

T.C.  
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YOĞUNLUK DAĞILIMLARI KULLANILARAK  $^{19}\text{F}$  FÜZYON  
REAKSİYONLARININ İNCELENMESİ

Hüseyin ÇİN

MAYIS 2022

FİZİK ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YOĞUNLUK DAĞILIMLARI KULLANILARAK  $^{19}\text{F}$  FÜZYON  
REAKSİYONLARININ İNCELENMESİ

Hazırlayan  
Hüseyin ÇİN

Danışman  
Prof. Dr. Murat AYGÜN

Jüri Üyeleri  
Prof. Dr. Murat AYGÜN  
Doç. Dr. Gökhan KOÇAK  
Doç. Dr. Şule KARATEPE ÇELİK

MAYIS 2022

## ONAY

Hüseyin ÇİN tarafından hazırlanan “Farklı Yoğunluk Dağılımları Kullanılarak <sup>19</sup>F Füzyon Reaksiyonlarının İncelenmesi” adlı tez çalışması 20/05/2022 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Gökhan KOÇAK

(Başkan)

Prof. Dr. Murat AYGÜN

(Danışman)

Doç. Dr. Şule KARATEPE ÇELİK

(Üye)

### İmza

A large black rectangular redaction box covering the signature area of the document.

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL  
Enstitü Müdürü

**BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI**  
**ETİK BEYANI**

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Farklı Yoğunluk Dağılımları Kullanılarak <sup>19</sup>F Füzyon Reaksiyonlarının İncelenmesi**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. ../../..

**Hüseyin ÇİN**

## ÖZET

### FARKLI YOĞUNLUK DAĞILIMLARI KULLANILARAK $^{19}\text{F}$ FÜZYON REAKSİYONLARININ İNCELENMESİ

Hüseyin ÇIN

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat AYGÜN

Mayıs 2022, 44 sayfa

Bu çalışmada,  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin  $^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  ve  $^{232}\text{Th}$  gibi on iki farklı çekirdek ile füzyon reaksiyonları optik model (OM) kapsamında incelenmiştir. Reel potansiyel  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için double folding model (DFM) kullanılarak hesaplanmıştır. Buna karşın sanal kısım ise Woods-Saxon (WS) potansiyel olarak alınmıştır. Teorik sonuçlar hem deneysel verilerle hem de bir boyutlu (one-dimensional) Wong formülüyle karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda analiz edilen tüm füzyon reaksiyonları ve yoğunluk dağılımları için bariyer pozisyonu ve yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Son olarak  $^{19}\text{F}$  füzyon tesir kesiti hesaplamaları için sanal potansiyel eşitlikleri elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yoğunluk Dağılımı, Optik Model, Double Folding Model, Füzyon Tesir Kesiti.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF $^{19}\text{F}$ FUSION REACTIONS BY USING DIFFERENT DENSITY DISTRIBUTIONS

Hüseyin ÇIN

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate Institute

Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Murat AYGÜN

May 2022, 44 pages

In this study, the fusion reactions with twelve different target nuclei such as  $^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  and  $^{232}\text{Th}$  of  $^{19}\text{F}$  nucleus were examined within the optical model (OM). The real potential was calculated by using the double folding model (DFM) for ten different density distributions of the  $^{19}\text{F}$  nucleus. On the other hand, the imaginary part was taken as Woods-Saxon (WS) potential. The theoretical results were compared with both experimental data and one-dimensional Wong formula. Also, the barrier position and height values for all the analyzed fusion reactions and density distributions were calculated. Finally, the imaginary potential equaitons for  $^{19}\text{F}$  fusion cross-section calculations were obtained.

**Keywords:** Density Distribution, Optical Model, Double Folding Model, Fusion Cross-Section.

## TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın her aőamasında, konu seiminden sonuç kısmına kadar, değerli bilgi ve önerileriyle kendisine ihtiyaç duyduğum her anda benden yardım ve desteğini esirgemeyen, kılavuzluk eden, bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan her sorun yaşadığımda çekinmeden yanına gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini esirgemeyen ve gelecekteki meslek hayatımda bana verdiği bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm birlikte çalıőmaktan ve öğrencisi olmaktan onur duyduğum danışman hocam Sayın Prof. Dr. Murat AYGÜN'e sonsuz Őukranlarımı sunarım.

Bu alıőma sürecinde yanımda olup sevgi ve sabırla maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen ve sonsuza uğurladığım annem ve babama teşekkür ediyorum.

Son olarak her zaman olduğu gibi bu süreçte de desteği, ilgisi ve sabrı ile beni motive eden hayat ortağım sevgili eőim Belkıs IN ve tez yazım süresince babam benimle oynamıyor diyerek mola vermeme sağlayan canım oğullarım Muhammed Ensar IN, Mustafa Eymen IN ile Ahmet Eren IN'nın bana gösterdikleri sevgi, saygı, sabır ve manevi desteklerinden dolayı minnettarlığımı sunuyorum.

**Hüseyin IN**

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	iv
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	x
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. MATERYAL YÖNTEM</b> .....	5
2.1. Füzyon Reaksiyonu .....	5
2.2. Temel Füzyon Reaksiyonları .....	7
2.2.1. D-D Reaksiyonları .....	7
2.2.2. D-T Reaksiyonları .....	8
2.2.3. Diğer Bazı Önemli Füzyon Reaksiyonları .....	9
2.3. Füzyon Reaksiyonunun Gerçekleşmesi İçin Gereken Koşullar .....	10
2.3.1. Sıcaklık .....	10
2.3.2. Yoğunluk .....	10
2.3.3. Zaman .....	10
2.4. Optik Model .....	11
2.5. Double Folding Model .....	12
2.6. <sup>19</sup> F Çekirdeğinin Yoğunluk Dağılımları .....	13
2.6.1. São Paulo (SP) Yoğunluğu .....	13
2.6.2. İki Parametrelili Fermi (2pF) Yoğunluğu .....	13
2.6.3. Ngo (Ngo) Yoğunluğu .....	14
2.6.4. Gupta 1 (G1) Yoğunluğu .....	14

2.6.5. Gupta 2 (G2) Yoğunluğu.....	15
2.6.6. Wesolowski (W) Yoğunluğu .....	15
2.6.7. Schechter (S) Yoğunluğu .....	15
2.6.8. Moszkowski (M) Yoğunluğu .....	16
2.6.9. Jager (J) Yoğunluğu .....	16
2.6.10. Hartree-Fock-Bogolubov (HFB) Yoğunluğu .....	16
2.7. Hedef Çekirdeklerin Yoğunluk Dağılımları .....	16
2.8. Tesir Kesiti .....	17
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>19</b>
3.1. <sup>19</sup> F Füzyon Reaksiyonlarının Analizi .....	19
3.2. Bir Boyutlu (One-Dimensional) Wong Formülü.....	32
3.3. Bariyer Pozisyon ( $R_B$ ) ve Yükseklik ( $V_B$ ) Değerleri.....	33
3.4. Sanal Potansiyel Eşitlikleri.....	36
<b>4. SONUÇ .....</b>	<b>38</b>
<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>40</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>44</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

### Sayfa

2.1. $^{27}\text{Al}$ , $^{28}\text{Si}$ , $^{30}\text{Si}$ , $^{40}\text{Ca}$ , $^{54}\text{Fe}$ , $^{56}\text{Fe}$ , $^{208}\text{Pb}$ ve $^{232}\text{Th}$ çekirdeklerinin yoğunluk dağılımlarının $\rho_0$ , $c$ ve $z$ değerleri .....	17
3.1. SP, 2pF, Ngo, G1, G2, W, S, M, J, HFB yoğunlukları kullanılarak $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$ , $^{12}\text{C}$ , $^{16}\text{O}$ , $^{19}\text{F}$ , $^{27}\text{Al}$ , $^{28}\text{Si}$ , $^{30}\text{Si}$ , $^{40}\text{Ca}$ , $^{54}\text{Fe}$ , $^{56}\text{Fe}$ , $^{208}\text{Pb}$ , $^{232}\text{Th}$ füzyon reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamalarında kullanılan sanal potansiyel derinlikleri.....	19
3.2. Bir boyutlu Wong formülü kullanılarak $^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$ , $^{16}\text{O}$ , $^{28}\text{Si}$ , $^{30}\text{Si}$ , $^{40}\text{Ca}$ , $^{54}\text{Fe}$ , $^{56}\text{Fe}$ , $^{208}\text{Pb}$ , $^{232}\text{Th}$ füzyon tesir kesitleri hesaplanırken kullanılan $R_B$ (fm cinsinden), $V_B$ (MeV cinsinden) ve $\hbar\omega$ (MeV cinsinden) değerleri .....	32
3.3. Analiz edilen füzyon reaksiyonları için literatür ve deneysel değerlerle birlikte SP, 2pF, Ngo, G1, G2, W, S, M, J ve HFB yoğunlukları için hesaplanan $R_B$ (fm cinsinden) ve $V_B$ (MeV cinsinden) değerleri. Literatür değerlerinin alındığı kaynaklar $^{12}\text{C}$ , $^{16}\text{O}$ , $^{19}\text{F}$ , $^{27}\text{Al}$ , $^{40}\text{Ca}$ (Anjos vd. 1990), $^{28,30}\text{Si}$ , (Haider ve Malik, 1986), $^{54,56}\text{Fe}$ (Funaki ve Arai, 1993), $^{208}\text{Pb}$ (Canto vd. 2009), $^{232}\text{Th}$ (Manjunatha ve Sridhar, 2018). Deneysel değerlerin alındığı kaynaklar $^{27}\text{Al}$ , $^{28,30}\text{Si}$ (Gupta ve Kailas, 1982), $^{208}\text{Pb}$ (Liu vd. 2006), $^{232}\text{Th}$ (Mohanty vd. 1992).....	35

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

### Sayfa

1.1. $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$ ve $^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$ sistemleri için füzyon tesir kesitleri. Bu şekil Anjos vd. (2002) çalışmasından alınmıştır. ....	2
1.2. Enerjinin tersinin bir fonksiyonu olarak $^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$ , $^{19}\text{F} + ^{19}\text{F}$ , $^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$ ve $^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$ sistemleri için toplam füzyon kesitleri. Düz eğriler ve kesikli çizgiler farklı teorik modeller ile elde edilen sonuçlardır. Bu şekil Anjos vd. (1990) çalışmasından alınmıştır. ....	2
1.3. $^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$ ve $^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$ sistemleri için füzyon tesir kesitleri. Düz eğriler Bass modeli ile elde edilen sonuçlardır. Bu şekil Chiou vd. (1981) çalışmasından alınmıştır. ....	3
1.4. $^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$ ve $^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$ füzyon reaksiyonlarının deneysel verileri. Bu şekil Funaki ve Arai (1993) çalışmasından alınmıştır. ....	3
1.5. $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$ füzyon reaksiyonunun deneysel verileri. Düz eğri yüksek enerjili füzyon kesitlerine fit edilen tek bir bariyerli (çiftlenimsiz) füzyon hesaplaması. Bu şekil Hinde vd. (1999) çalışmasından alınmıştır. ....	4
2.1. Füzyon reaksiyonunun avantajları ve dezavantajları (Özdemir 2015). ....	5
2.2. İki yüklü çekirdek arasındaki mesafeye karşı potansiyel enerjisi ....	6
2.3. D-Dn reaksiyonu için bir gösterim ....	7
2.4. D-Dp reaksiyonu için bir gösterim ....	8
2.5. D-T füzyon reaksiyonunun temsili bir gösterimi ....	8
2.6. D-D ve D-T füzyon reaksiyonlarının karşılaştırılması (Sakal, 2015) ....	9
2.7. Optik potansiyelin özellikleri ....	11
2.8. Reaksiyon geometrisinin bir gösterimi (Kürkçüoğlu, 2006) ....	18
3.1. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	20
3.2. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	21
3.3. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	22
3.4. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{19}\text{F}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	23
3.5. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	24
3.6. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	25

3.7. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	26
3.8. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	27
3.9. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	28
3.10. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	29
3.11. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	30
3.12. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için $^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$ füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması. ....	31
3.13. $^{19}\text{F}$ çekirdeğinin SP, 2pF ve Ngo yoğunluk dağılımları ve Wong formülüyle elde edilen sonuçların deneysel verilerle karşılaştırmalı gösterimi .....	33

## SİMGELER DİZİNİ

$\sigma$	Tesir-kesiti
$\sigma_t$	Toplam tesir-kesiti
$d\sigma/d\Omega$	Diferansiyel tesir-kesiti
$v(\vec{r}_{12})$	Nükleonların etkileşimi
$J_{00}$	Değiş tokuş terimi



## KISALTMALAR DİZİNİ

OM	Optik model
DFM	Double Folding Model
WS	Woods-Saxon
WS <sup>2</sup>	Woods-Saxon kare
SP	São Paulo yoğunluk dağılımı
2pF	İki parametrelili Fermi yoğunluk dağılımı
Ngo	Ngo yoğunluk dağılımı
G1	Gupta 1 yoğunluk dağılımı
G2	Gupta 2 yoğunluk dağılımı
W	Wesolowski yoğunluk dağılımı
S	Schechter yoğunluk dağılımı
M	Moszkowski yoğunluk dağılımı
J	Jager yoğunluk dağılımı
HFB	Hartree-Fock-Bogolubov yoğunluk dağılımı

## 1. GİRİŞ

Füzyon reaksiyonları çekirdeklerin reaksiyon dinamikleri ve yapıları hakkında bilgi elde etmek için kullanılan önemli nükleer reaksiyonlardandır. Bu kapsamda literatürde çok sayıda deneysel ve teorik çalışma gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte füzyon reaksiyonları hâlâ nükleer fizik alanının en güncel çalışma konularından birisidir.

