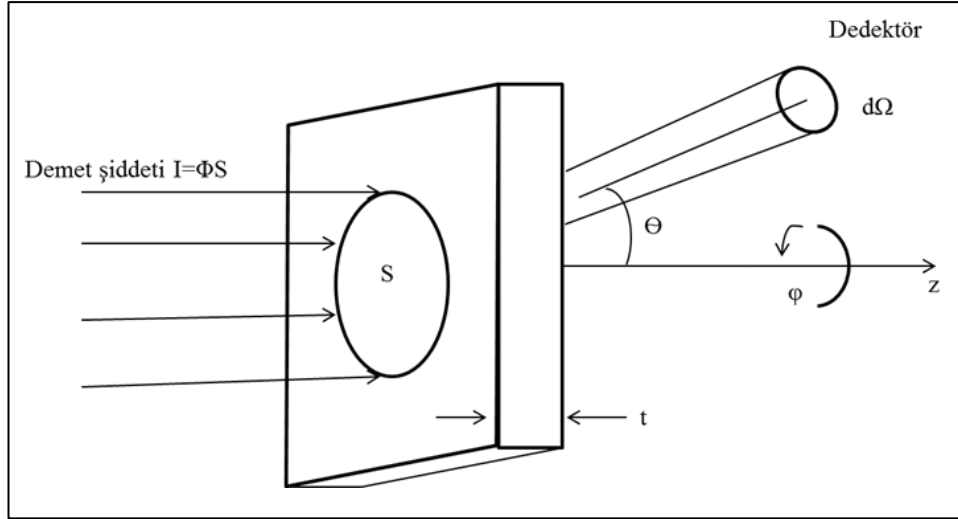
$$\sigma = \frac{\text{çekirdek başına olay hızı}}{\text{gelen akı}}$$

olarak yazılabilir. N tane hedef çekirdeği, gelen demet ile etkileşiyor ise;

$$R = N \sigma \Phi \quad (1.4)$$

ifadesiyle verilen bir reaksiyon hızına sahip olunur (Lilley, 2018).

Reaksiyon hızı, denklem 1.4'te bir hedef üzerine gönderilen tek yönlü bir demet için üretildi. Ancak hızın, gelen parçacıkların yönünden bağımsız olduğunu biliniyor ve farklı yönlerde hareket eden parçacıklar durumu için akıyı birim zamanda birim hacim içerisinde hareket eden tüm parçacıkların hareket ettikleri toplam uzunluk olarak tanımlanabilir. Bu tanım tek yönlü bir demet için yukarıda verilen ile uyumludur fakat bir skaler nicelik olan akının gerçek doğasını daha iyi açıklar (Lilley, 2018).



Şekil 1.2. Bir Nükleer Reaksiyonda Gelen Demet ve Dedektör Sisteminin Şematik Gösterimi (Lilley, 2018)

Şekil 1.2.'nin geometrisindeki demetin şiddeti, $I = \Phi S$, birim zamandaki parçacık sayısıdır ki buradaki S demetin gördüğü kesit alanıdır. Buradaki I ile hedef kalınlığı olarak verilen t 'nin birlikte kullanılmasıyla reaksiyon hızı için alternatif bir ifade şu şekilde yazılabilir:

$$R = N\sigma I / S = I\sigma n_t t \quad (1.5)$$

Burada n_t birim hacim başına hedef çekirdek sayısıdır. Eğer, hedef M_A atomik kütlede (atomik kütle biriminde) bilinen izotopik türler içeriyorsa; ρ hedefin yoğunluğu ve N_A Avogadro sayısı olmak üzere n_t 'nin $n_t = \rho N_A / M_A$ olarak ifade edileceğini biliriz. Bu yüzden, Eşitlik 1.5'i şu şekilde tekrar yazılabilir:

$$R = I (\rho t) \sigma N_A / M_A \quad (1.6)$$

Buradaki (ρt) niceliği, hedefteki madde miktarının bir ölçüsüdür ve birim alan başına kütle birimindedir (Lilley, 2018).

Tipik bir deneyde, bir reaksiyonun ürünleri farklı kutupsal açılarda (θ, ϕ) hedeften çıkarlar ve Şekil 1.2.'de gösterildiği gibi hedefin $d\Omega$ katı açısını gören bir detektöre

girerler. Bu ürünler, $d\Omega$ katı açısı, N hedef çekirdeklerin sayısı ve Φ akısı ile orantılı bir $dR(\theta, \phi)$ hızına sahiptirler. Orantı sabiti *diferansiyel tesir kesitidir* ($d\sigma/d\Omega$), bazen $d\sigma$; $d\sigma(\theta, \phi)/d\Omega$ olarak yazılır veya daha öz bir şekilde kutupsal açılara bağımlılığı vurgulamak için $\sigma(\theta, \phi)$ ile ifade edilir. Böylece,

$$dR(\theta, \phi) = d\sigma/d\Omega N\Phi d\Omega = \sigma(\theta, \phi)N\Phi d\Omega \quad (1.7)$$

yazılır. Tesir kesiti σ , yukarıdaki diferansiyel tesir kesitinin tüm küre üzerinden yani tüm θ ve ϕ açıları üzerinden integraline eşittir:

$$\sigma = \int \sigma(\theta, \phi) d\Omega \quad (1.8)$$

Başlangıç koşulları verilen bir durum için birçok farklı reaksiyon, farklı olasılıklarla oluşabilir. Her biri, kendi kısmi tesir kesitine σ_i (ve kısmi diferansiyel tesir kesitine) sahiptir ve toplam etkileşim olasılığı $\sigma_T = \sum_i \sigma_i$ şeklinde kısmi tesir kesitlerinin toplamından oluşan toplam tesir kesitiyle ölçülmektedir (Lilley, 2018).

Tesir kesiti alan boyutundadır ve literatürde birkaç farklı birimle ifade edilir. En yaygın olan birim barn'dır ($1b = 10^{-28} m^2$). Bu yaklaşık olarak $A = 100$ kütle numaralı bir çekirdeğin geometrik kesiti alanına eşittir (Lilley, 2018).

1.4. Nükleer Seviye Yoğunluğu

Tesir kesitlerinin istatistiksel modellerinde, ayrık seviye bilgileri ulaşılabilir veya tam olmadığında nükleer seviye yoğunlukları uyarılma enerjisi seviyelerinde kullanılmaktadır. TALYS'te seviye yoğunlukları için fenomenolojik analitik denklemlerden mikroskobik modellerden elde edilerek tablolaştırılmış seviye yoğunluklarına kadar çeşitli seviyeler kullanılır (Koning vd., 2015). Bunların tamamı Koning ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan çalışmasında yer almaktadır (Koning vd., 2008). Notasyonu kurmak için önce bazı genel tanımları verelim. Seviye yoğunluğu $\rho(E_x, J, \Pi)$ bir uyarılma enerjisi E_x (birimi MeV), belirli bir J spini ve Π paritesi için nükleer seviye sayılarına karşılık gelir. Toplam seviye yoğunluğu

$\rho^{tot}(E_x)$, E_x , civarında birim MeV enerjideki toplam seviye sayılarına karşılık gelir ve spin üzerindeki seviye yoğunluğu ile paritenin toplanmasıyla elde edilir (Koning vd., 2015).

$$\rho^{tot}(E_x) = \sum_J \sum_{\Pi} \rho(E_x, J, \Pi) \quad (1.9)$$

Her bir seviyede $2J + 1$ durumunu içeren, toplam durum yoğunluğunun $\omega^{tot}(E_x)$ yükselmesine sebep olan manyetik kuantum sayısı, M 'de nükleer seviyeler bozunuma uğramıştır.

$$\omega^{tot}(E_x) = \sum_J \sum_{\Pi} (2J + 1) \rho(E_x, J, \Pi) \quad (1.10)$$

Seviye yoğunlukları analitik denklemlerle verildiğinde, genellikle aşağıdaki gibi çarpanlarına ayrılırlar.

$$\rho(E_x, J, \Pi) = P(E_x, J, \Pi) R(E_x, J) \rho^{tot}(E_x) \quad (1.11)$$

Bu denklemde, $P(E_x, J, \Pi)$ parite dağılımını ve $R(E_x, J)$ ise spin dağılımını ifade etmektedir. TALYS'teki seviye yoğunluk modellerinde, parite eş dağılımı varsayılmıştır. Örneğin,

$$P(E_x, J, \Pi) = \frac{1}{2} \quad (1.12)$$

Mikroskobik seviye yoğunluğu tablolarında olan durum gibi eşit olmayan paritelerin seçilmesi ihtimali hesaba katılmaktadır (Koning vd., 2015).

1.5. Seviye Yoğunluk Modelleri

Temel nükleer modellerden Fermi Gaz Modeli kullanılarak oluşturulan nükleer seviye yoğunluk modelleri, Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM), Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli

(GSM) ve Mikroskobik Seviye Yoğunluk Modelleridir (GFM, HFM). Çalışmada ise Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) olmak üzere üç farklı seviye yoğunluk modeli kullanılmıştır.

1.5.1. Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM)

Sabit sıcaklık modelinde (CTM), Gilbert ve Cameron (1965) tarafından açıklandığı gibi, uyarılma enerjisi aralığı, sabit enerji sıcaklığı kanununun çalışması ve E_M 'nin üzerinde bir yüksek enerji kısmının (Fermi gaz modeli) çalışmasıyla, 0 MeV'den çiftlenim enerjisi E_M 'e kadar düşük enerji kısmına bölünmektedir (Koning vd., 2015). Bu nedenle, toplam seviye yoğunluğu için,

$$\begin{aligned}\rho^{tot}(E_x) &= \rho_T^{tot}(E_x), & E_x \leq E_M \\ &= \rho_F^{tot}(E_x), & E_x \geq E_M\end{aligned}\quad (1.13)$$

Eşitlik 1.13'e ulaşılır ve benzer şekilde seviye yoğunluğu için aşağıdaki denklem ile verilir.

$$\begin{aligned}\rho(E_x, J, \Pi) &= \frac{1}{2} R_F(E_x, J) \rho_T^{tot}(E_x), & E_x \leq E_M \\ &= \rho_F(E_x, J, \Pi), & E_x \geq E_M\end{aligned}\quad (1.14)$$

Fermi gaz denklemi için etkin uyarılma enerjisi olarak $U = E_x - \Delta^{CTM}$ kullanılır. Enerji artışı için aşağıdaki denklemi kullanılır.

$$\Delta^{CTM} = \chi \frac{12}{\sqrt{A}}, \quad (1.15)$$

$$\begin{aligned}\chi &= 0, & \text{tek-tek için} \\ &= 1, & \text{tek-çift için} \\ &= 2, & \text{çift-çift için}\end{aligned}\quad (1.16)$$

CTM’de olağan ayarlanabilir bir çiftleme parametresinin kullanılmadığına dikkat ediniz. TALYS’te eşitlik 1.15’teki 12 sayısı çift sabiti anahtarı ile değiştirilebilir. Bu diğer yoğunluk seviye modellerinde de geçerlidir (Koning vd., 2015).