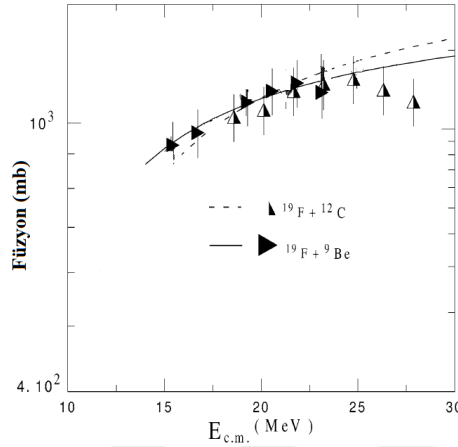
Füzyon reaksiyonu iki çekirdeğin daha kararlı bir hale gelmek için daha ağır bir çekirdek meydana getirdiği reaksiyon olarak ifade edilebilir. Bu kapsamda iki çekirdek Coulomb bariyerini aşabilirse füzyon reaksiyonu meydana gelebilmektedir. Gelen ve hedef çekirdeklerin tüm nükleonların dahil olduğu süreç tam füzyon (complete fusion) olarak ifade edilir. Hedef çekirdekle gelen çekirdeğin büyük bir kısmının sürece dahil olmasına ise tam olmayan füzyon (incomplete fusion) denir. Bu, gelen çekirdeğin büyük bir bölümünün hedef çekirdek ile füzyonudur. Sadece birkaç nükleonun dahil olduğu hafif çekirdeklere, tamamlanmamış füzyon ve transfer reaksiyonları kavramsal olarak farklı mekanizmalar olarak kalır, ancak benzer bir uyarma durumunda aynı nihai çekirdeğin oluşumuna yol açabilir. Bu kapsamda tam füzyon ile tam olmayan füzyonun toplamına ise toplam füzyon (total fusion) denir (Keeley vd. 2007).

Füzyon reaksiyonların analizinde seçilen nükleer potansiyel çok önemli bir rol oynamaktadır. Literatürde Woods-Saxon (WS), Woods-Saxon kare (WS<sup>2</sup>), yukawa gibi farklı nükleer potansiyeller mevcuttur. Bu amaçla kullanılacak potansiyellerden birisi de double folding potansiyelidir. Double folding potansiyel, gelen ve hedef çekirdeğin yoğunluk dağılımları kullanılarak elde edilen bir reel potansiyeldir. Double folding model kullanılarak farklı nükleer reaksiyonlar çalışılmış ve deneysel verilerle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir (Aygün vd. 2010; Aygün, 2019; Kocak ve Aygün, 2020).

Flor, insan vücudunda bulunan önemli elementler arasında yer alır. Özellikle kemik ve diş yapısı için önemlidir. Aynı zamanda nükleer manyetik rezonans spektroskopisinde (NMR) gözlenebilen ve sıklıkla kullanılan bir çekirdektir. Simgesi F olan Flor elementi periyodik cetvelin VII A grubunda yer almaktadır. Bilinen 19 adet izotopu vardır. Bunlardan <sup>19</sup>F, kararlı ve %100 bolluğa sahip nükleer fizikte önemli bir çekirdektir. <sup>19</sup>F çekirdeğinin proton sayısı 9 ve nötron sayısı 10 olup toplam nükleon sayısı 19'dur. <sup>19</sup>F, 1/2 spinli ve pozitif pariteye sahip bir çekirdektir (Anonymous, 2022). Füzyon reaksiyonu yardımıyla <sup>19</sup>F çekirdeği hakkında önemli bilgiler sağlanabilir. Bu kapsamda <sup>19</sup>F çekirdeğinin farklı hedef çekirdeklerle hem deneysel hem de teorik olarak füzyon reaksiyonları incelenmiştir.

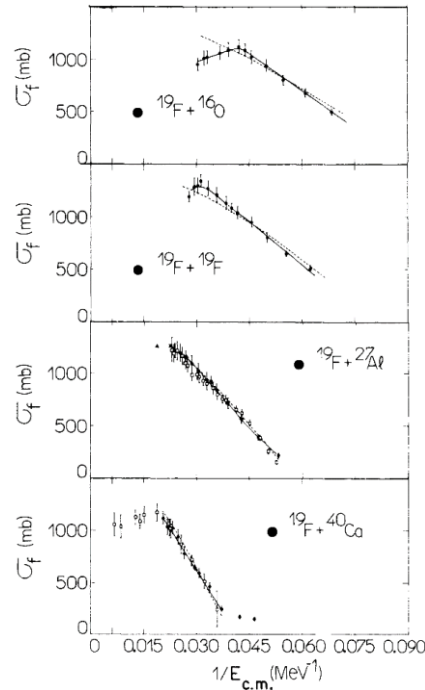
<sup>19</sup>F + <sup>9</sup>Be ve <sup>19</sup>F + <sup>12</sup>C sistemleri için Coulomb bariyerinin üzerindeki enerjilerde, zayıf bağlı çekirdeklerin parçalanmasından (break-up) kaynaklanan füzyon engelinin (hindrance) olası

etkisini araştırmak için füzyon tesir kesitleri Anjos vd. (2002) tarafından ölçülmüştür. Diğer benzer sistemlerle yapılan karşılaştırma sonuçlarının füzyon engeline dair hiçbir kanıt göstermediği bildirilmiştir.



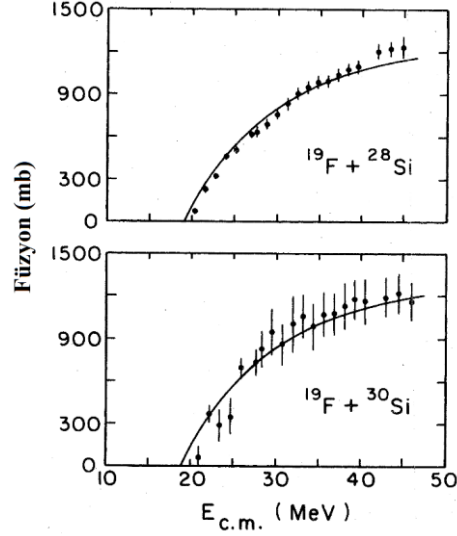
**şekil 1.1.**  $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$  ve  $^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$  sistemleri için füzyon tesir kesitleri. Bu şekil Anjos vd. (2002) alışmasından alınmıştır.

$^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{19}\text{F}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$  ve  $^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$  füzyon reaksiyonlarının deneysel verileri rapor edilmiştir (Anjos vd. 1990). Anjos vd. (1990) etkileşim bariyerinin üzerindeki enerjilerde füzyon tesir kesitleri engelinin, giriş kanalı kütle asimetrisine açık bir bağımlılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu bağımlılık, kütle asimetrisi serbestlik derecesini açıkça ele alan model tahminleri açısından tartışılmıştır.



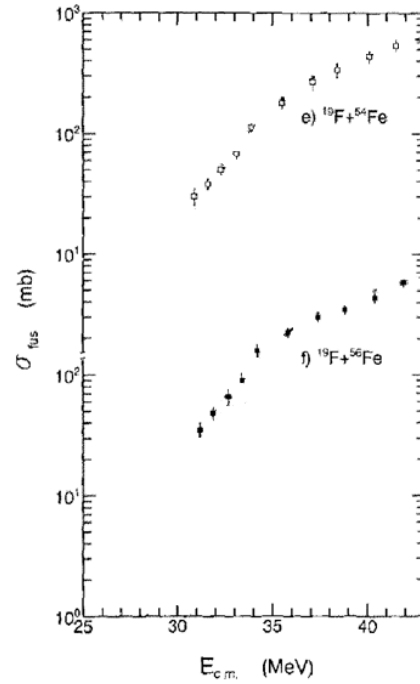
**şekil 1.2.** Enerjinin tersinin bir fonksiyonu olarak  $^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{19}\text{F}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$  ve  $^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$  sistemleri için toplam füzyon kesitleri. Düz eğriler ve kesikli çizgiler farklı teorik modeller ile elde edilen sonuçlardır. Bu şekil Anjos vd. (1990) alışmasından alınmıştır.

$^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$  ve  $^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$  füzyon tesir kesitleri Chiou vd. (1981) tarafından ölçülmüş ve farklı yaklaşımlarla elde edilen teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



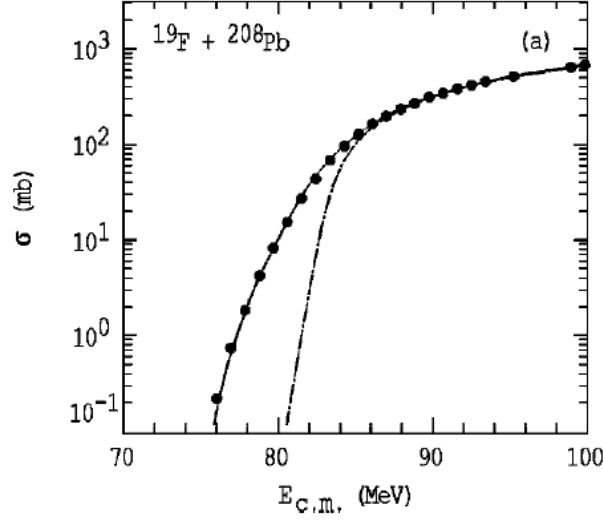
**Şekil 1.3.**  $^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$  ve  $^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$  sistemleri için füzyon tesir kesitleri. Düz eğriler Bass modeli ile elde edilen sonuçlardır. Bu şekil Chiou vd. (1981) çalışmasından alınmıştır.

$^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$  ve  $^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$  füzyon reaksiyonlarının deneysel verileri Funaki ve Arai (1993) tarafından ölçülmüştür. Deneysel sonuçları bir boyutlu penetrasyon modeliyle karşılaştırmışlar ve model hesaplamasından on kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda çiftlenmiş kanal hesaplamaları gerçekleştirmişler ve verilerin daha iyi açıklanması için triton transferi için ek bir kanal gerekliliğini tespit etmişlerdir.



**Şekil 1.4.**  $^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$  ve  $^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$  füzyon reaksiyonlarının deneysel verileri. Bu şekil Funaki ve Arai (1993) çalışmasından alınmıştır.

$^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$  füzyon reaksiyonunun deneysel verileri Hinde vd. (1999) tarafından ve  $^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$  füzyon reaksiyonunun deneysel verileri Kailas vd. (1991) tarafından rapor edilmiştir.



**Şekil 1.5.**  $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$  füzyon reaksiyonunun deneysel verileri. Düz eğri yüksek enerjili füzyon kesitlerine fit edilen tek bir bariyerli (çiftlenimsiz) füzyon hesaplamasıdır. Bu şekil Hinde vd. (1999) çalışmasından alınmıştır.

Bununla birlikte bu çalışmalar incelendiğinde  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin farklı yoğunluk dağılımlarının  $^{19}\text{F}$  füzyon reaksiyonlarının tesir kesitleri üzerine etkisinin eş zamanlı olarak incelenmediği görülmüştür. Literatürdeki bu eksikliği gidermek amacıyla tez çalışmamızda  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin çeşitli füzyon reaksiyonların deneysel verileri  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için eş zamanlı olarak incelenecektir.

Tezin ana hatları aşağıda verilmiştir:

Bölüm 1'de,  $^{19}\text{F}$  çekirdeği üzerine gerçekleştirilmiş füzyon reaksiyon deneyleri hakkında kısa bilgiler ve tezin amaçları verilmiştir.

Bölüm 2'de, öncelikle füzyon reaksiyonu ve füzyon tesir kesiti hesaplamaları hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra hesaplamalarda kullanılan modeller ve  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin yoğunluk dağılımları açıklanmıştır.

Bölüm 3'de,  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı kullanılarak  $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  ve  $^{232}\text{Th}$  füzyon reaksiyonlarının tesir kesitleri hesaplanmıştır. Teorik sonuçlar hem deneysel verilerle hem de bir boyutlu (one-dimensional) Wong formülüyle karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda analiz edilen tüm füzyon reaksiyonları ve yoğunluk dağılımları için bariyer pozisyonu ve yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Son olarak analiz edilen yoğunluk dağılımları için sanal potansiyel eşitlikleri elde edilmiştir.

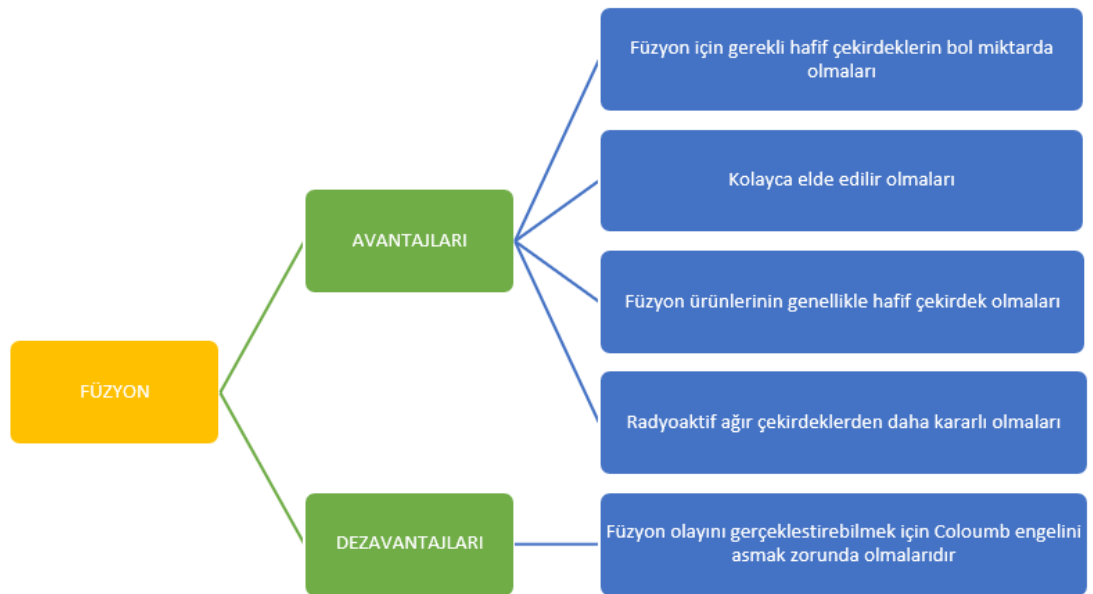
Bölüm 4'de teorik sonuçların genel bir değerlendirmesi yapılmıştır.

## 2. MATERYAL YÖNTEM

### 2.1. Füzyon Reaksiyonu

İlk füzyon deneyi, 1938'de Arthur Kantrowitz ve Paul Jacobs tarafından NASA'nın öncülü olan Ulusal Havacılık Danışma Komitesi (NACA) Langley Saha Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi (Heppenheimer, 1983; Morse, 2019). O zamandan beri hemen hemen her sanayileşmiş ülke füzyon laboratuvarı kurmaya başlamıştır. 1950'lerin ortalarında Sovyetler Birliği, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, Almanya ve Japonya füzyon sistemleri üretmeye ve çalıştırmaya başlamıştır. Füzyondaki ilk büyük atılım Sovyetler Birliği'nde üretilen tokamak cihazıdır. Bu cihazda plazma hapsi ve gerekli sıcaklık seviyesi, füzyon araştırmalarında önemli bir yere sahip olan ve ulaşılmış iki temel standarttır. Bu aşamadan sonra tokamak, füzyon araştırmalarında en önemli cihaz haline gelmiştir (Akgün, 2010). 1981 yılında Almanya'da kurulan TEXTOR, 1983 yılında Birleşik Krallık'ta kurulan JET, 1984 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde kurulan TFTR ve 1986 yılında Japonya'da kurulan JT-60, dünya araştırmalarına yönelik tokamak cihazlarıdır (Krane, 2002; Bartlett, 2006; Anonymous, 2010).

Füzyon, güneşin sahip olduğu enerjinin temelidir. Protonların döteryuma füzyonunun, ekzotermik reaksiyon zincirindeki ilk adım olduğu gösterildi. Füzyon reaksiyonunun oluşturduğu ürünün kütlesi, füzyona giren çekirdeğin kütlesinden daha az olduğundan, kütledeki bu farktan dolayı enerji açığa çıkar (Harms vd. 2000). Gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılama gerekçesiyle, füzyon çalışmaları enerji araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır.

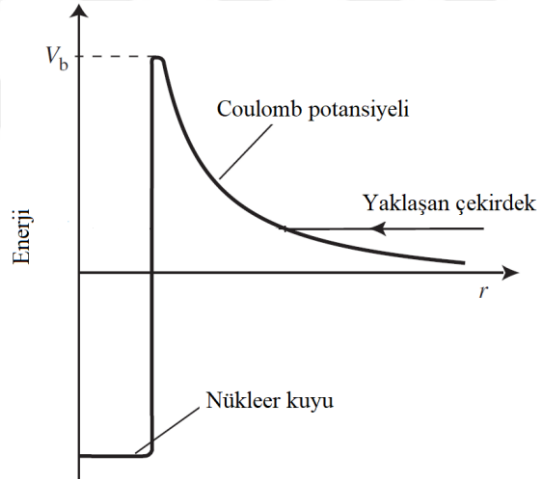


Şekil 2.1. Füzyon reaksiyonunun avantajları ve dezavantajları (Özdemir, 2015)

İki çekirdek etkileştiği zaman farklı nükleer reaksiyonlar meydana gelebilir. Bu etkileşimler çekirdeklerin enerjilerine bağlı olarak değişebilmektedir. Füzyon reaksiyonlarının gerçekleşmesi tepkimeye girecek çekirdekler arasındaki Coulomb engeli nedeniyle çok zordur. Bu kapsamda Coulomb potansiyeli,

$$V_c(r) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r} \quad (2.1)$$

şeklinde verilebilir. Eşitlikte  $Z_1$  ve  $Z_2$  etkileşen çekirdeklerin atom numaraları ve  $e$  elektron yüküdür. Bu durumda iki etkileşen çekirdek bu sistem için geçerli olan Coulomb engelini aşarsa füzyon reaksiyonu meydana gelebilir (Krane, 2002). Bu itici kuvvet çekirdeğin kinetik enerjisi artırılarak aşılabılır. Bunun sonucunda oluşan çekirdek uyarılmış durumda bulunabilir ve  $p$ ,  $n$  parçacıkları veya  $\gamma$  ışını yayımlayabilir. Bu parçacık yayını parçacık buharlaşması (particle evaporation) olarak adlandırılır.



**Şekil 2.2.** İki yüklü çekirdek arasındaki mesafeye karşı potansiyel enerjisi

Füzyon reaksiyonununun gerçekleşmesi için diğer bir durum ise kuantum tünellemedir (Gamow 1928; 1929). Öyle ki Coulomb bariyeri altındaki enerjilerde füzyon olayının gerçekleşmesi klasik olarak beklenmez. Ancak bu durum kuantum mekaniği olarak mümkündür. Dolayısıyla birbirleriyle etkileşim halindeki iki çekirdeğin füzyon olayını gerçekleştirebilmeleri için ya Coulomb bariyerini aşmaları ya da kuantum tünelleme gerçekleştirmeleri gerekmektedir.

Etkileşen iki çekirdek arasındaki etkileşim potansiyeli iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar Coulomb potansiyeli ve nükleer potansiyeldir. Coulomb potansiyeli literatürde iyi bilinen

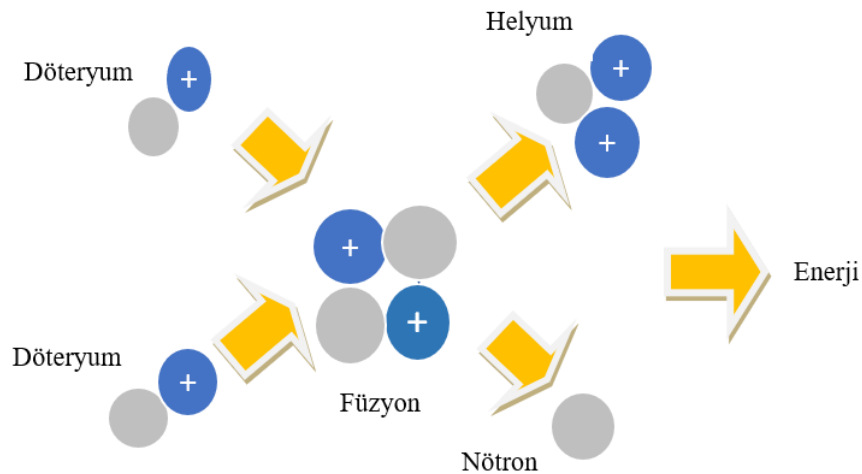
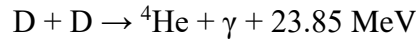
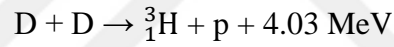
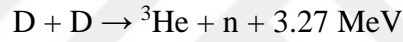
potansiyeldir. Buna karşın nükleer potansiyel hakkında hala bilinmeyen yönler mevcuttur. Bu amaçla farklı yaklaşımlar kullanılarak nükleer potansiyel elde edilmeye çalışılmıştır.

## 2.2. Temel Füzyon Reaksiyonları

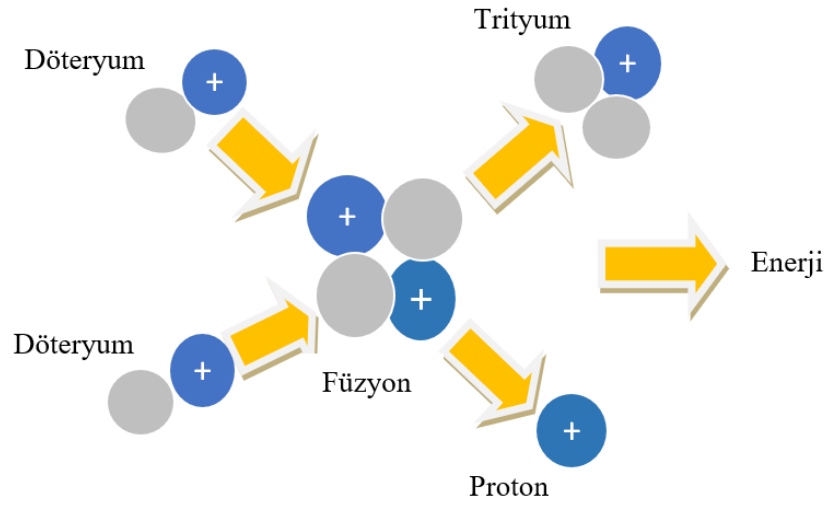
Bazı önemli döteryum – döteryum (D-D) ve döteryum – trityum (D-T) ile birlikte diğer bazı önemli füzyon reaksiyonları takip eden alt bölümlerde verilmektedir.