Düşük uyarılma enerjisi için, CTM, birinci ayırık seviyelerin yığılmalı histogramının $N(E_x)$ deneysel deliline bağlıdır. Bu histogram verileri sabit sıcaklık kanunu olarak bilinen aşağıdaki üstel kural ile elde edilebilmektedir (Koning vd., 2015).

$$N(E_x) = \exp\left(\frac{E_x - E_0}{T}\right) \quad (1.17)$$

Nükleer sıcaklık T ve E_0 formülü deneysel ayırık seviyelere uyarlamaya yarayan parametrelerdir. Dolayısıyla, toplam seviye yoğunluğunun sabit sıcaklık kısmı aşağıdaki formül ile bulunur (Koning vd., 2015).

$$\rho_T^{tot}(E_x) = \frac{dN(E_x)}{T} = \frac{1}{T} \exp\left(\frac{E_x - E_0}{T}\right) \quad (1.18)$$

Çok yüksek enerjiler için, Fermi gaz modelleri çok daha uygundur ve toplam seviye yoğunluğu eşitlik 1.18 ile verilmektedir. ρ_T^{tot} ve ρ_F^{tot} ifadeleri kendilerinin ve türevlerinin birbirinin aynı olduğu bir E_M çiftlenim enerjisinde eşleştirilmelidir. İlk olarak, süreklilik şunu gerektirmektedir (Koning vd., 2015);

$$\rho_T^{tot}(E_M) = \rho_F^{tot}(E_M) \quad (1.19)$$

Eşitlik 1.18’i bu denkleme uyguladığımızda doğrudan aşağıdaki denkleme ulaşmaktayız.

$$E_0 = E_M - T \ln [T \rho_T^{tot}(E_M)] \quad (1.20)$$

İkinci olarak, türevlerin sürekliliği şunu gerektirmektedir.

$$\frac{d\rho_T^{tot}}{dE_x}(E_M) = \frac{d\rho_F^{tot}}{dE_x}(E_M) \quad (1.21)$$

Eşitlik 1.18'i bu denkleme girdiğimizde doğrudan aşağıdaki durumlara ulaşılmaktadır.

$$\frac{\rho_T^{tot}(E_M)}{T} = \frac{d\rho_F^{tot}}{dE_x}(E_M) \quad (1.22)$$

ya da

$$\frac{1}{T} = \frac{d \ln \rho_F^{tot}}{dE_x}(E_M) \quad (1.23)$$

Prensipte a , σ^2 , K_{rot} vb. enerji bağımlı denklemleri içeren Fermi gazı türü bütün denklemlerde eşitlik 1.23 analitik olarak geliştirilebilir, fakat pratikte herhangi bir seviye yoğunluğu modelini eşleştirme probleminde kullanmak için TALYS'te nümerik yaklaşım kullanılmaktadır. Bunun için eşitlik 1.23 ters sıcaklığını nümerik olarak ρ_F^{tot} ile yeterince yoğun bir enerji gridinde hesaplayarak elde edilir (Koning vd., 2015).

Eşleştirme problemi T , E_0 , ve E_M üç bilinmeyenli 1.20 ve 1.23 eşitlikleri ile gösterilen iki farklı durum vermektedir. Bu nedenle, yeni bir sınırlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu, ayrık seviye bölgesinde sabit sıcaklık kanununun deneysel ayrık seviyeleri üretmesinin istenmesiyle elde edilebilmektedir. Şöyle ki ρ_T^{tot} aşağıdaki kanuna uymak zorundadır (Koning vd., 2015).

$$N_U = N_L + \int_{E_L}^{E_U} dE_x \rho^{tot}(E_x) \quad (1.24)$$

Veya eşitlik 1.18 bu denklemde yerine konulursa,

$$N_U = N_L + \left(\exp\left[\frac{E_U}{T}\right] - \exp\left[\frac{E_L}{T}\right] \right) \exp\left[\frac{-E_0}{T}\right] \quad (1.25)$$

1.20, 1.23 ve 1.25 eşitliklerin kombinasyonu, T , E_0 , ve E_M değişkenlerini belirlemektedir. Eşitlik 1.20, Eşitlik 1.25'te yerine yazılırsa elde edilen denklem,

$$T \rho_F^{tot}(E_M) \exp\left[\frac{-E_M}{T}\right] \left(\exp\left[\frac{E_U}{T}\right] - \exp\left[\frac{E_L}{T}\right] \right) + N_L - N_U = 0 \quad (1.26)$$

Bu denklem kullanılarak, E_M değerine bir dizi tekrarlı denklem ve eş zamanlı olarak 1.23 eşitliğinden elde edilecek tablo verisi ile ulaşılabilir. N_L ve N_U seviyeleri, $\rho_T(E_x)$ 'in gözlemlenen ayırık fazlar için en iyi betimlemeyi vermesi için seçilmiş ve bunlar nükleer yapı veri tabanında kaydedilmiştir. Ayırık seviyeleri hiç veya yeterince verilmemiş çekirdeklerin sıcaklıkları TALYS'te ampirik formüle bağlı kalarak elde edilir (Koning vd., 2015).

$$T = -0,22 + \frac{9,4}{\sqrt{A(1+\gamma\delta W)}} \quad (1.27)$$

Etkini model (effective model) için,

$$T = -0,25 + \frac{10,2}{\sqrt{A(1+\gamma\delta W)}} \quad (1.28)$$

ve, kolektif model için, γ değeri $\gamma = \gamma_1/A^{1/3} + \gamma_2$ ($\gamma_1 = 0,433090$) denkleminde elde edilmiş ve devamında, E_M değerini doğrudan eşitlik 1.23'ten ve E_0 değeri ise 1.2 eşitliğinden elde edilir. Yine, 1.27 ve 1.28 eşitliklerini yeterli ayırık seviye bilgileri var olan çekirdeklerin bütün bireysel verilerini fit ettirerek elde ediyoruz. Birkaç durumda, T için kullanılan genel denklemi E_M için ölçekli olmayan bir değer üretmektedir. Bu durumda, çiftlenim enerjisinin ampirik denkleme başvurulur (Koning vd., 2015). Etkin model için,

$$E_M = 2,3 + 253/A + \Delta^{CTM} \quad (1.29)$$

ve, sonucunda eşitlik 1.23'ten T 'nin elde edildiği kolektif model (collective model) için,

$$E_M = 2,67 + 253/A + \Delta^{CTM} \quad (1.30)$$

ifadesi verilir (Koning vd., 2015).

1.5.2. Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM)

Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modelinde (BSFGM) (Dilg vd., 1973), eşleştirme enerjisi ayarlanabilir bir parametre olarak ele alınmakta ve Fermi gaz denklemi 0 MeV'e kadar olan bütün aralıkta kullanılmaktadır. Böylece toplam seviye yoğunluğu için 1.31 ile verilen denklem kullanılır (Koning vd., 2015).

$$\rho_F^{tot}(E_x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp[2\sqrt{aU}]}{a^{1/4}U^{5/4}} \quad (1.31)$$

Seviye yoğunluğu için ise

$$\rho_F(E_x, J, \Pi) = \frac{1}{2} \frac{2J+1}{2\sigma^3\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(J+\frac{1}{2})^2}{2\sigma^2}\right] \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp[2\sqrt{aU}]}{a^{1/4}U^{5/4}} \quad (1.32)$$

ifadesi kullanılır. Bu denklemler, a ve σ^2 için enerji bağımlı denklemlerinde olduğu gibi, etkin uyarma enerjisi $U = E_x - \Delta^{BSFGM}$ yi içermektedir. Enerji artışı,

$$\Delta^{BSFGM} = \chi \frac{12}{\sqrt{A}} \quad (1.33)$$

$$\begin{aligned} \chi &= -1, & \text{tek-tek için} \\ &= 0, & \text{tek-çift için} \\ &= 1, & \text{çift-çift için.} \end{aligned} \quad (1.34)$$

ifadesi ile verilir. Ve δ her bir çekirdek için deneysel veriye fit ederken ayarlanabilir bir parametredir (Koning vd., 2015).

U 'nun sıfıra doğru yaklaştığı zaman eşitlik 1.31 ve 1.32'nin ıraksak olması orijinal BSFGM'nin nükleer model analizlerinde olağan bir seviye yoğunluk seçeneği olarak kullanılmasını engelleyebilecek bir problemdir. Bu probleme Grossjean ve Feldmeier tarafından bir çözüm bulunmuş ve Demetriou ve Goriely tarafından

uygulanmış ve TALYS'te de kabul edilmiştir (Koning, Hilaire ve Goriely, 2015). BSFGM için toplam seviye yoğunluğu denklemi,

$$\rho_{BSFGM}^{tot}(E_x) = \left[\frac{1}{\rho_T^{tot}(E_x)} + \frac{1}{\rho_0(t)} \right]^{-1} \quad (1.35)$$

dir. Burada ρ_0 ise aşağıdaki formül ile verilmektedir.

$$\rho_0(t) = \frac{\exp(1)}{24\sigma} \frac{(a_n + a_p)^2}{\sqrt{a_n a_p}} \exp(4a_n a_p t^2) \quad (1.36)$$

$a_n = a_p = a/2$ ve $t = \sqrt{U/a}$ denklemi ile verilmektedir.

Genel bir spin dağılımı ile seviye yoğunluk gösterimi,

$$\rho_{BSFGM}(E_x, J, \Pi) = \frac{1}{2} \frac{2J+1}{2\sigma^2} \exp \left[- \frac{(J+\frac{1}{2})^2}{2\sigma^2} \right] \rho_{BSFGM}^{tot}(E_x) \quad (1.37)$$

gibidir. Özet olarak, BSFGM için a ve δ olmak üzere iki ayarlanabilir parametre bulunmaktadır (Koning vd., 2015).

1.5.3. Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM)

Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) süperiletken eşleme korelasyonlarını Barden-Cooper-Schröffer teorisine göre ele alınmaktadır. Modelin fenomenolojik versiyonu, faz geçişi ile karakterize edilmiştir (Ignatyuk vd., 1979; Ignatyuk vd., 1993). Bu sebeple, GSM'nin düşük enerji ve yüksek enerji bölgelerinde farklılaşması, farklılaşma doğal olarak teoriden gelmiş olmasına ve eşleme enerjisi ayrık seviyesine bağlı olmamasına rağmen, CTM'i andırmaktadır. Bu nedenle model, düşük enerjilerde sabit sıcaklık benzeri bir davranış sergilemektedir (Koning vd., 2015). Seviye yoğunluk denklemleri için, toplam seviye yoğunluğu genel formülü,

$$\rho^{tot}(E_x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{e^S}{\sqrt{D}} \quad (1.38)$$

idi. Burada S entropi ve D ise büküm noktası yaklaşımı ile ilgili bir ifadedir. GSM için bu denklemin iki formu vardır: biri kritik enerji U_C 'nin altında ve diğeri ise üzerindedir (Koning vd., 2015).

U_C 'nin altındaki enerjiler için seviye yoğunluğu termodinamik fonksiyon olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$U_C = a_c T_c^2 + E_{cond} \quad (1.39)$$

Burada E_{cond} , yoğunlaşma enerjisi, kritik T_c sıcaklığı ise

$$T_c = 0,567 \Delta_0 \quad (1.40)$$

dır.

Eşleme korelasyon fonksiyonu ise aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\Delta_0 = \frac{12}{\sqrt{A}} \quad (1.41)$$

Bu korelasyon fonksiyonu, aynı zamanda Fermi gazı fazına göre süperakışkan fazındaki azalmayı karakterize eden yoğunlaşma enerjisi (condensation) E_{cond} 'yi de belirlemektedir. Bu aşağıdaki formül ile verilmektedir.

$$E_{cond} = \frac{3}{2\pi^2} a_c \Delta_0^2 \quad (1.42)$$

Burada a_c kritik seviye yoğunluğu parametresi aşağıdaki iteratif (yinelemeli) denklem ile verilmektedir.

$$a_c = \tilde{a} \left[1 + \delta W \frac{1 - \exp(-\gamma a_c T_c^2)}{a_c T_c^2} \right] \quad (1.43)$$

Eşitlik 1.43 kabuk etkilerinin yaklaşık olarak göz önünde bulundurulduğunu göstermektedir. Seviye yoğunluğunun belirlenmesi için, bu formülü kritik entropi S_c için hatırlarsak,

$$S_c = 2a_c T_c \quad (1.44)$$

Kritik belirleyici D_c ,

$$D_c = \frac{144}{\pi} a_c^3 T_c^5 \quad (1.45)$$

ve kritik spin sınır parametresi σ_c^2 ,

$$\sigma_c^2 = 0,01389 A^{5/3} \frac{a_c}{\tilde{a}} T_c \quad (1.46)$$

dır.

Şimdi U_c 'de her şey belirlenmiş olup, U_c 'nin altındaki seviye yoğunluğunu tanımlamak için süperakışkan faz denklemini (EOS) kullanabiliriz. Bunun için, etkin bir uyarma enerjisi tanımlınır (Koning vd., 2015).

$$U' = E_x + \chi \Delta_0 + \delta \quad (1.47)$$

Burada,

$$\begin{aligned} \chi &= 2, & \text{tek-tek için} \\ &= 1, & \text{tek-çift için} \\ &= 0, & \text{çift-çift için.} \end{aligned} \quad (1.48)$$

Ve δ her bir çekirdek için deneysel veriyi en iyi şekilde tarif edebilmek için ayarlanabilir bir parametredir. Yine, BSFGM veya CTM için χ kullanımının farklı olduğuna dikkat edilmelidir.

$$\varphi^2 = 1 - \frac{U'}{U_c} \quad (1.49)$$

Şeklinde tanımlanırsa, $U' \leq U_c$ için φ ve T süper akışkan EOS formuna uygun olurlar.

$$\varphi = \tanh\left(\frac{T_c}{T}\varphi\right) \quad (1.50)$$

ve

$$T = 2T_c\varphi \left[\ln\frac{1+\varphi}{1-\varphi}\right]^{-1} \quad (1.51)$$

olur. $U' \leq U_c$ için diğer gerekli fonksiyonlar yerine yazılırsa entropi S ,

$$S = S_c \frac{T_c}{T} (1 - \varphi^2) = S_c \frac{T_c U'}{T U_c} \quad (1.52)$$

elde edilir. Belirleyici D ,

$$D = D_c (1 - \varphi^2)(1 + \varphi^2)^2 = D_c \frac{U'}{U_c} \left(2 - \frac{U'}{U_c}\right)^2 \quad (1.53)$$

ve spin sınır parametresi,

$$\sigma^2 = \sigma_c^2 (1 - \varphi^2) = \sigma_c^2 \frac{U'}{U_c} \quad (1.54)$$

şeklinde yazılabilir. Sonuç olarak, seviye yoğunluğu mevcut durumda bütün enerji aralığı için belirlenebilir. $U' \leq U_c$ için toplam seviye yoğunluğu eşitlik 1.52 ve 1.54 kullanılarak aşağıdaki denklem ile elde edilir (Koning vd., 2015).

$$\rho_{GSM}^{tot}(E_x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{e^S}{\sqrt{D}} \quad (1.55)$$

Benzer şekilde, seviye yoğunluğu;

$$\rho_{GSM}(E_x, J, \Pi) = \frac{1}{2} R_F(E_x, J) \rho_{GSM}^{tot}(E_x) \quad (1.56)$$

dir.

$U' \geq U_C$ için enerji artışında CTM ve BSFGM için eşleme düzeltmeleri farklı olmasına karşın FGM kullanışıdır. Toplam seviye yoğunluğu,

$$\rho_{GSM}^{tot}(E_x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{\pi} \exp[2\sqrt{aU}]}{12 a^{1/4} U^{5/4}} \quad (1.57)$$

olarak ve Etkin uyarma enerjisi $U = E_x - \Delta^{GSM}$ şeklinde tanımlanmıştır. Buradan

$$\Delta^{GSM} = E_{cond} - \chi\Delta_0 - \delta \quad (1.58)$$

dır. Yüksek-enerji bölgesinde spin sınır parametresi ifadesi,

$$\sigma^2 = I_0 \frac{a}{\tilde{a}} \sqrt{\frac{U}{a}} \quad (1.59)$$

ile ve I_0 değeri aşağıdaki formül ile verilmektedir.

$$I_0 = \frac{\frac{2}{5} m_0 R^2 A}{(\hbar c)^2} \quad (1.60)$$

Seviye yoğunluğu aşağıdaki formül ile verilmektedir.

$$\rho_{GSM}(E_x, J, \Pi) = \frac{1}{2} R_F(E_x, J) \rho_{GSM}^{tot}(E_x) \quad (1.61)$$

Çiftlenim enerjisinde örneğin $E'_x = U_c - \chi\Delta_0 - \delta$ için, eşitlik 1.55 ve 1.57'nin eşleştiğini doğrulamak kolaydır ve böylece toplam seviye yoğunluğu mükemmel şekilde süreklidir. Kısaca, GSM için a ve δ iki ayarlanabilir parametredir (Koning vd., 2015).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, kalay hedeflerindeki Sn izotoplarının foto-nötron reaksiyonları için deneysel sonuçlar ile farklı seviye yoğunluk modellerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

2.1. Çalışma Yöntemi

Bu çalışmaya konu olan kalay izotoplarının foto-nötron reaksiyonlarına ait teorik tesir kesiti hesaplamaları üç farklı seviye yoğunluk modeli için TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı. Hesaplamalarda kullanılan seviye yoğunluk modelleri Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM)'dir. Böylece TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kodu kullanılarak elde edilen ve EXFOR deneysel veri kütüphanesinden alınan veriler, Grapher 8 bilgisayar programı kullanılarak çalışmaya konu olan her reaksiyon için ayrı ayrı grafiğe aktarıldı. Elde edilen hesaplamalar kaydedilerek deneysel tesir kesiti verilerine en iyi uyum sağlayan nükleer seviye yoğunluk modeli belirlendi.

2.2. TALYS Kodu

TALYS bilgisayar kodunu yaratma fikri, Arjan Koning, Stephan Hilaire, Stephane Goriely tarafından 1998'de nükleer reaksiyon bilgilerini tek bir yazılım paketinde toplamaya karar verdiklerinde doğdu. Amaçları, nükleer reaksiyonların eksiksiz ve doğru bir simülasyonunu sağlamaktı. TALYS, temel bilimsel deneylerin analizinde için veya uygulamalarında için nükleer veri üretmek için kullanılır. Çoğu bilimsel proje gibi, TALYS daima gelişme aşamasındadır. 26 Aralık 2015 tarihinde, kodun en son resmi sürümü olan TALYS 1.8 güncellenmiştir (Koning vd., 2015).

TALYS, Linux işletim sisteminde çalışan ve fortran programlama diline sahip, nükleer reaksiyonların analizi ve tahmini için oluşturulmuş bir bilgisayar kod programıdır. Simülasyon reaksiyonlarda nötron, proton, döteron, triton, ^3He , α parçacıkları ve γ ışınları 1 keV – 200 MeV enerji bölgesinde çalışılabilir. Hedef çekirdek kütleleri için 12 ve daha ağır kütleli olma şartı vardır ($12 < A < 339$).

Nükleer model ve süreçlerin veri tabanı ile kombinasyonlarında, optik model, birleşik çekirdek istatistiksel teori, doğrudan reaksiyonlar (elastik ve elastik olmayan saçılmalar) ve denge öncesi süreçler teorik analiz tabanında yapılabilmektedir.

TALYS çıktı dosyalarında; esnek, esnek olmayan ve toplam tesir kesiti, elastik saçılma açısal dağılımlar; kesikli seviyelerde açısal dağılımlar; izomerik ve taban durum tesir kesiti, toplam parçacık (n,xn), (n,xp) v.b enerji ve çift katlı diferansiyel tesir kesitleri, tekli ya da çoklu emisyon tesir kesitleri, ürün çekirdeklerin oluşum tesir kesiti sonuçları elde edilebilir (Koning vd., 2015).