### 2.2.1. D-D Reaksiyonları

Döteryum 1932'de Urey ve Teal (1935) tarafından keşfedilmiştir ve kayda değer miktarlarda saf örnekler üretilmiştir. Döteryum, bir proton ve bir nötrondan meydana gelmektedir. Simgesel D veya  ${}^2_1\text{H}$  olarak ve döteryum-döteryum reaksiyonları D-D şeklinde gösterilebilir. Bu kapsamda bazı D-D füzyon reaksiyonları aşağıda verilmektedir.



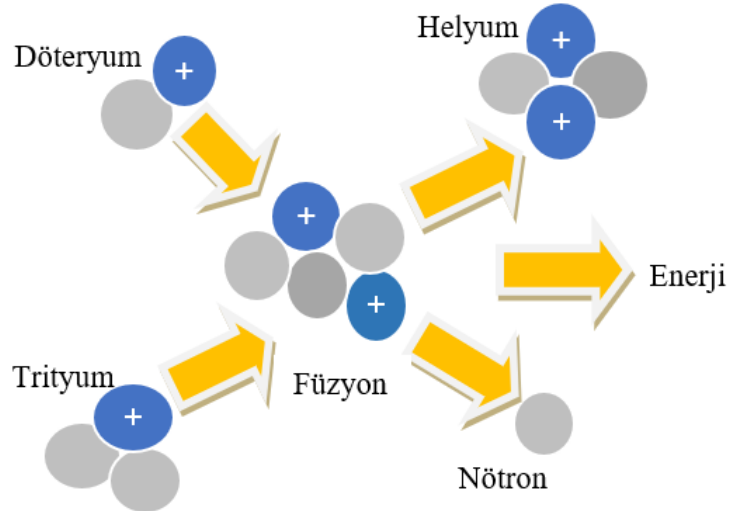
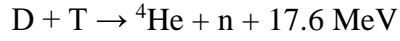
Şekil 2.3. D-Dn reaksiyonu için bir gösterim



Şekil 2.4. D-Dp reaksiyonu için bir gösterim

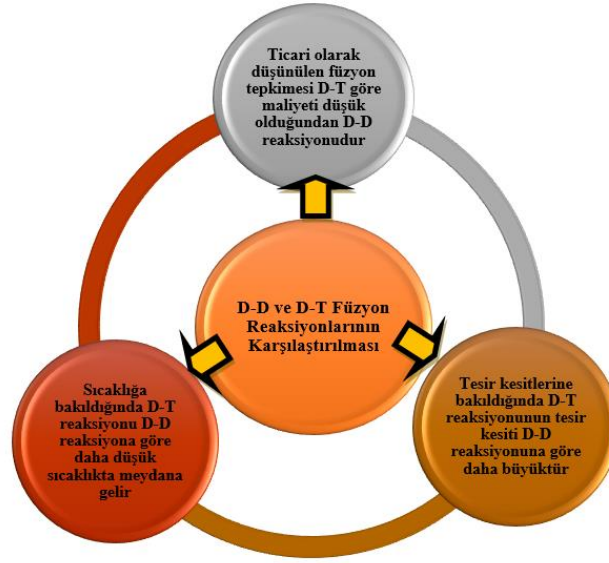
### 2.2.2. D-T Reaksiyonları

Trityum, hidrojen çekirdeğinin başka bir izotopu olup bir proton ve iki nötrondan oluşmaktadır. Simgesel T veya  ${}^3_1\text{H}$  olarak ve döteryum-trityum reaksiyonları D-T şeklinde gösterilebilir. Bu kapsamda örnek D-T füzyon reaksiyonu aşağıda verilmektedir (Chen, 1974; Boyd ve Sanderson, 2003).



Şekil 2.5. D-T füzyon reaksiyonunun temsili bir gösterimi

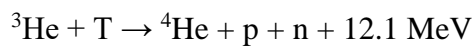
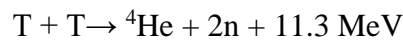
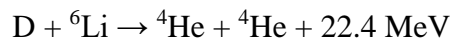
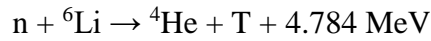
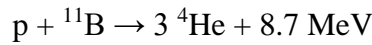
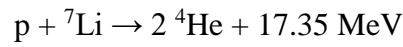
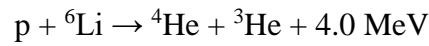
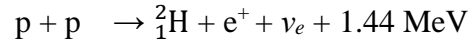
Döteryum-döteryum ve döteryum-trityum reaksiyonlarının birbirlerine göre farklılıkları mevcuttur. Bunların özetlenmiş hali Şekil 2.6'da verilmektedir.



Şekil 2.6. D-D ve D-T füzyon reaksiyonlarının karşılaştırılması (Sakal, 2015)

### 2.2.3. Diğer Bazı Önemli Füzyon Reaksiyonları

D-D ve D-T füzyon reaksiyonların haricinde diğer bazı önemli füzyon reaksiyonları aşağıda verilmiştir.



### 2.3. Füzyon Reaksiyonunun Gerçekleşmesi İçin Gereken Koşullar

Füzyon reaksiyonunun gerçekleşmesi için sıcaklık, yoğunluk ve zaman sınırının yeterli olması gerekir. Bu üç standardın birleşimi üçlü çarpım bir ürün olarak tanımlanır. Füzyon olayı için bu kriterlerden bir veya daha fazlası karşılanamazsa, plazmada yeterli ısı tutulamaz ve füzyon reaksiyonu durur.

#### 2.3.1. Sıcaklık

Nükleer füzyona ulaşmak için parçacıkların Coulomb bariyerini aşması gerekir. Bu çok yüksek sıcaklıklar gerektirir. Çok yüksek sıcaklıklar kullanan bu tür füzyon reaksiyonuna termonükleer füzyon denir. Termonükleer füzyon için parçacıkların enerjisi 1-10 keV aralığında ve sıcaklıkları  $10^8$ - $10^9$  K aralığında olmalıdır. Bu kapsamda D-D füzyon reaksiyonu plazma sıcaklığı yaklaşık  $4,0 \times 10^8$  K olduğunda ve D-T füzyon reaksiyonu ise plazma sıcaklığı yaklaşık  $4,5 \times 10^7$  K olduğunda gerçekleşebilir. Böylece sıcaklığın artmasıyla füzyon reaksiyonunun gerçekleşme ihtimalinin de artacağı söylenebilir (Kasap 2014).

#### 2.3.2. Yoğunluk

Nükleer füzyonun Coulomb bariyerini aşmak için yeterince yüksek bir sıcaklık sağlansa bile reaksiyondan net bir enerji verimi elde etmek için çarpışma olasılığı yeterince yüksek olmalıdır. Bu olasılığı artırmak için kritik iyon yoğunluğuna ulaşılmalıdır. Örneğin etkileşim halindeki çekirdek yoğunluğu en az  $10^{20}$  tanecik/m<sup>3</sup> olabilmektedir (Kasap 2014).

#### 2.3.3. Zaman

Füzyon reaksiyonunun gerçekleşmesi ve devam etmesi için plazma tutulumu uzatılmalıdır. Bu zaman birimi saniye cinsinden ifade edilir ve t ile gösterilir. Birim hacim başına iyon sayısının artırılması, iyon çarpışmalarının olasılığını artırır ve plazma aktivasyonunun daha hızlı gerçekleşmesini sağlar. Bununla birlikte, birim hacim başına iyon sayısı küçükse, iyon çarpışmalarının düşük olasılığı nedeniyle plazma aktivasyonu gecikecektir. Plazma aktivasyon süresinin yoğunlukla ters orantılı olduğu anlaşılabilir. Zaman ne kadar kısa olursa, ortamın yoğunluğu o kadar büyük ve zaman ne kadar uzun olursa, ortamın yoğunluğu o kadar düşük olur. Ürünleri, Lawson ölçütü olarak adlandırılan bir sabite eşittir. Lawson ölçütü, kısıtlama süresi ve

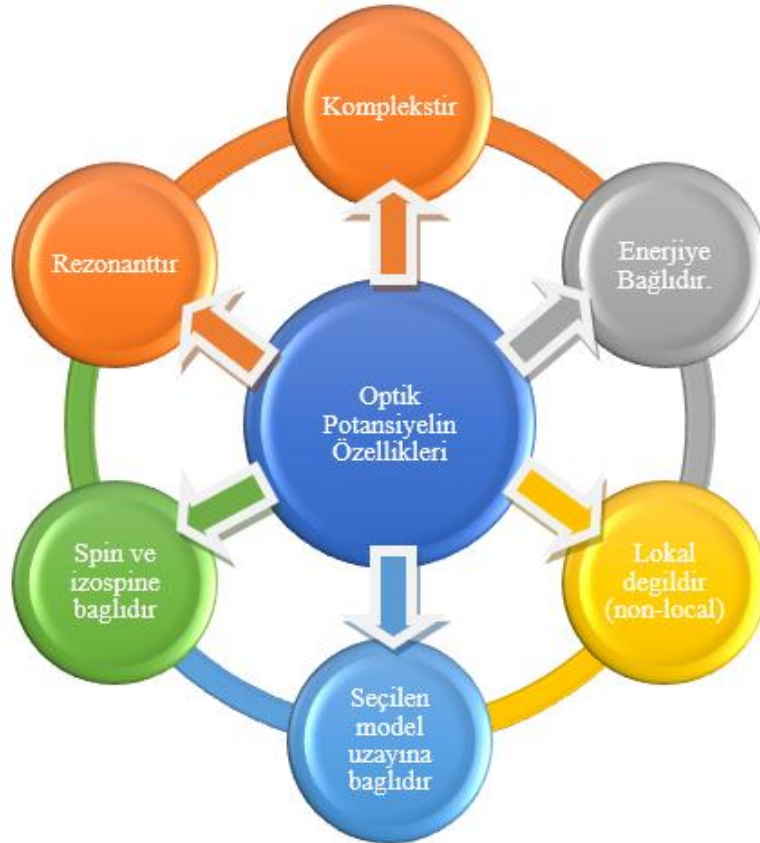
iyon yoğunluğunun çarpımının minimum değeri olarak ifade edilir. Farklı çalışma sıcaklıkları ve yakıt değişimleri nedeniyle Lawson ölçütü farklı değerler gösterir (Kasap 2014).

## 2.4. Optik Model

Nükleer reaksiyonları açıklamak için farklı modeller olmakla birlikte en çok kullanılan modellerden biri de optik modeldir. Gelen parçacıklar bir hedefle etkileşime girdiğinde, hedefin uyarılması nedeniyle gelen akının bir kısmı esnek olmayan kanala gider. Reel potansiyel tek başına bu durumu açıklamaya yetmez. Uyarıcı kanal ile etkileşimi gösteren sanal potansiyelin de sürece dahil edilmesi gerekir. Optik potansiyel,

$$\begin{array}{ccccc} U(r) & = & V(r) & + & iW(r) \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \text{Optik} & & \text{Reel} & & \text{Sanal} \end{array} \quad (2.2)$$

şeklinindedir. Optik potansiyelin sahip olduğu özellikler Şekil 2.7’de verilmektedir.



Şekil 2.7. Optik potansiyelin özellikleri

Optik potansiyeli tanımlamak için fenomenolojik ve mikroskobik yöntemler kullanılır. Fenomenolojik yöntem, etkileşen çekirdekler arasındaki etkileşim potansiyelini belirlemek ve deneysel veriler için en uygun potansiyel parametrelerini elde etmektir. Fenomenolojik yöntemde potansiyelin genel formu,

$$U(r) = -\frac{V, W}{1 + \exp\left(\frac{r - r_i(A_p^{1/3} + A_t^{1/3})}{a_i}\right)^n} \quad (2.3)$$

şeklinde olup  $n = 1$  WS ve  $n = 2$  WS<sup>2</sup> potansiyeli olarak ifade edilir. Burada,  $r$  gelen ile hedef çekirdeklerin merkezleri arasındaki uzaklık ve  $A_p$  ve  $A_t$  ise sırasıyla gelen ile hedef çekirdeklerin kütle numaralarını göstermektedir.  $a_i$  ise difüzyon parametresi olarak adlandırılır. Mikroskobik yöntemde etkileşen çekirdeklerin yoğunluk dağılımları ve bunların iç etkileşimleri (nükleon etkileşimleri) dahil edilir.

## 2.5. Double Folding Model

Double folding model, optik modelin reel potansiyelini belirlemek için yaygın bir şekilde kullanılan bir modeldir. Başlangıçta tek katlı bir hesaplama geliştirilmiş, ancak ağır iyon reaksiyonlarının deneysel sonuçları, bu yöntemle elde edilen potansiyelin orijinalin yaklaşık iki katı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle çift katlı bir model önerilmiştir (Satchler ve Love, 1979).

Bu modelde, gelen ve hedef çekirdekleri tanımlayan mevcut yapının yoğunluk dağılımı belirlenir. Daha sonra nükleon-nükleon etkileşim potansiyeli ve yoğunluk dağılımları üzerinden integral alınarak bu etkileşim için uygun potansiyel değeri elde edilebilir. Böylece double folding potansiyeli,

$$U(r) = \int d\vec{r}_1 \int d\vec{r}_2 \rho_1(r_1) \rho_2(r_2) v(\vec{r}_{12} = \vec{R} - \vec{r}_1 + \vec{r}_2) \quad (2.4)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada  $\rho_1(r_1)$  ve  $\rho_2(r_2)$  gelen ve hedef çekirdeklerin yoğunluk dağılımlarını ifade etmektedir.  $v(r_{12})$  nükleonlar arasındaki etkileşimi açıklar ve en sık kullanılan etkileşim türü M3Y'dir. Bu ifade,

$$v(\vec{r}_{12}) = 7999 \frac{\exp(-4r)}{4r} - 2134 \frac{\exp(-2.5r)}{2.5r} + J_{00}(E) \quad (2.5)$$

olarak tanımlanmaktadır. Denklem, itici ve çekici terimler içermektedir. Bu terimler, kısa mesafeli itmeyi ve uzun mesafeli çekmeyi ifade eder. Denklemde  $J_{00}(E)$  terimi

$$J_{00}(E) = -276 \left[ 1 - \frac{0.005E_{\text{lab}}}{A} \right] \text{MeV} \cdot \text{fm}^3 \quad (2.6)$$

şeklinde verilmekte ve nükleer fizikte değiş tokuş terimi olarak tanımlanmaktadır. Eşitlikte  $E_{\text{lab}}$  gelen çekirdeğin enerjisini ve  $A$  ise gelen çekirdeğin nükleon sayısını göstermektedir.

## 2.6. $^{19}\text{F}$ Çekirdeğinin Yoğunluk Dağılımları

Tez çalışmamızda  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı ve farklı kütleli hedef çekirdeklerle füzyon reaksiyonları incelenmiştir. Bu amaçla kullanılan yoğunluk dağılımları takip eden alt bölümlerde açıklanmıştır.

### 2.6.1. São Paulo (SP) Yoğunluğu

SP yoğunluğu iki parametrelili Fermi (2pF) formunda olup (Choman vd. 2002)

$$\rho(r) = \frac{\rho_{0n,0p}}{1 + \exp\left(\frac{r - R_{n,p}}{a_{n,p}}\right)}, \quad (2.7)$$

$$R_n = 1.49 N^{1/3} - 0.79, \quad a_n = 0.47 + 0.00046 N, \quad (2.8)$$

$$R_p = 1.81 Z^{1/3} - 1.12, \quad a_p = 0.47 - 0.00083 Z, \quad (2.9)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Eşitlikte  $R_{n(p)}$  nötron(proton) için yarı yoğunluk yarıçapını,  $a_{n(p)}$  ise nötron(proton) için yüzey kalınlığı parametresidir.

### 2.6.2. İki Parametrelili Fermi (2pF) Yoğunluğu

2pF yoğunluğunda  $R_{n(p)}$  ve  $a_{n(p)}$  parametreleri farklı formda olup sahip oldukları değerler (Seif ve Mansour, 2015)

$$R_n = 0.953 N^{1/3} + 0.015 Z + 0.774 , \quad a_n = 0.446 + 0.0072 \left( \frac{N}{Z} \right), \quad (2.10)$$

$$R_p = 1.322 Z^{1/3} + 0.007 N + 0.022, \quad a_p = 0.449 + 0.0071 \left( \frac{Z}{N} \right), \quad (2.11)$$

şeklindedir.

### 2.6.3. Ngo (Ngo) Yoğunluğu

Ngo yoğunluğu takip eden formda verilebilir (Ngo vd. 1975; Ngo ve Ngo, 1980).

$$\rho(r) = \frac{\rho_{0n,0p}}{1 + \exp\left(\frac{r - C}{0.55}\right)}, \quad (2.12)$$

$$\rho_{0n} = \frac{3}{4\pi} \frac{N}{A} \frac{1}{r_{0n}^3}, \quad \rho_{0p} = \frac{3}{4\pi} \frac{Z}{A} \frac{1}{r_{0p}^3}, \quad (2.13)$$

$$C = R \left( 1 - \frac{1}{R^2} \right), \quad R = \frac{NR_n + ZR_p}{A}, \quad R_n = r_{on} A^{1/3}, \quad R_p = r_{op} A^{1/3}, \quad (2.14)$$

$$r_{on} = 1.1375 + 1.875 \times 10^{-4} A \quad \text{ve} \quad r_{op} = 1.128 \text{ fm}. \quad (2.15)$$

### 2.6.4. Gupta 1 (G1) Yoğunluğu

G1 yoğunluğu (Gupta vd. 2007; Ghodsi ve Torabi, 2015)

$$\rho_i(r) = \frac{\rho_{0i}}{1 + \exp\left(\frac{r - R_{0i}}{a_i}\right)}, \quad \rho_{0i} = \frac{3A_i}{4\pi R_{0i}^3} \left( 1 + \frac{\pi^2 a_i^2}{R_{0i}^2} \right)^{-1}, \quad (2.16)$$

$$R_{0i} = 0.90106 + 0.10957A_i - 0.0013A_i^2 + 7.71458 \times 10^{-6}A_i^3 - 1.62164 \times 10^{-8}A_i^4, \quad (2.17)$$

$$a_i = 0.34175 + 0.01234A_i - 2.1864 \times 10^{-4}A_i^2 + 1.46388 \times 10^{-6}A_i^3 - 3.24263 \times 10^{-9}A_i^4 \quad (2.18)$$

şeklindedir.

### 2.6.5. Gupta 2 (G2) Yoğunluğu

G2 yoğunluğu için  $R_{0i}$  ve  $a_i$  değerleri (Gupta vd. 2009)

$$R_{0i} = 0.9543 + 0.0994A_i - 9.8851 \times 10^{-4}A_i^2 + 4.8399 \times 10^{-6}A_i^3 - 8.4366 \times 10^{-9}A_i^4, \quad (2.19)$$

$$a_i = 0.3719 + 0.0086A_i - 1.1898 \times 10^{-4}A_i^2 + 6.1678 \times 10^{-7}A_i^3 - 1.0721 \times 10^{-9}A_i^4, \quad (2.20)$$

şeklindedir.

### 2.6.6. Wesolowski (W) Yoğunluğu

W yoğunluğu (Wesolowski, 1985) takip eden eşitliklerle verilebilir (Dhiman, 2012).

$$\rho_0 = \frac{3}{4\pi R_0^3} \left( 1 + \frac{\pi^2 a^2}{R_0^2} \right)^{-1}, \quad R_0 = R' \left[ 1 - \left( \frac{b}{R'} \right)^2 + \frac{1}{3} \left( \frac{b}{R'} \right)^6 + \dots \right], \quad (2.21)$$

$$R' = \left[ 1.2 - \frac{0.96}{A^{1/3}} \left( \frac{N-Z}{A} \right) \right] A^{1/3}, \quad b = \frac{\pi}{\sqrt{3}} a \quad a = 0.39 \text{ fm}. \quad (2.22)$$

### 2.6.7. Schechter (S) Yoğunluğu

2pF formuna sahip S yoğunluğu (Schechter vd. 1979)

$$\rho_0 = \frac{0.212}{1 + 2.66 A^{-2/3}}, \quad R_0 = 1.04 A^{1/3}, \quad a = 0.54 \text{ fm} \quad (2.23)$$

olarak ifade edilmektedir.

### 2.6.8. Moszkowski (M) Yoğunluğu

M yoğunluğu 2pF formunda olup parametreleri (Moszkowski, 1978)

$$\rho_0 = 0.16 \text{ fm}^{-3}, \quad R_0 = 3.06866 \text{ fm}, \quad a = 0.50 \text{ fm}, \quad (2.24)$$

şeklindedir.

### 2.6.9. Jager (J) Yoğunluğu

J yoğunluğu da 2pF formunda olup parametreleri (De Jager vd. 1974)

$$\rho_0 = 0.17784 \text{ fm}^{-3}, \quad R_0 = 2.59 \text{ fm}, \quad a = 0.564 \text{ fm}, \quad (2.25)$$

şeklindedir.

### 2.6.10. Hartree-Fock-Bogolubov (HFB) Yoğunluğu

Bsk2 Skyrme kuvvet hesaplamaları kapsamında HFB yoğunluğu RIPL-3'ten elde edilmiştir (<http://www-nds.iaea.org/ripl-2.html>).

## 2.7. Hedef Çekirdeklerin Yoğunluk Dağılımları

$^{19}\text{F}$  çekirdeğinin  $^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  ve  $^{232}\text{Th}$  gibi farklı hedef çekirdeklerle füzyon reaksiyonları incelenecektir. Bu kapsamda  $^9\text{Be}$  çekirdeği için takip eden yoğunluk kullanılmaktadır (Hnizdo vd. 1981).

$$\rho(r) = (a + bc^2r^2) \exp(-c^2r^2) + (d + ef^2r^2) \exp(-f^2r^2) \quad (2.26)$$

Burada  $a = 0.0651$ ,  $b = 0.0398$ ,  $c = 0.5580$ ,  $d = 0.0544$ ,  $e = 0.0332$  ve  $f = 0.4878$ 'dir.  $^{12}\text{C}$  ve  $^{16}\text{O}$  çekirdeklerinin yoğunlukları

$$\rho(r) = (\alpha + wr^2) \exp(-\beta r^2) \quad (2.27)$$

şeklinde olup burada  $^{12}\text{C}$  çekirdeği için  $\alpha = 0.1644$ ,  $w = 0.082003$ ,  $\beta = 0.3741$  (El-Azab Farid ve Hassanain, 2000) ve  $^{16}\text{O}$  çekirdeği için  $\alpha = 0.13173$ ,  $w = 0.085058$ ,  $\beta = 0.3228$ 'dir (Kocak vd. 2010; Qing-biao vd. 1991; Ehrenberg vd. 1959).  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  ve  $^{232}\text{Th}$  çekirdekleri için

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + \exp\left(\frac{r-c}{z}\right)} \quad (2.28)$$

eşitliği Çizelge 2.1.'de verilen  $\rho_0$ ,  $c$  ve  $z$  değerleriyle uygulanmıştır.

**Çizelge 2.1.**  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  ve  $^{232}\text{Th}$  çekirdeklerinin yoğunluk dağılımlarının  $\rho_0$ ,  $c$  ve  $z$  değerleri

Hedef Çekirdekler	$\rho_0$ (fm <sup>-3</sup> )	$c$ (fm)	$z$ (fm)	Referanslar
$^{27}\text{Al}$	0.2015	2.84	0.569	De Jager vd. (1974)
$^{28}\text{Si}$	0.175	3.15	0.475	Hossain vd. (2013)
$^{30}\text{Si}$	0.174908	3.17048	0.538603	Gupta vd. (2009)
$^{40}\text{Ca}$	0.169	3.60	0.523	Hossain vd. (2013)
$^{54}\text{Fe}$	0.1699279	4.012	0.5339	De Jager vd. (1974)
$^{56}\text{Fe}$	0.174934	3.971	0.5935	De Jager vd. (1974)
$^{208}\text{Pb}$	0.1600	6.62	0.551	De Jager vd. (1974)
$^{232}\text{Th}$	0.16477	6.80516	0.559058	Gupta vd. (2009)

## 2.8. Tesir Kesiti

Nükleer etkileşimde, mermi hedef çekirdeğe gönderildiğinde belirli bir olasılık dahilinde tepki verecek veya saçılacaktır. Nükleer etkileşimde, belirli bir reaksiyonun olasılığını belirtmek için nicel bir ölçüte ihtiyaç vardır. Bu nicelik tesir kesiti olup reaksiyonun meydana gelebilme ihtimalinin bir ölçüsüdür (Krane, 2002; Kürkçüoğlu, 2006). Bu nedenle reaksiyonun gerçekleşme olasılığını veren tesir kesit kavramı nükleer fizikte önemli parametrelerden biridir (Satchler, 1980; Aydın, 1997; Bayrak, 2004).