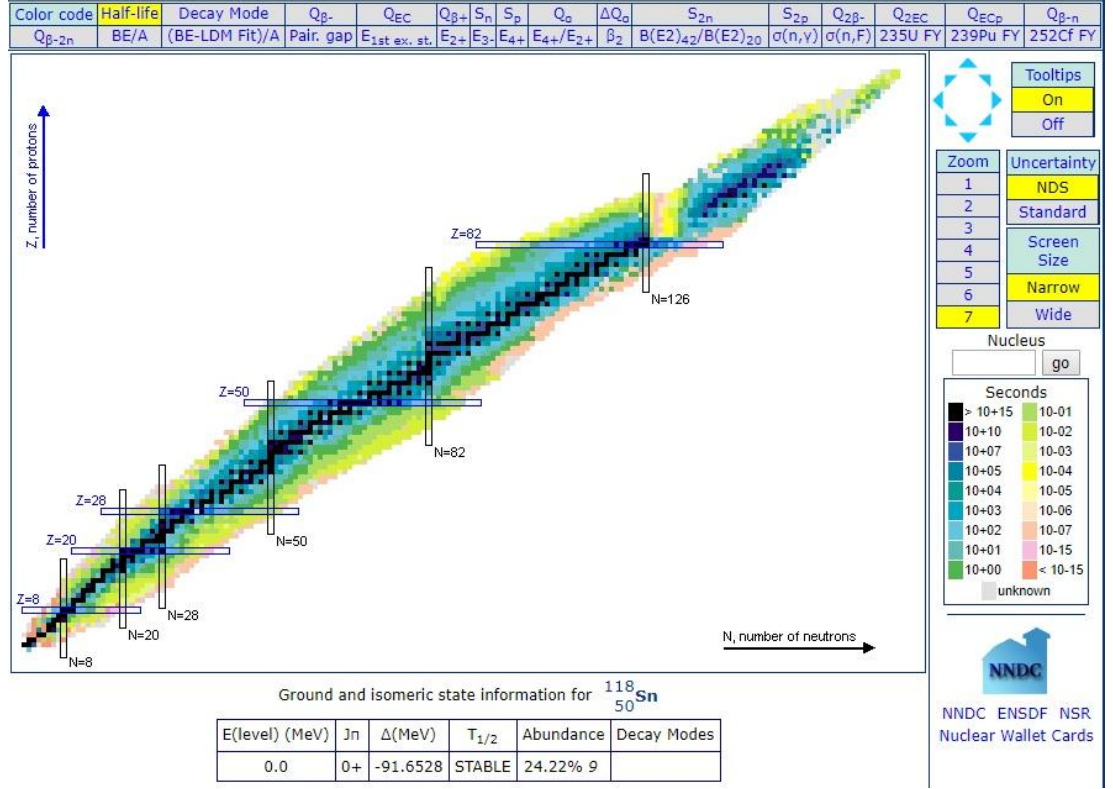
2.3. NuDat 2.7

Brookhaven Ulusal Laboratuvarında yer alan Amerikan Ulusal Nükleer Veri Merkezi (NNDC), (<http://www.nndc.bnl.gov>), temel nükleer araştırmalar ve uygulamalı nükleer teknolojiler için nükleer fizik verilerini toplar, değerlendirir ve yayar. NNDC, nükleer veriler için dünya çapında bir kaynaktır. NNDC'nin izleri 1952'e kadar uzanmaktadır (NuDat 2.7).

NNDC servislerinin kullanıcıları için sağladığı mevcut bilgiler, NNDC'nin ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ve bütün dünyada işbirliği yapan veri merkezlerinin ve diğer ilgili grupların ortak çabalarının bir ürünüdür (NuDat 2.7).

NNDC aşağıdaki alanlarda uzmanlaşmıştır:

- Nükleer yapı ve düşük enerjili nükleer reaksiyonlar,
- Nükleer veritabanları ve bilgi teknolojisi,
- Nükleer veri derleme ve değerlendirme.



Şekil 2.1. NuDat 2.7’de yer alan bilinen kararlı ve radyoaktif çekirdeklerin verilerinin yer aldığı gösterim.

Tez çalışmasına konu olan $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,n)$ ve $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reaksiyonlarının çıkış kanalında yer alan kalay izotoplarına ait taban durum ve izomerik durum özellikleri NuDat 2.7 veri tabanından alınarak tablo haline getirilmiştir.

Çizelge 2.1. ^{119}Sn Taban Durum Özellikleri (NuDat 2.7)

E (MeV)	J^{π}	Δ (MeV)	$T_{1/2}$	Bolluk	Bozunma Türü
0,0	$1/2^+$	-90,0650	Kararlı	% 8,59	
0,0895	$11/2^-$	-89,9755	293,1 gün		İç dönüşüm : % 100

Çizelge 2.2. ^{118}Sn Taban Durum Özellikleri (NuDat 2.7)

E(MeV)	J^π	$\Delta(\text{MeV})$	$T_{1/2}$	Bolluk	Bozunma Türü
0,0	0^+	-91,6528	Kararlı	% 24,22	

Çizelge 2.3. ^{121}Sn Taban ve İzomerik Durum Özellikleri (NuDat 2.7)

E (MeV)	J^π	$\Delta(\text{MeV})$	$T_{1/2}$	Bozunma Türü
0,0	$3/2^+$	-89,1972	27,03 saat	β^- : % 100,00
0,0063	$11/2^-$	-89,1909	43,9 yıl	İç dönüşüm : %77,60 β^- : %22,40

Çizelge 2.4. ^{120}Sn Taban Durum Özellikleri (NuDat 2.7)

E (MeV)	J^π	$\Delta(\text{MeV})$	$T_{1/2}$	Bolluk	Bozunma Türü
0,0	0^+	-91,0983	Kararlı	%32,58	

Çizelge 2.5. ^{123}Sn Taban ve İzomerik Durum Özellikleri (NuDat 2.7)

E(MeV)	J^π	$\Delta(\text{MeV})$	$T_{1/2}$	Bozunma Türü
0,0	$11/2^-$	-87,8161	129,2 gün	β^- : % 100,00
0,0246	$3/2^+$	-87,7915	40,06 dakika	β^- : % 100,00

Çizelge 2.6. ^{122}Sn Taban Durum Özellikleri (NuDat 2.7)

E(MeV)	J^π	$\Delta(\text{MeV})$	$T_{1/2}$	Bolluk	Bozunma Türü
0,0	0^+	-89,9413	Kararlı	% 4,63	

2.4. EXFOR Veri Tabanı

EXFOR düşük ve orta enerji seviyeli nükleer reaksiyonları için temel bir deneysel nükleer fizik veri tabanıdır. EXFOR veri tabanı aylık olarak güncellenmekte olup, nükleer veri ölçümü, geliştirilmesi ve araştırma faaliyetleri için gerekli bir altyapı ve destek sağlamaktadır. Bu veri tabanı ve web ara yüzü, (<http://www.nndc.bnl.gov/exfor>), Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu Nükleer Veri Bölümü (IAEA), Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Nükleer Veri Merkezi (<http://www-nds.iaea.org/exfor>) ve Çin, Hindistan ve Rusya gibi ülkelerde bulunan benzer web siteleri aracılığı ile herkesin erişimine açıktır. Araştırmacılar için EXFOR web ara yüzü, nükleer reaksiyonlar ile bunlara ait orijinal veri setleri ve ilgili makalelerine bağlantı vererek nükleer bilimin başlangıcından itibaren gerçekleştirilen yaklaşık 22.000 deneyin bibliyografik bilgilerine şeffaf ve kolay ulaşım sağlamaktadır. EXFOR veri tabanı, kullanıcı dostu veri yüklemeleri, veri renormalizasyonu, kovaryans matrisleri ve ters reaksiyon hesaplamaları gibi uygulamalarla geliştirilmeye devam etmektedir (Zerkin ve Pritychenkob, 2018). ENDF ve NSR veri tabanlarıyla entegre olması, EXFOR veri tabanının kapsamını genişletmekte ve içeriğinin kalitesini de artırmaktadır. EXFOR veri tabanı ve web ara yüzü son 15 yıl içerisinde en önemli nükleer reaksiyon veri tabanı portalına dönüşmüştür.

3. BULGULAR

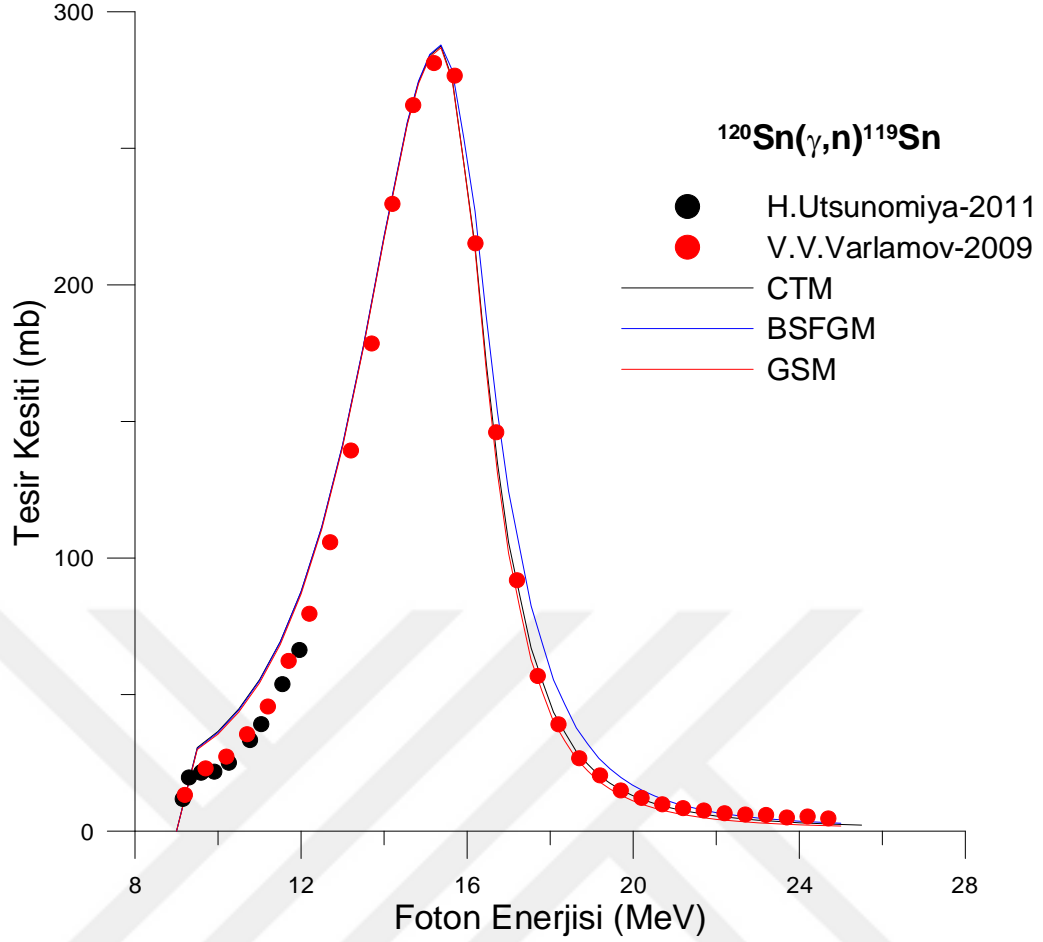
Bu çalışmada, $^{120,122,124}\text{Sn}$ hedeflerinin foto-nötron reaksiyonları için üç farklı seviye yoğunluk modeli için elde edilen teorik veriler deneysel verilerle karşılaştırılarak grafiklere aktarıldı. Her bir reaksiyona ait reaksiyonun eşik enerjileri, S_n bir nötron ayrılma enerjileri ve S_{2n} iki nötron ayrılma enerjiler Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. $^{120,122,124}\text{Sn}$ Hedeflerinin (γ,n) ve $(\gamma,2n)$ Reaksiyonlarına Ait Eşik Enerjileri, S_n ve S_{2n} Enerjileri (NuDat 2.7).

Reaksiyon	Eşik Enerjisi	S_n (MeV)	S_{2n} (MeV)
$^{120}\text{Sn}(\gamma,n)^{119}\text{Sn}$	9,105	9,104	15,588
$^{120}\text{Sn}(\gamma,2n)^{118}\text{Sn}$	15,589		
$^{122}\text{Sn}(\gamma,n)^{121}\text{Sn}$	9,105	8,815	14,985
$^{122}\text{Sn}(\gamma,2n)^{120}\text{Sn}$	14,986		
$^{124}\text{Sn}(\gamma,n)^{123}\text{Sn}$	8,489	8,489	14,435
$^{124}\text{Sn}(\gamma,2n)^{122}\text{Sn}$	14,436		

3.1. $^{120}\text{Sn}(\gamma,n)^{119}\text{Sn}$ Reaksiyonu

$^{120}\text{Sn}(\gamma,n)^{119}\text{Sn}$ Reaksiyonu için teorik tesir kesiti değerleri TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı. Teorik hesaplamalarda Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) olmak üzere üç farklı seviye yoğunluk modeli kullanıldı. Teorik hesaplamalar için foton enerjisi yaklaşık 8 MeV ile 26 MeV enerji aralığında alındı. Bu reaksiyon için alınan deneysel veriler ise H.Utsunomiya-2011 ve V.V.Varlamov-2009 çalışmaları sonucu elde edilen ve EXFOR veri tabanında yer alan deneysel verilerdir. Deneysel veriler ve hesaplama sonuçları Şekil 3.1.'de karşılaştırıldı.



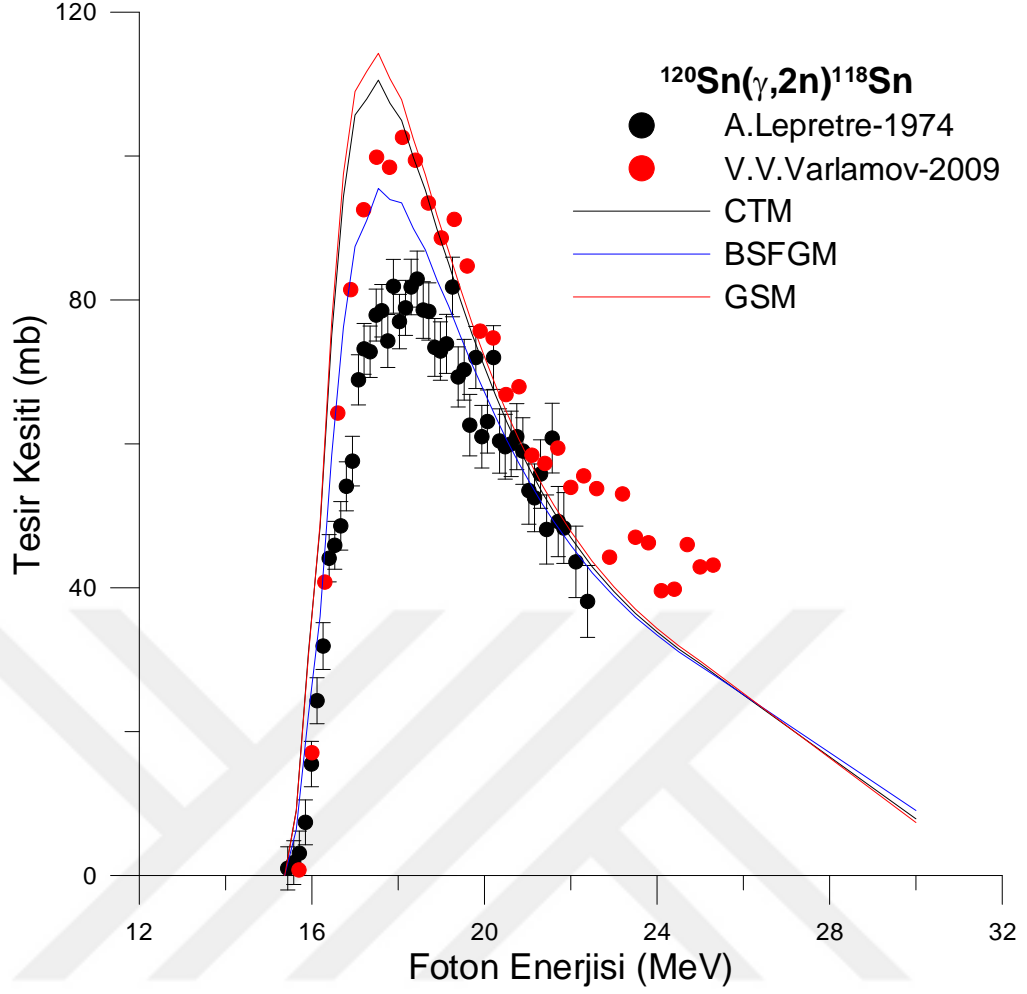
Şekil 3.1. $^{120}\text{Sn}(\gamma,n)^{119}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesis kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Üç farklı seviye yoğunluk modelinden elde edilen teorik tesis kesiti değerlerinin birbirini ile yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiği görüldü. Bu reaksiyon için tesis kesitinin maksimum değerinin, foton enerjisinin 15 MeV civarında yaklaşık 300 mb olduğu görüldü. Tesis kesitinin pik yaptığı maksimum değerine kadar kullanılan üç seviye yoğunluk modelin sonuçlarında keskin bir ayrılmanın olmadığı görüldü. Yine bu aralıkta deneysel veriler ile teorik model sonuçları veriler karşılaştırıldığında iyi bir uyum sağladıkları görüldü. Tesis kesitinin maksimum değerinden sonra ise sonuçlarda ayrılmamlar görüldü. BSFGM e oranla GSM ve CTM'nin bu aralıkta elde edilen deneysel verilerle daha iyi uyum sağladığı görüldü. Fakat bu farklar çok anlamlı farklar değildir. $^{120}\text{Sn}(\gamma,n)^{119}\text{Sn}$ Reaksiyonu için seviye yoğunluk modelleri benzer değerler verdi.

3.2. $^{120}\text{Sn}(\gamma, 2n)^{118}\text{Sn}$ Reaksiyonu

$^{120}\text{Sn}(\gamma, 2n)^{118}\text{Sn}$ Reaksiyonu için teorik tesir kesiti değerleri TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı. Teorik hesaplamalarda Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) olmak üzere üç farklı seviye yoğunluk modeli kullanıldı. Teorik hesaplamalar için foton enerjisi yaklaşık 15 MeV ile 30 MeV enerji aralığında alındı. Bu reaksiyon için alınan deneysel veriler ise A.Lepretre-1974 ve V.V.Varlamov-2009 çalışmaları sonucu elde edilen ve EXFOR veri tabanında yer alan deneysel verilerdir. Deneysel veriler ve hesaplama sonuçları Şekil 3.2.'de karşılaştırıldı.

Grafiğe aktarılan değerlerin pik yaptığı maksimum değerlerine kadar elde edilen teorik verilerin birbiri ile ve deneysel veriler ile iyi bir uyum sağladığı görüldü. Grafiğe aktarılan değerlerin foton enerjisinin yaklaşık 17-19 MeV enerji aralığındaki değerlerinde ise birbirinden farklı maksimum değerleri verdiği görüldü. Elde edilen teorik tesir kesiti değerleri grafik bütününde yaklaşık olarak aynı sonucu verirken grafiğin maksimum noktalarının birbirinden keskin bir şekilde ayrıldığı görüldü. Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) kullanılarak elde edilen teorik tesir kesiti değerlerinin maksimum noktaları birbirine daha yakın değerler verirken Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) kullanılarak elde edilen teorik tesir kesiti değerlerinin maksimum değeri diğer iki modelden net bir şekilde ayrılır. Benzer durum deneysel tesir kesiti değerlerinde de vardır. V.V.Varlamov-2009 ve A.Lepretre-1974 çalışmaları sonucu alınan deneysel veriler de grafik bütününde yaklaşık olarak birbiri ile uyumlu iken yine tesir kesitinin maksimum değerlerinde birbirinden keskin bir şekilde ayrılarak farklı sonuçlar verdiği görülür.



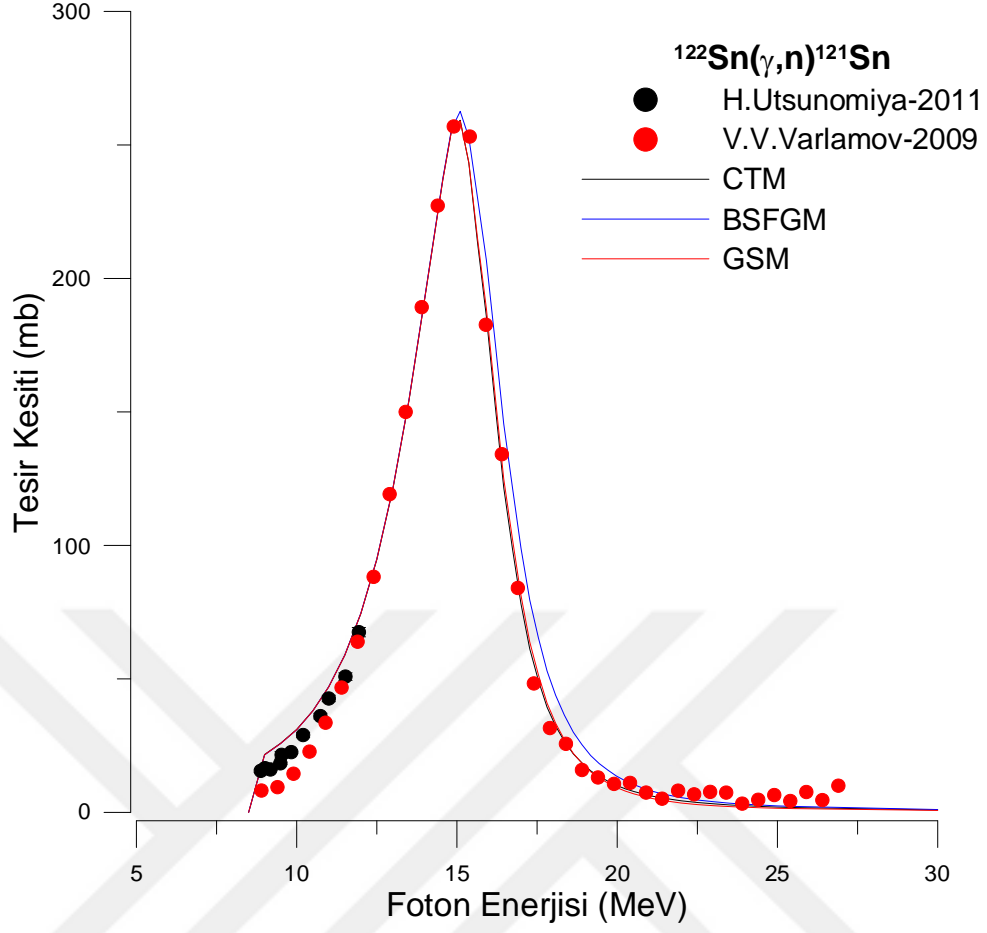
Şekil 3.2. $^{120}\text{Sn}(\gamma,2n)^{118}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesisir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) kullanılarak elde edilen teorik tesisir kesiti değerlerinin maksimum noktaları V.V.Varlamov-2009'un çalışmaları sonucu alınan deneysel verilere yakın değerler verirken A.Lepretre-1974'nin çalışmaları sonucu alınan deneysel verilere uzaktır. Fakat Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) kullanılarak elde edilen teorik tesisir kesiti değerlerinin maksimum değerinin ise her iki deneysel teorik tesisir kesiti değerlerine yakın değerler verdiği görülür.