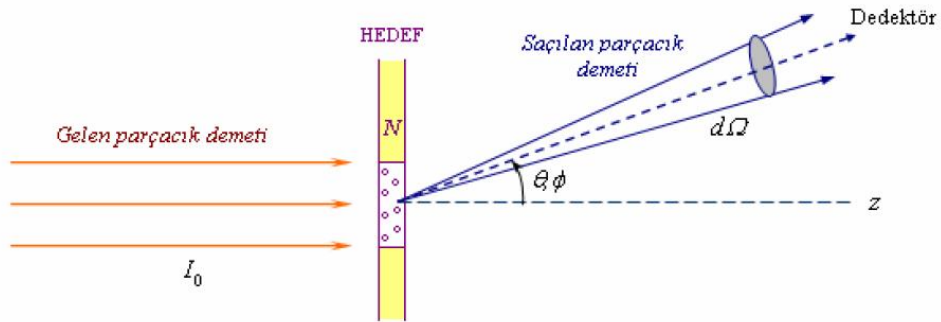
Gelen çekirdek, hedef çekirdek ile etkileştiğinde meydana gelebilecek saçılma veya çekirdekten yayılan parçacıklar belirli bir mesafeye yerleştirilmiş bir dedektör tarafından sayılır. Tesir kesiti birim olarak Barn'dır ve  $1 \text{ Barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2 = 100 \text{ fm}^2$  dir (Deconinck, 1978).

Gelen ve hedef çekirdeklerin etkileşiminde, her zaman yalnızca bir tür reaksiyon meydana gelmez. Farklı reaksiyonlar meydana gelirse, her reaksiyon türünün tesir kesiti genel olarak farklı

olmaktadır. Bu kapsamda toplam tesir kesiti bu tesir kesitlerinin toplamına eşit olacaktır. Nükleer reaksiyon veya saçılmadan sonra yayımlanan parçacıklar genellikle anizotropik dağılım gösterir ve farklı açılarda farklı enerjilere sahiptir. Diferansiyel tesir kesiti sadece enerjiye bağlı değildir, aynı zamanda tesir kesitinin yönü de nükleer reaksiyonun tipine bağlıdır. Kutupsal açıları  $\theta$  ve  $\phi$  yönlerinde gelen ışına göre  $d\Omega$  katı açı elemanına birim zamanda yayılan  $b$  parçacıklarının sayısını kaydetmek için bir dedektör kullanılırsa, yayılan  $b$ 'nin sayısı  $I_0$  ve  $N$  nicelikleri yanısıra  $d\Omega$  katı açısına bağlı olacaktır (Şekil 2.8). Bu durumda orantı sabiti diferansiyel tesir kesit ( $d\sigma/d\Omega$ ) olarak adlandırılır ve ölçülmesi reaksiyon ürünlerinin açısal dağılımı hakkında önemli bilgiler sağlayabilir. Katı açı, steradyan cinsinden ölçüldüğü için diferansiyel kesit alanı da alan boyutu olarak ifade edilir ve birimi barn/steradyandır. Genel ifade ile  $b$ 'nin yayımlanma ihtimali  $\theta$  ve  $\phi$  kutupsal açılara bağlıdır. Böylece tesir kesiti ve diferansiyel tesir kesiti arasındaki ilişki,

$$\sigma = \int \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right) d\Omega \quad (2.29)$$

şeklinde yazılabilir.



**Şekil 2.8.** Reaksiyon geometrisinin bir gösterimi (Kürkçüoğlu, 2006)

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

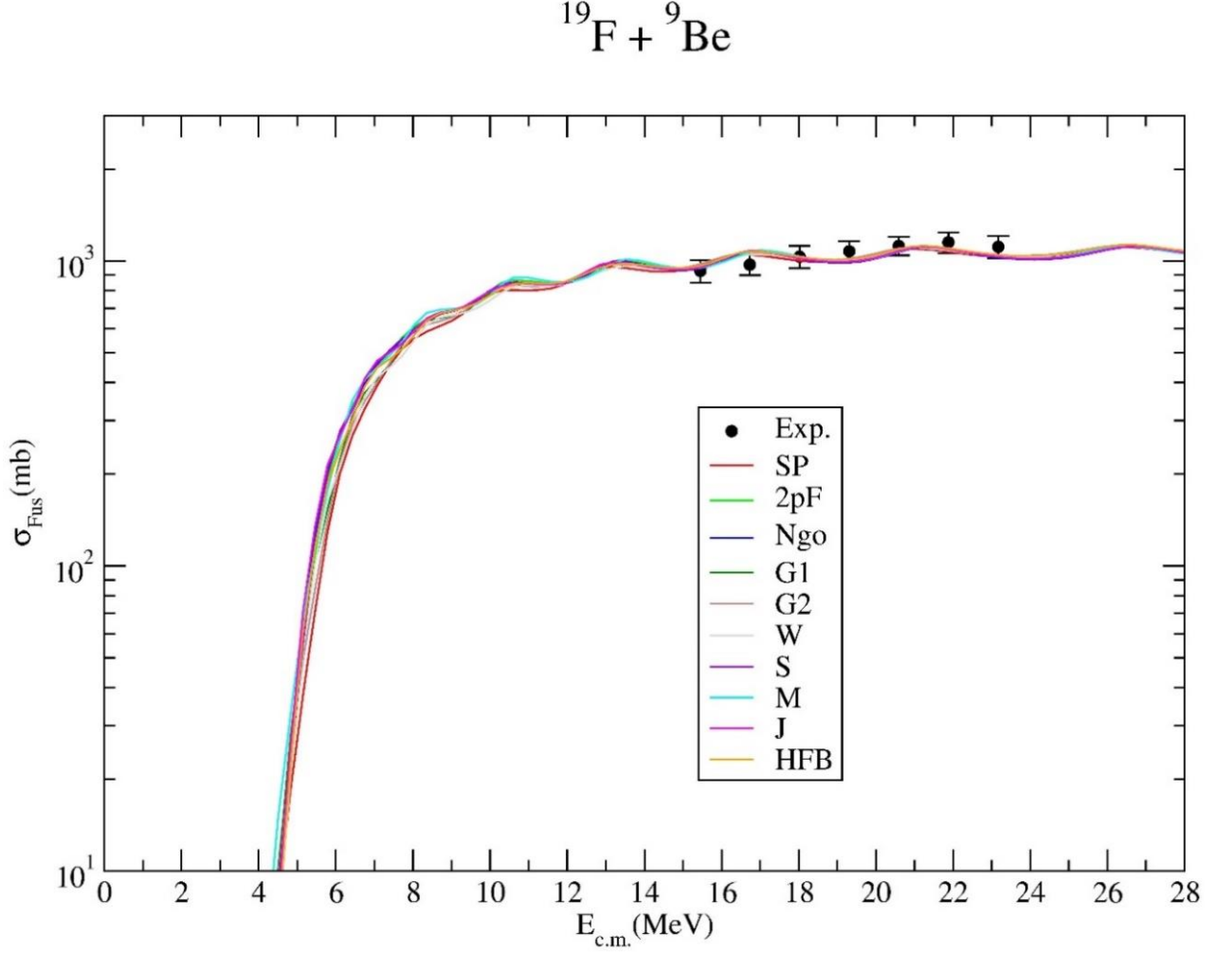
#### 3.1. $^{19}\text{F}$ Füzyon Reaksiyonlarının Analizi

Tez çalışmamızda  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin  $^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  gibi on iki farklı çekirdek ile füzyon reaksiyonlarının tesir kesitleri incelenmiştir. Bu kapsamda teorik hesaplamalar optik model kapsamında gerçekleştirilmiştir. Optik potansiyelin reel kısmı SP, 2pF, Ngo, G1, G2, W, S, M, J, HFB gibi on farklı yoğunluk için elde edilmiştir. Optik potansiyelin sanal kısmı WS olarak kabul edilmiştir. Deneysel verilerle iyi uyumlu sonuçlar elde etmek için yarıçap ( $r_w$ ) ve difüzyon ( $a_w$ ) parametreleri WS potansiyelinin 0.1 ve 0.01 adım aralıklarında araştırılmıştır. Buna ek olarak, bütün reaksiyonların aynı potansiyel geometrileri sanal potansiyellerin genel ifadelerini elde etmek için uygulanmıştır. Böylece  $r_w$  ve  $a_w$  değerleri sırasıyla 1.07 fm ve 0.75 fm olarak kabul edilmiştir. Son olarak,  $r_w$  ve  $a_w$ 'nın bu değerleri için deneysel verilerle iyi uyumlu sonuçlar elde edilecek şekilde W değerleri araştırılmış ve belirlenen değerler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** SP, 2pF, Ngo, G1, G2, W, S, M, J, HFB yoğunlukları kullanılarak  $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  füzyon reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamalarında kullanılan sanal potansiyel derinlikleri

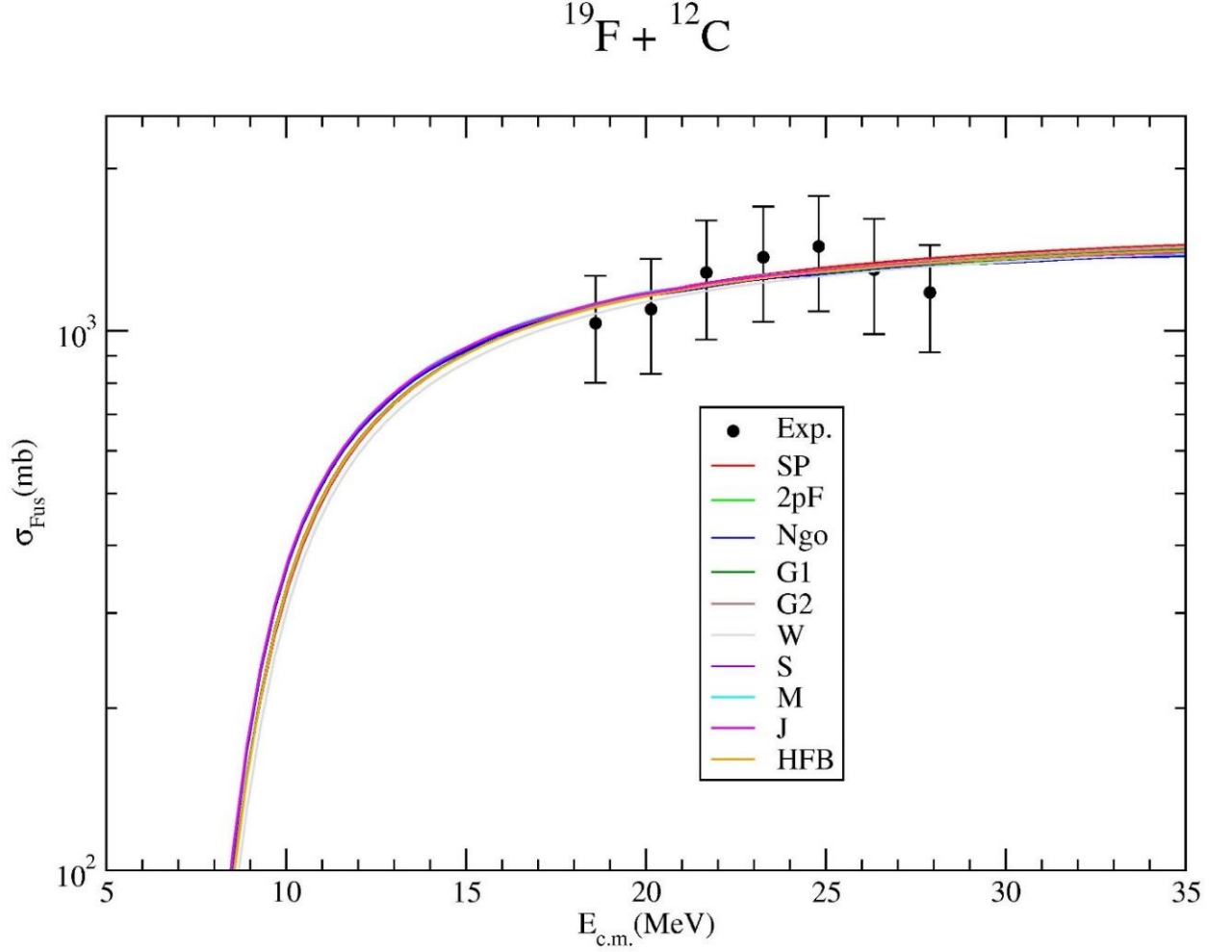
Reaksiyon	SP	2pF	Ngo	G1	G2	W	S	M	J	HFB
$^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$	2.60	2.20	2.20	2.50	2.60	2.50	2.20	2.15	2.25	2.45
$^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$	16.5	7.50	7.50	12.5	14.0	11.2	8.20	7.50	8.90	11.0
$^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$	4.80	3.30	3.30	4.00	4.10	4.30	3.30	3.10	3.30	3.90
$^{19}\text{F} + ^{19}\text{F}$	7.50	3.20	3.50	5.50	6.20	6.50	3.20	3.20	3.40	4.80
$^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$	4.20	2.70	2.80	3.50	3.55	3.70	2.80	2.70	2.80	3.20
$^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$	4.00	2.60	2.70	3.60	3.80	3.60	2.70	2.60	2.70	3.20
$^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$	3.70	2.70	2.70	3.50	3.80	3.60	3.20	2.70	2.70	3.30
$^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$	8.50	3.70	4.50	7.60	7.00	7.30	4.00	3.60	4.00	5.00
$^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$	2.80	1.40	1.45	2.10	2.30	2.30	1.40	1.35	1.50	2.10
$^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$	2.20	1.10	1.10	1.60	1.90	2.10	1.10	1.10	1.20	1.50
$^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$	9.00	6.00	6.00	7.60	8.00	9.00	6.00	6.00	7.00	8.00
$^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$	17.5	9.50	9.50	17.0	17.0	16.5	9.50	8.50	9.50	15.5