3.3. $^{122}\text{Sn}(\gamma, n)^{121}\text{Sn}$ Reaksiyonu

$^{124}\text{Sn}(\gamma, n)^{123}\text{Sn}$ Reaksiyonu için teorik tesir kesiti değerleri TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı. Teorik hesaplamalarda Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) olmak üzere üç farklı seviye yoğunluk modeli kullanıldı. Teorik hesaplamalar için foton enerjisi yaklaşık 8 MeV ile 30 MeV enerji aralığında alındı. Bu reaksiyon için alınan deneysel veriler ise H.Utsunomiya-2011 ve V.V.Varlamov-2009 çalışmaları sonucu elde edilen ve EXFOR veri tabanında yer alan deneysel verilerdir. Deneysel veriler ve hesaplama sonuçları Şekil 3.3.'te karşılaştırıldı.

Üç farklı seviye yoğunluk modelinden elde edilen teorik tesir kesiti değerlerinin birbiri ile yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiği görüldü. Özellikle grafiğin maksimum noktasına kadar grafik çizgilerinin üst üste bindiği neredeyse hiç ayrılmanın olmadığı görüldü. Grafiğin maksimum noktasından sonra ise yine net bir ayrılma olmaksızın BSFGM den elde edilen sonuçların CTM ve GSM den biraz ayrıldığı görüldü. EXFOR veri tabanından alınan deneysel veriler ile TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak elde edilen teorik veriler karşılaştırıldığında çok iyi bir uyum sağladıkları görüldü. Foton enerjisinin yaklaşık 8 MeV ile 17 MeV enerji aralığındaki değerlerinde teorik tesir kesiti değerleri ve deneysel tesir kesiti değerlerinde göz ardı edilebilecek ayrılmalar vardır. Benzer şekilde tesir kesiti değerlerinin sıfıra yakın olduğu değerlerde teorik ve deneysel tesir kesiti değerlerinde küçük ayrılmalar görülür. Bu göz ardı edilebilecek ayrılmalar dışında deneysel ve teorik tesir kesiti değerleri tam bir uyum içersindedir. Bu reaksiyon için tesir kesitinin maksimum değeri foton enerjisinin yaklaşık 15 MeV enerji değerlerinde olduğu durumda yaklaşık olarak 260 mb değerinde olduğu görüldü.

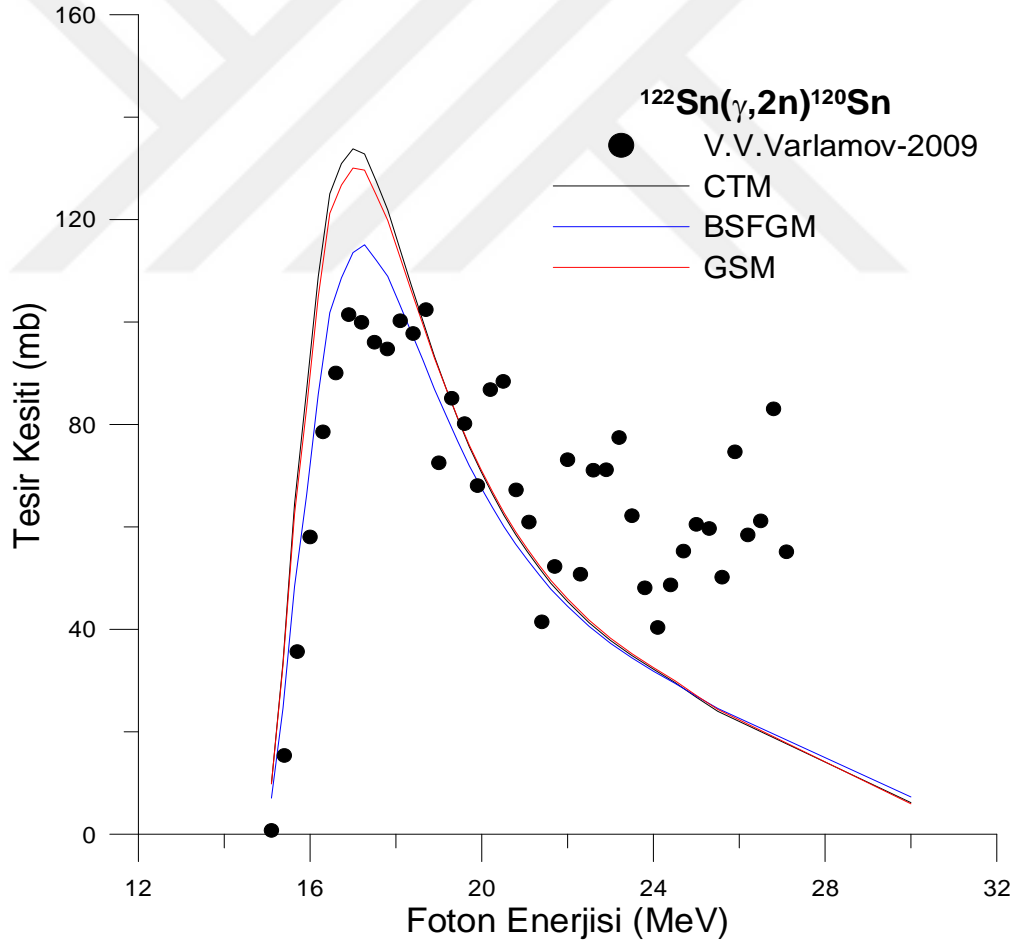


Şekil 3.3. $^{122}\text{Sn}(\gamma,n)^{121}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

3.4. $^{122}\text{Sn}(\gamma,2n)^{120}\text{Sn}$ Reaksiyonu

$^{122}\text{Sn}(\gamma,2n)^{120}\text{Sn}$ Reaksiyonu için teorik tesir kesiti değerleri TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı. Teorik hesaplamalarda Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) olmak üzere üç farklı seviye yoğunluk modeli kullanıldı. Teorik hesaplamalar için foton enerjisi yaklaşık 15 MeV ile 30 MeV enerji aralığında alındı. Bu reaksiyon için alınan deneysel veriler ise V.V.Varlamov-2009'un çalışması sonucu elde edilen ve EXFOR veri tabanında yer alan deneysel verilerdir. Deneysel veriler ve hesaplama sonuçları Şekil 3.4.'te karşılaştırıldı. Grafiğe aktarılan değerlerin pik yaptığı maksimum değerlerine kadar elde edilen

teorik verilerin birbiri ile ve deneysel veriler ile iyi bir uyum sağladığı görüldü. Grafiğe aktarılan değerlerin foton enerjisinin yaklaşık 16-18 MeV enerji aralığındaki değerlerinde ise birbirinden farklı maksimum değerleri verdiği görüldü. Elde edilen teorik tesir kesiti değerleri grafik bütününde benzer sonuçlar verirken grafiğin maksimum noktalarının birbirinden ayrıldığı görüldü. Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) kullanılarak elde edilen teorik tesir kesiti değerlerinin maksimum noktaları birbirine daha yakın değerler verirken Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) kullanılarak elde edilen teorik tesir kesiti değerlerinin maksimum değeri diğer iki modelden net bir şekilde ayrılır ve deneysel verilere yakın maksimum değeri verdiği görülür. Grafiğin maksimum değerinden sonra ise deneysel verilerin grafikte farklı noktalara dağıldığı ve birbirinden farklı sonuçlar verdiği görülür.



Şekil 3.4. $^{122}\text{Sn}(\gamma,2n)^{120}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

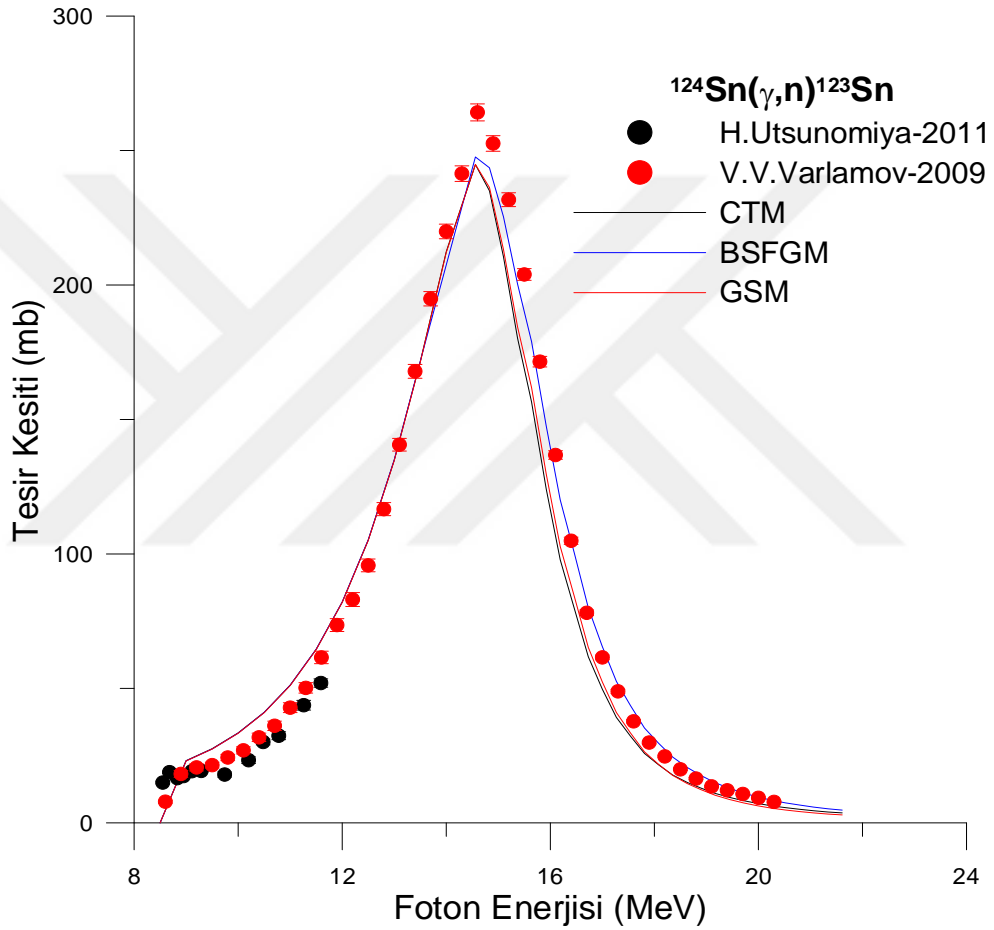
Deneysel verilerin maksimum değerlerinden sonra bir bütün çizgi oluşturmadığı görülür. Grafiği foton enerjisinin yaklaşık 20-30 MeV olduğu enerji aralığında deneysel tesir kesiti değerleri grafikte dağınık bir görüntü oluşturur. Bazı aralıklarda foton enerjisi yaklaşık 1 MeV artırıldığında deneysel tesir kesiti değerinin bir anda yaklaşık 20 mb değiştiği görülür. Bu şekilde oluşan bir değer değişikliği çalışmaya konu olan reaksiyonlar arasında yalnızca bu reaksiyonda karşılaşıldı. Deneysel tesir kesiti değerlerinin bu farklı dağılımı karşısında teorik tesir kesiti değerlerinin de bu aralık için uyumlu olmasını beklenen bir durum olmamalıdır. Yine de maksimum noktadan sonraki bu farklı dağılım karşısında foton enerjisinin yaklaşık 18 - 22 MeV enerji aralığında teorik tesir kesiti değerlerinin deneysel tesir kesiti değerleri ile yaklaşık sonuçlar verdiği görülür. Foton enerjisinin yaklaşık 22-30 MeV enerji aralığında ise artık net bir ayırım vardır ve bu aralıkta teorik tesir kesiti değerleri deneysel tesir kesiti değerleri ile uyumlu değildir. Deneysel veri olarak tek bir deneyin olması yorumlarımızı zayıflatıyor. Çalışılan modeller ile deneyler arasındaki karşılaştırmanın sağlıklı yapılabilmesi için literatürde daha çok deneyin olması gerekir.