$^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$  füzyon reaksiyonunun tesir kesitleri Çizelge 3.1'de verilen değerlere göre hesaplanarak deneysel verilerle karşılaştırmalı olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir. On farklı yoğunluk dağılımı için elde edilen teorik sonuçların davranışlarının birbirleriyle benzer ve deneysel verilerle oldukça uyumlu oldukları görülmüştür.



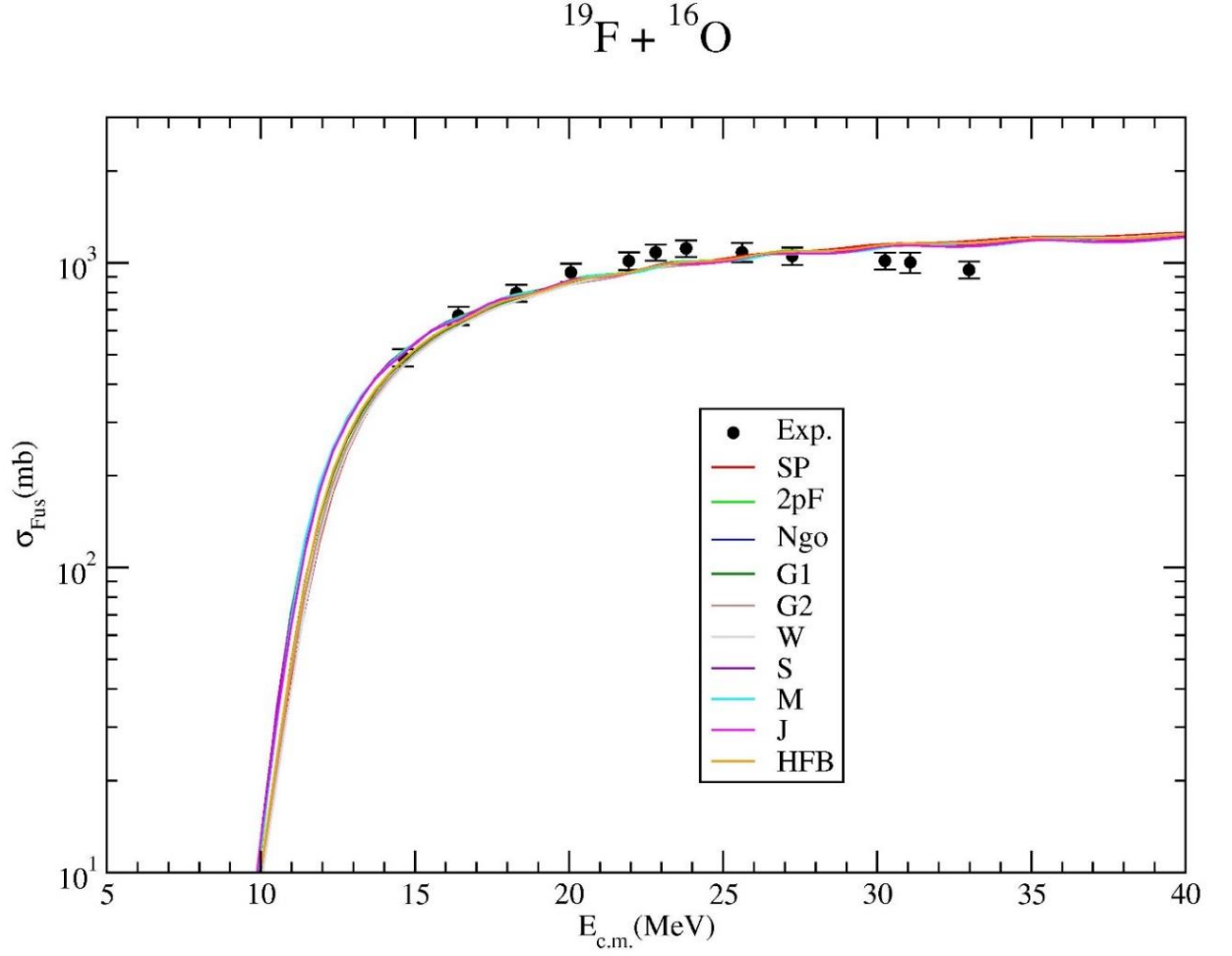
**Şekil 3.1.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

$^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$  füzyon reaksiyonunun SP, 2pF, Ngo, G1, G2, W, S, M, J, HFB yoğunluk dağılımları için hesaplanan teorik tesir kesitleri Şekil 3.2’de deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Teorik sonuçların birbirleriyle benzer bir davranış gösterdikleri ve hata sınırları içerisinde deneysel verilerle uyumlarının iyi olduğu görülmüştür.



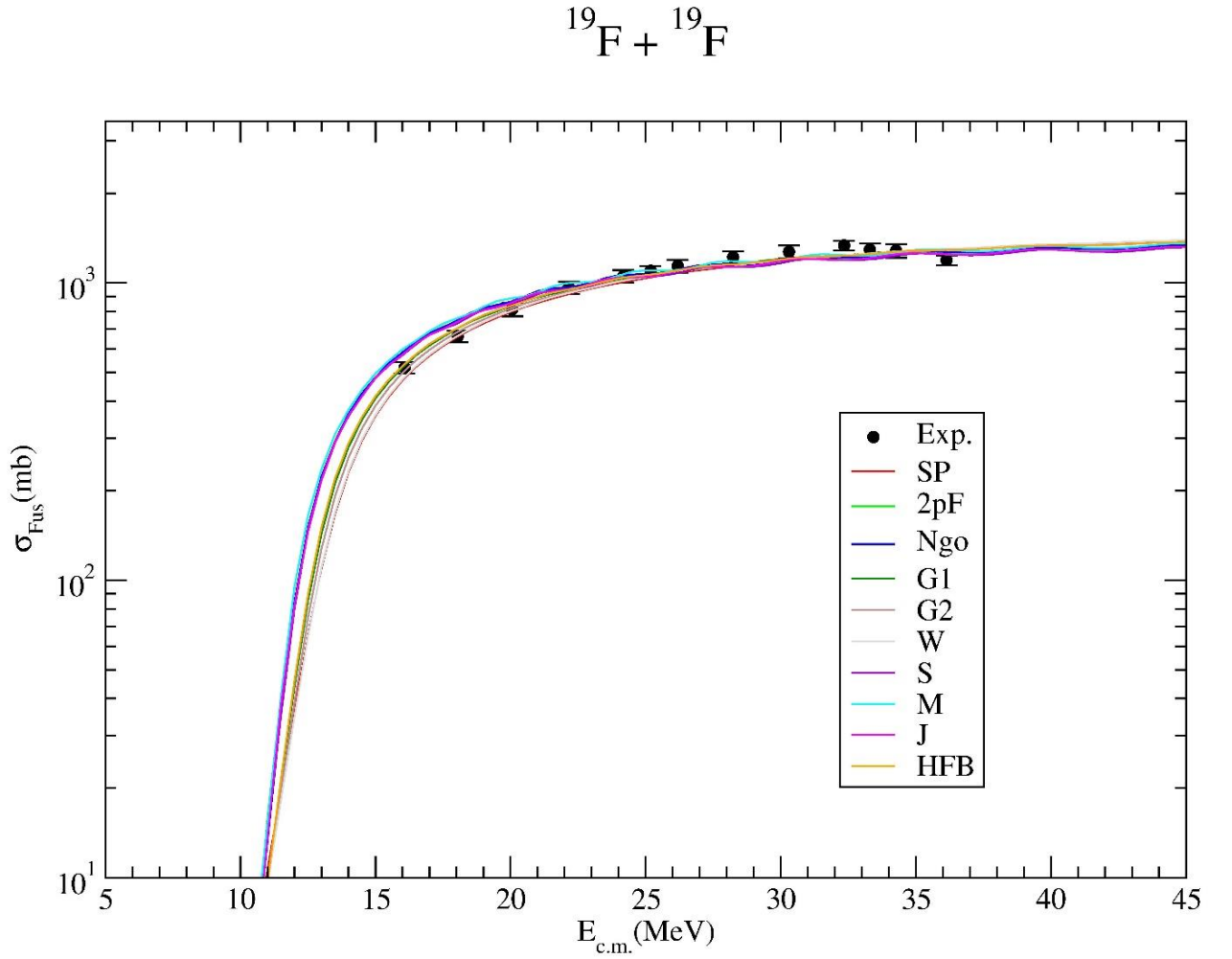
**Şekil 3.2.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

$^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$  reaksiyonun füzyon tesir kesitleri  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen füzyon tesir kesitleri deneysel verilerle Şekil 3.3’de karşılaştırılmıştır.  $E_{c.m.} = 14$  ve  $16$  MeV enerjilerinde bazı yoğunluklar arasında az da olsa farklılık olmasına rağmen genel olarak yoğunluklar için elde edilen sonuçların davranışlarının birbirleriyle benzer oldukları ve deneysel verilerle uyumluğu olduğu gözlenmiştir.