3.5. $^{124}\text{Sn}(\gamma, n)^{123}\text{Sn}$ Reaksiyonu

$^{120}\text{Sn}(\gamma, n)^{119}\text{Sn}$ Reaksiyonu için teorik tesir kesiti değerleri TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı. Teorik hesaplamalarda Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) olmak üzere üç farklı seviye yoğunluk modeli kullanıldı. Teorik hesaplamalar için foton enerjisi 8 MeV ile 22 MeV enerji aralığında alındı. Bu reaksiyon için alınan deneysel veriler ise H.Utsunomiya-2011 ve V.V.Varlamov-2009 çalışmaları sonucu elde edilen ve EXFOR veri tabanında yer alan deneysel verilerdir. Deneysel veriler ve hesaplama sonuçları Şekil 3.5.'te karşılaştırıldı.

Üç farklı seviye yoğunluk modelinden elde edilen teorik tesir kesiti değerlerinin birbiri ile yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiği görüldü. Grafiğin pik yaptığı maksimum değerine kadar kullanılan üç farklı seviye yoğunluk modeli için grafiğe

aktarılan değerlerinde çizgilerin üst üste bindiği ve bir ayrılmanın olmadığı görüldü. Yine bu aralıkta EXFOR veri tabanından alınan deneysel veriler ile TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak elde edilen teorik veriler karşılaştırıldığında iyi bir uyum sağladıkları görüldü. Grafiğin maksimum değerlerinde ise elde edilen teorik tesir kesitlerinin maksimum değerleri arasında yine iyi bir uyum vardır ve yaklaşık aynı sonuçları verir.



Şekil 3.5. $^{124}\text{Sn}(\gamma,n)^{123}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

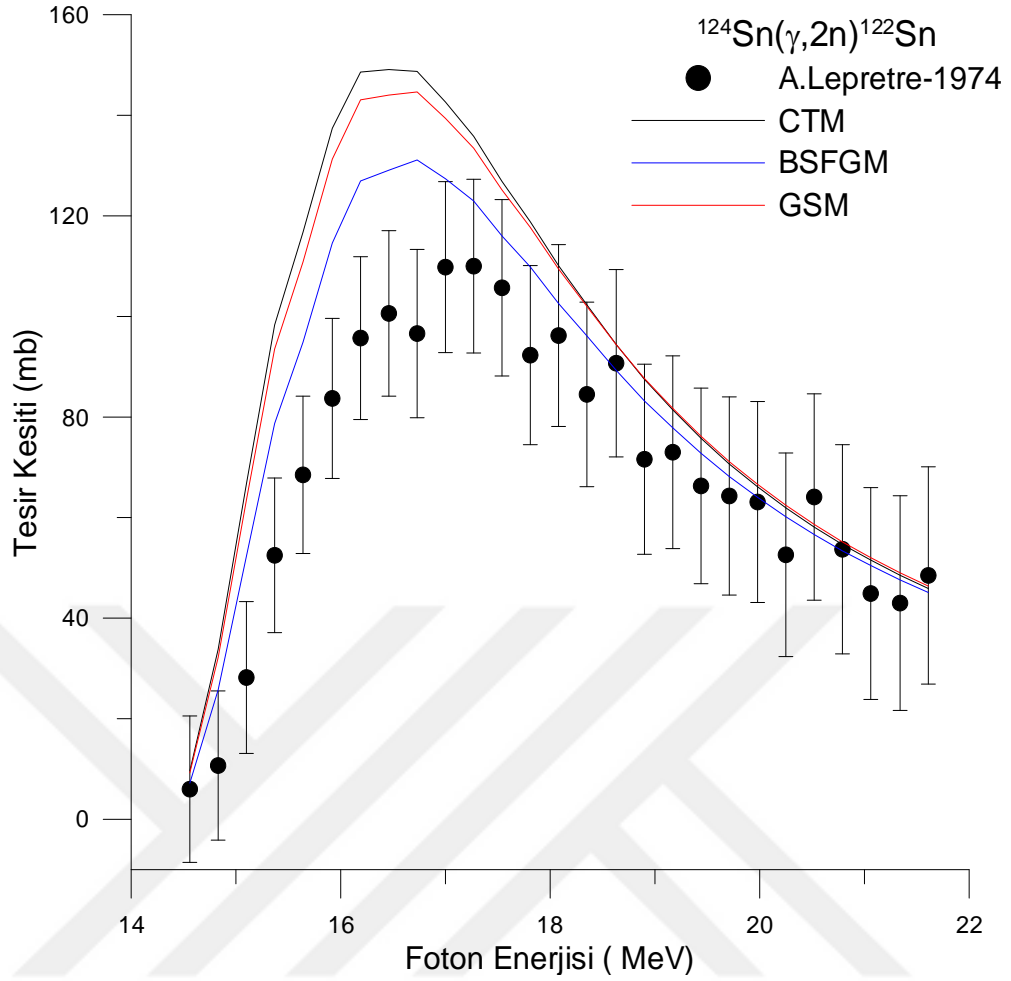
Bu reaksiyon için tesir kesitinin maksimum değeri foton enerjisinin yaklaşık 14-15 MeV enerji aralığındaki değerlerinde yaklaşık olarak 250 mb değerini verir. Deneysel tesir kesiti değerleri alınarak elde edilen grafiğin maksimum değeri ise

yaklaşık 260 mb değerindedir. Elde edilen teorik tesir kesiti değerlerinin yaklaşık maksimum değeri ile deneysel tesir kesitinin maksimum değeri arasında göz ardı edilebilecek 10 mb değerinde bir fark vardır. Maksimum değerinden sonra ise grafik çizgileri incelendiğinde teorik tesir kesiti değerleri ile deneysel tesir kesiti değerlerinin tam bir uyum içerisinde olduğu görülür. Maksimum noktadan sonra teorik tesir kesiti değerlerinde BSFGM'nin CTM ve GSM den çok az farkla ayrıldığını gösterir. Ancak BSFGM'nin bu çok az farkla ayrılması deneysel teorik tesir kesitiyle tam bir uyum içinde olduğunu da gösterir. Bu sonuçlar gösteriyor ki $^{124}\text{Sn}(\gamma, n)^{123}\text{Sn}$ Reaksiyonu için üç farklı seviye yoğunluk modeli kullanılarak elde edilen teorik tesir kesiti değerleri birbiri ile ve alınan deneysel tesir kesiti değerleri ile benzer değerler verdi.

3.6. $^{124}\text{Sn}(\gamma, 2n)^{122}\text{Sn}$ Reaksiyonu

$^{124}\text{Sn}(\gamma, 2n)^{122}\text{Sn}$ Reaksiyonu için teorik tesir kesiti değerleri TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı. Teorik hesaplamalarda Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) olmak üzere üç farklı seviye yoğunluk modeli kullanıldı. Teorik hesaplamalar için foton enerjisi yaklaşık 15 MeV ile 22 MeV enerji aralığında alındı. Bu reaksiyon için alınan deneysel veriler ise A.Lepretre-1974'nin çalışması sonucu elde edilen ve EXFOR veri tabanında yer alan deneysel verilerdir. Deneysel veriler ve hesaplama sonuçları Şekil 3.6.'da karşılaştırıldı.

Elde edilen teorik tesir kesiti değerleri ile deneysel tesir kesiti değerleri karşılaştırıldığında grafik bütününde farklılıklar olmakla beraber uyum içinde oldukları görüldü.



Şekil 3.6. $^{124}\text{Sn}(\gamma,2n)^{122}\text{Sn}$ reaksiyonuna ait deneysel ve teorik tesis kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Teorik tesis kesiti hesaplamaları ile elde edilen sonuçlar arasında büyük farklılıklar olmamakla birlikte maksimum değerlerinde ayrılmalar görülür. Foton enerjisinin yaklaşık 16-17 MeV enerji aralığındaki değerlerinde CTM ve GSM modeli kullanılarak elde edilen teorik tesis kesiti değerlerinden elde edilen maksimum tesis kesiti değeri yaklaşık 145 mb iken BSFGM modeli kullanılarak elde edilen maksimum tesis kesiti değeri ise yaklaşık 130 mb'dır. BSFGM'de meydana gelen bu ayrılma sayesinde, BSFGM'nin deneysel verilere daha yakın değerler vererek diğer iki seviye yoğunluk modeline göre daha uyumlu olduğu görüldü. BSFGM modeli kullanılarak elde edilen teorik tesis kesiti değerlerinin deneysel hata payı içerisinde kaldığı görüldü. Literatürde reaksiyona ait bir tane deneysel verinin olması bu

reaksiyon için teorik tesir kesiti değerleri ile deneysel tesir kesiti değerleri arasında net bir karşılaştırılmanın yapılmasına engeldir. Yine de teorik tesir kesiti değerlerinin deneysel tesir kesiti değerleriyle uyumlu olduğu görülür.



4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

$^{120,122,124}\text{Sn}$ izotoplarının (γ,n) ve $(\gamma,2n)$ reaksiyonları için teorik tesir kesiti değerleri Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (CTM), Geri-Kaydırılmış Fermi Gaz Modeli (BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süperakışkan Modeli (GSM) olmak üzere üç farklı seviye yoğunluk modeli ile TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı. Reaksiyonlara ait deneysel tesir kesiti değerleri ise EXFOR veri tabanından alındı. $^{120,122,124}\text{Sn}$ (γ,n) reaksiyonları için foton enerjisi yaklaşık 8 MeV ile 30 MeV enerji aralığında alındı. Bu reaksiyonlarda CTM ve GSM kullanılarak elde edilen teorik tesir kesiti değerleri BSFGM'e oranla deneysel tesir kesiti değerlerine daha yakın değerler verdiği görülür. Ancak yine de bu üç seviye yoğunluk modeli kullanılarak elde edilen teorik tesir kesiti değerlerinde keskin farklar yoktur ve değerler birbirine yakındır. $^{120,122,124}\text{Sn}$ $(\gamma,2n)$ reaksiyonları için foton enerjisi yaklaşık 15 MeV ile 30 MeV enerji aralığında alındı. Bu reaksiyonlarda BSFGM kullanılarak elde edilen veriler CTM ve GSM'e oranla deneysel tesir kesiti değerleri ile daha iyi uyum göstermiştir. Özellikle grafiklerin maksimum noktalarında bu reaksiyon için hesaplanan teorik tesir kesiti değerlerinde BSFGM kullanılarak elde edilen veriler CTM ve GSM'den ayrılarak deneysel verilere daha yakın değerler verdi. Bu da gösteriyor ki $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,n)$ reaksiyonları için üç farklı seviye yoğunluk modeli kullanılarak elde edilen teorik tesir kesiti değerleri arasında net bir fark olmazken $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reaksiyonları için elde edilen teorik tesir kesiti değerleri arasında ayrılımlar belirginleşmektedir. Bu ayrılımlar tesir kesiti değerlerinin grafikte maksimum yaptığı bölgede görülmektedir. Aynı zamanda $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,n)$ reaksiyonları için alınan deneysel tesir kesiti değerleri ile elde edilen teorik tesir kesiti değerleri çok iyi bir uyum gösterirken $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reaksiyonları için BSFGM'den elde edilen veriler CTM ve GSM'e göre deneysel verilere daha iyi uyum sağlamaktadır. Teorik tesir kesiti değerlerine ihtiyaç duyduğumuzda $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,n)$ reaksiyonları için üç farklı seviye yoğunluk modeli de kullanılabilir. Fakat $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reaksiyonları için teorik tesir kesiti değerlerine ihtiyaç duyduğumuzda kullanılacak model ise BSFGM olmalıdır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta şudur ki literatürde $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,n)$ reaksiyonları için deneysel tesir kesiti değerleri $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reaksiyonları için elde edilen

deneysel tesir kesiti değerlerinden genel olarak daha çoktur. Bu durum tam bir karşılaştırma yapılmasına engeldir. Çalışılan $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,n)$ reaksiyonlarının hepsinde iki farklı deneysel veri mevcuttur ve aynı zamanda iki farklı deneysel veri kendi aralarında da uyum içerisindedir. $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reaksiyonları için ise aynı durum söz konusu değildir. Çalışılan $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reaksiyonlarından $^{122,124}\text{Sn}$ reaksiyonları için literatürde yalnızca birer adet deneysel veri mevcuttur. Bu durum da kesin bir yoruma gidilmesine engeldir. $^{122}\text{Sn}(\gamma,2n)^{120}\text{Sn}$ reaksiyonu için literatürde mevcut olsa bir deneysel veriden elde edilen deneysel tesir kesiti değerleri grafiğe aktarıldığında grafiğin maksimum yaptığı bölgeye kadar teorik tesir kesiti değerleriyle uyum içerisindedir. Grafiğin maksimum yaptığı bölgede ise BSFGM'den elde edilen teorik tesir kesiti değerlerinin CTM ve GSM'den ayrıldığı ve bu ayrılma sayesinde deneysel veriye daha iyi uyum sağladığı görüldü. Grafiğin maksimum değerlerinde sonraki bölgede ise deneysel veriler dağınık bir görüntü oluşturur. Grafiğin maksimum bölgesinden sonra meydana gelen bu dağınık deneysel veriler karşısında BSFGM'den elde edilen teorik tesir kesiti değerleri bazı veriler ile iyi bir uyum sağlamıştır. $^{120}\text{Sn}(\gamma,2n)^{118}\text{Sn}$ için iki farklı deney sonucu vardır fakat burada da iki deneysel veri arasında grafik bütününde uyum görülürken grafiğin maksimum noktalarında ayrılmalar görülür. Deneysel veriler bile bu aralıkta uyumlu değilken seviye yoğunluk modellerinde bu aralıkta meydana gelen ayrılmalar bir hata ya da eksiklik olarak görülmemelidir. Yine de BSFGM iki deneysel veri arasında bir değeri vererek iyi bir uyum sağladığını gösterdi.

Deneysel veriler mevcut değilse veya deneysel zorluk yüzünden imkansız ise $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reaksiyonu için CTM, GSM ve BSFGM modelleri seçeneği, $^{120,122,124}\text{Sn}(\gamma,2n)$ reaksiyonu için BSFGM seviye yoğunluk modeli tesir kesiti hesaplamaları için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Bajpeyi, A., Shukla A., Koning, A. J., Sven Åberg, Study of the (p, γ) and (α, γ) reactions for $^{96,98,104}\text{Ru}$ and $^{112,114,116}\text{Sn}$ at astrophysically relevant energies. Springer Link, 80, (3): 402-411,2017.

Beil, H., Bergere, R., Carlos, P., Lepretre A., De MiniacA., Veyssiere. A., A Study Of The Photoneutron Contribution To The Giant Dipole Resonance In Doubly Even Mo Isotopes. Nuclear Physics A, 227 (3): 427-449, 1974.

Beil, H., Bergere, R., Carlos, P., Lepretre A., Veyssiere. A., Giant dipole resonance in $N = 82$ nuclei. Elsevier, 172, (2): 426-436, 1971.

Berman, B.L., Kelly, M.A., Bramblett, R.L., Caldwell, J.T., Davis, H.S., Fultz, S.C., Giant Resonance in Deformed Nuclei: Photoneutron Cross Sections for Eu^{153} , Gd^{160} , Ho^{165} , and W^{186} . Phys. Rev. 185, (4): 1576-1590, 1969.

Bethe, H.A., Nuclear Physics B. Nuclear Dynamics, Theoretical. Rev. Mod. Phys. 9, 69, 1937.

Chadwick, M. B., Oblozinsky, P., Blokhin, A. I., Fukahori, T., Han, Y., Lee, Y. and Zhang, J., *Handbook on Photonuclear Data for Applications Cross Sections and Spectra, Final Report of a Co-ordinated Research 19996-1999*. IAEA TECH-DOC-1178, (International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2000).

Dilg, W., Schantl, W., Vonach, H., Uhl, M., Level Density Parameters For The Back-Shifted Fermi Gas Model in The Mass Range $40 <A>250$. Elsevier, Nuclear Physics A217, (2): 269-298, 1973.

EXFOR, <https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor/.htm> (Erişim tarihi: 2017).

Gilbert A., Cameron, A.G.W., A Composite Nuclear-Level Density Formula With Shell Corrections. Canadian Journal of Physics 43(8): 1446-1496, 1965.

Ignatyuk, A.V., Istekov, K.K., Smirenkin, G.N., Sov. J. Nucl. Phys. 29, 450, 1979.

Ignatyuk, A.V., Weil, J.L., Raman, S., Kahane, S., Density of discrete levels in ^{116}Sn . Phys. Rev. C47, 1504, 1993.

Ishkhanov, B. S., Varlamov, V. V., Photonuclear reactions: Modern status of the data. Physics of Atomic Nuclei, 67 (9), 1664-1673, 2004.

Koning, A., Hilaria, S., Goriely, S., TALYS-1.8 A Nuclear Reaction Program, 2015.

Koning, A.J., Hilaire, S., Goriely, S., Global and local level density models. Elsevier Nuclear Physics A810, 13-76, 2008.

Lepretre, A., Beil, H., Bergere, R., Carlos, P., De Miniac, A., Veyssiere, A., A study of the giant dipole resonance of vibrational nuclei in the $103 \leq A \leq 133$ mass region. Nuclear Physics A219, 39-60, 1974.

Lilley, J.S., Nükleer Fizik İlkeler ve Uygulamalar. Çeviri Editörleri: Abdullah Aydın, İsmail Hakkı Sarpün, Eyüp Tel, Abdullah Kaplan, Nobel Yayıncılık, Ankara, 2018.

NuDat, <https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/chartNuc.jsp> (Erişim tarihi: 2017).

NuDat, https://www.nndc.bnl.gov/about/nndc_history/ (Erişim tarihi: 2019).

NuDat, <https://www.nndc.bnl.gov/about/nndc.html#mission> (Erişim tarihi: 2019).

Oprea, C., Oprea, A., Mihul, A., Cross section of isomeric states produced in photo-neutron reactions. Elsevier, 59, 48-55, 2014.

Petrucci R.H., Herring F.G., Madura J.D., Bissonette C., Genel Kimya İlkeler ve Uygulamalar. Çeviri Editörleri: Tahsin Uyar, Serpil Aksoy, Recai İnam, Palme Yayıncılık, Ankara 2012.

Qcalc, <https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/chartNuc.isp> (Erişim tarihi: 2017).

RIPL, Reference Input Parameter Library for Theoretical Calculations of Nuclear Reactions, <http://www-nds.iaea.org/ripl/>

TALYS 1.8, TALYS 1.8 <http://www.talys.eu/> (Erişim tarihi: 2017).

Utsunomiya, H., Goriely, S., Kamata, M., Akimune, H., Kondo, T., Itoh, O., Iwamoto C., Yamagata, T., Toyokawa, H., Lui, Y.-W., Harada H., Kitatani H., Goko S., Hilaire, S., Koning A. J., Photoneutron cross section for $^{118-124}\text{Sn}$ and the γ -ray strength function method. Physical Review C 84-055805, 1-6, 2011.

Utsunomiya, H., Goriely, S., Kamata, M., Kondo, T., Itoh, O., Akimune, H., Yamagata, T., Toyokawa, H., Lui, Y.-W., Hilaire, S., Koning A. J., γ -ray strength function for $^{116,117}\text{Sn}$ with the pygmy dipole resonance balanced in the photoneutron and neutron capture channels. Physical Review C 80-055806, 5, 1-5, 2009.

Varlamov, V.V., Moscow State Univ. Inst. of Nucl. Phys. Reports, No.2009, 3-847, 2009.

Zerkina, V.V., Pritychenko, B., The experimental nuclear reaction data (EXFOR): Extended computer database and Web retrieval system. Nuclear Inst. And methods in Physics Research, A 888, 31-43, 2018.

TEZ ÇALIŞMASI ÇERÇEVESİNDE SUNULAN BİLDİRİLER

- Merve ERKAN, Hatice Kübra BELEN, Abdullah AYDIN, “Comparison of the Level Density Models for Photo-neutron Reactions on Tin Targets” (TESNAT 2017, Adana, 10-12 May 2017)
- Merve ERKAN, Abdullah AYDIN, İsmail H. SARPÜN, “A Study on The Effects of Level Density Models for (γ,n) and ($\gamma,2n$) reactions on $^{120,122,124}\text{Sn}$ targets” (TESNAT 2019, Amasya, 02-04 May 2017)