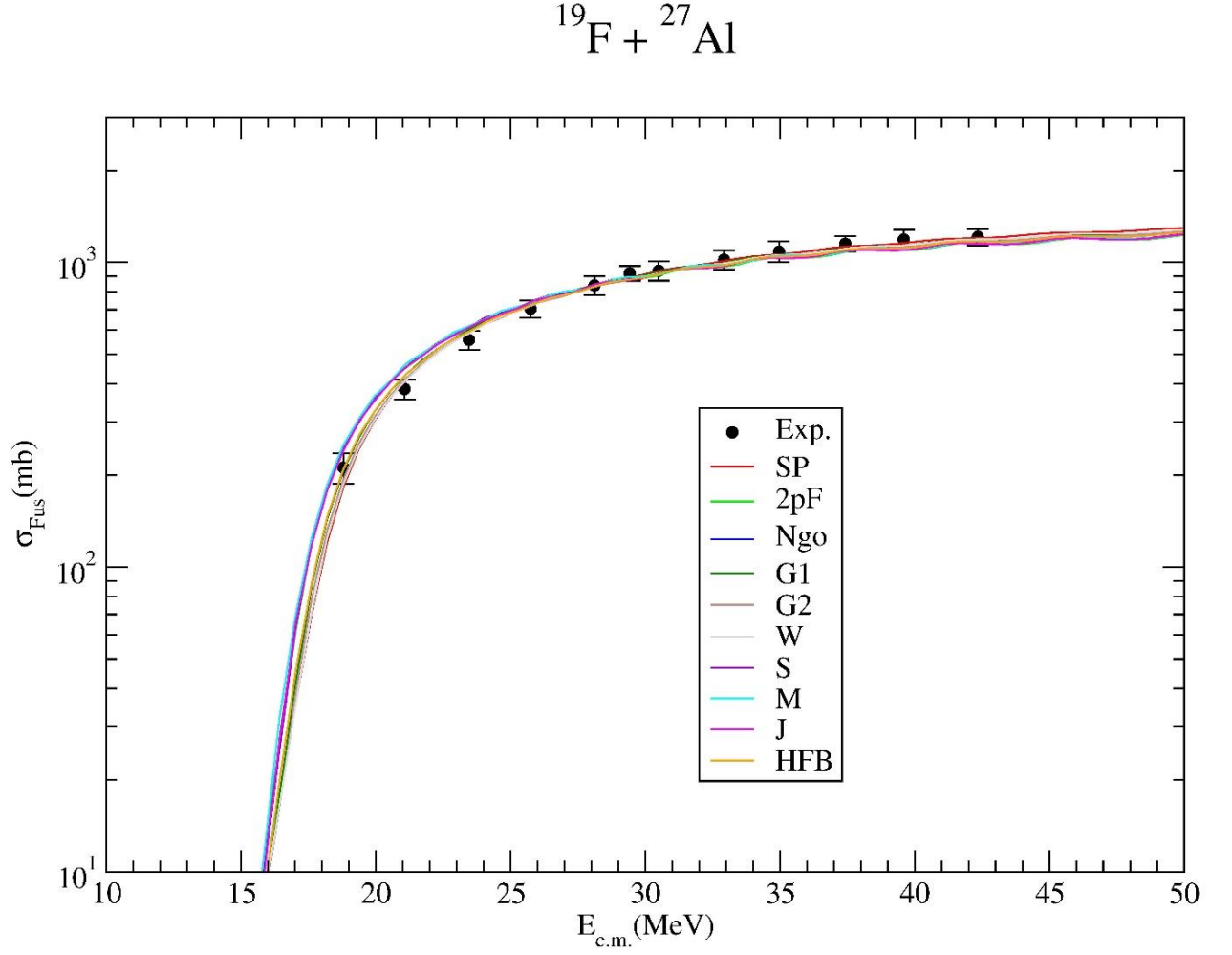
**Şekil 3.3.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

Tez çalışmamızda analiz edilen diğer bir füzyon reaksiyonu  $^{19}\text{F} + ^{19}\text{F}$  reaksiyonudur. Bu reaksiyonunun füzyon tesir kesitleri teorik olarak hesaplandıktan sonra sonuçlar deneysel verilerle Şekil 3.4’de karşılaştırılmıştır. 2pF, Ngo, S, M ve J yoğunluklarına ait sonuçlar kendi arasında benzer bir davranış sergilerken SP, G1, G2, W ve HFB yoğunlukları da kendi arasında benzer bir davranış sergilemektedirler. Dahası özellikle düşük enerjilerde SP, G1, G2, W ve HFB yoğunluklarına ait sonuçların 2pF, Ngo, S, M ve J yoğunluklarına ait sonuçlara kıyasla deneysel verilerle daha uyumlu olduğunu söyleyebiliriz. Son olarak yoğunluklar üzerinden elde edilen teorik sonuçların deneysel verilerle uyumlarının iyi olduğu görülmüştür.



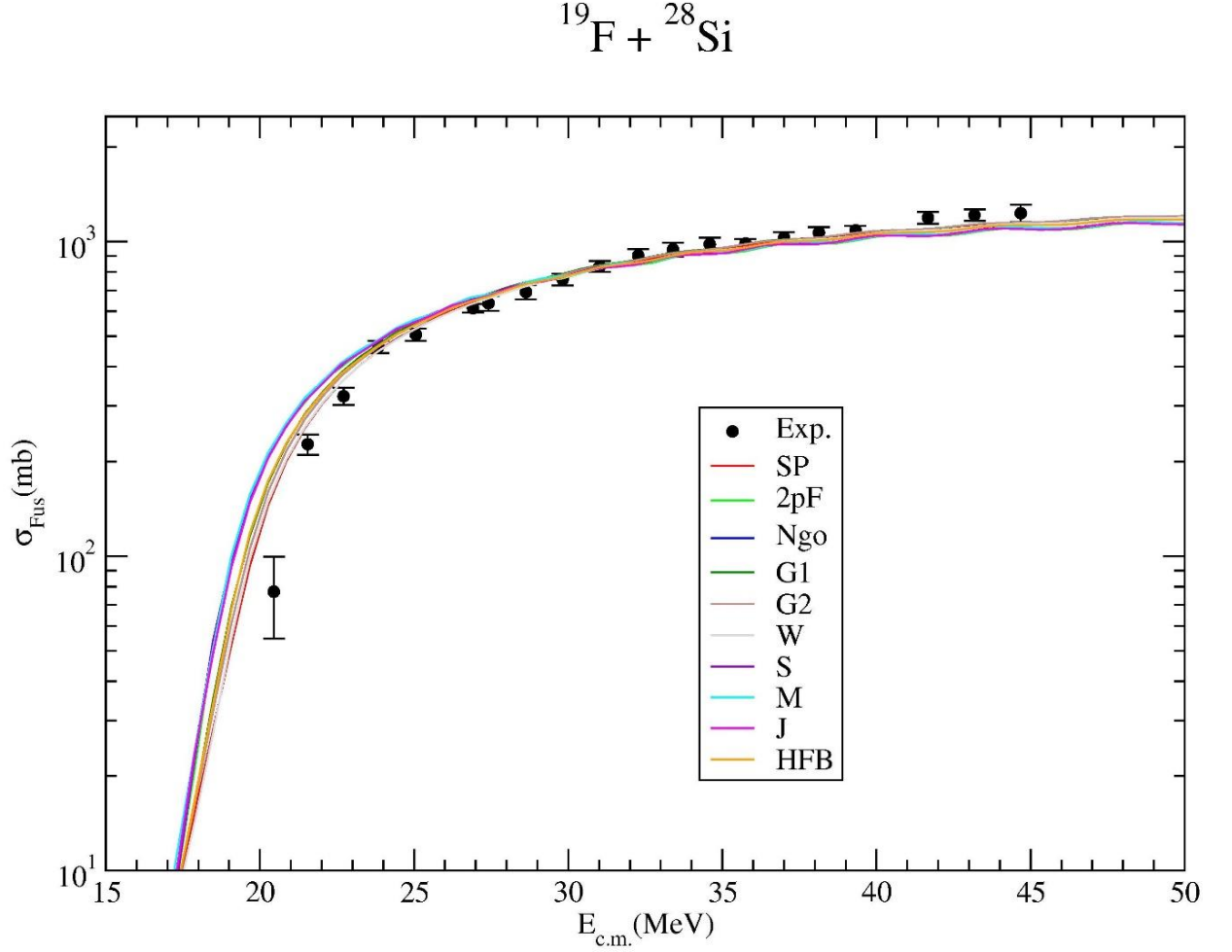
**Şekil 3.4.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{19}\text{F}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

$^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$  füzyon reaksiyonunun tesir kesitleri SP, 2pF, Ngo, G1, G2, W, S, M, J, HFB yoğunluk dağılımları kullanılarak hesaplandıktan sonra deneysel verilerle karşılaştırmalı olarak Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Düşük enerjilerde bazı yoğunluklar arasında az da olsa farklılık olmasına rağmen genel olarak yoğunluklar için elde edilen sonuçların davranışlarının birbirleriyle benzer ve deneysel verilerle uyumlu oldukları görülmüştür.



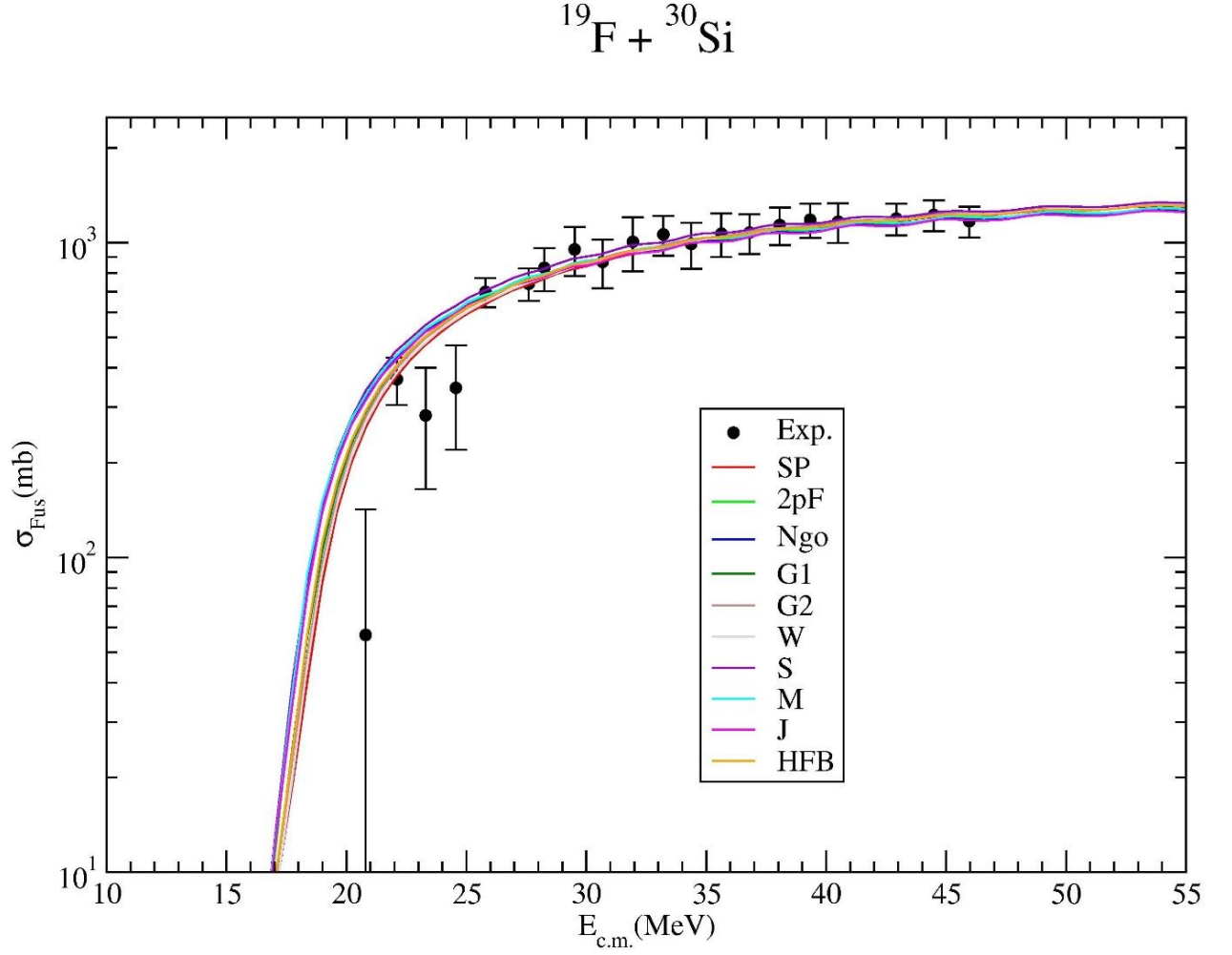
**Şekil 3.5.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

$^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$  füzyon reaksiyonunun tesir kesitleri  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Teorik sonuçlar deneysel verilerle Şekil 3.6'da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Önceki reaksiyonlara benzer olarak düşük enerjilerde bazı yoğunluklar arasında az da olsa farklılık olmasına rağmen genel olarak sonuçlarımızın davranışlarının birbirleriyle benzer ve deneysel verilerle uyumlu oldukları görülmüştür. Aynı zamanda SP ve W yoğunluklarının deneysel verileri tanımlamada biraz daha iyi olduğu fark edilmiştir.



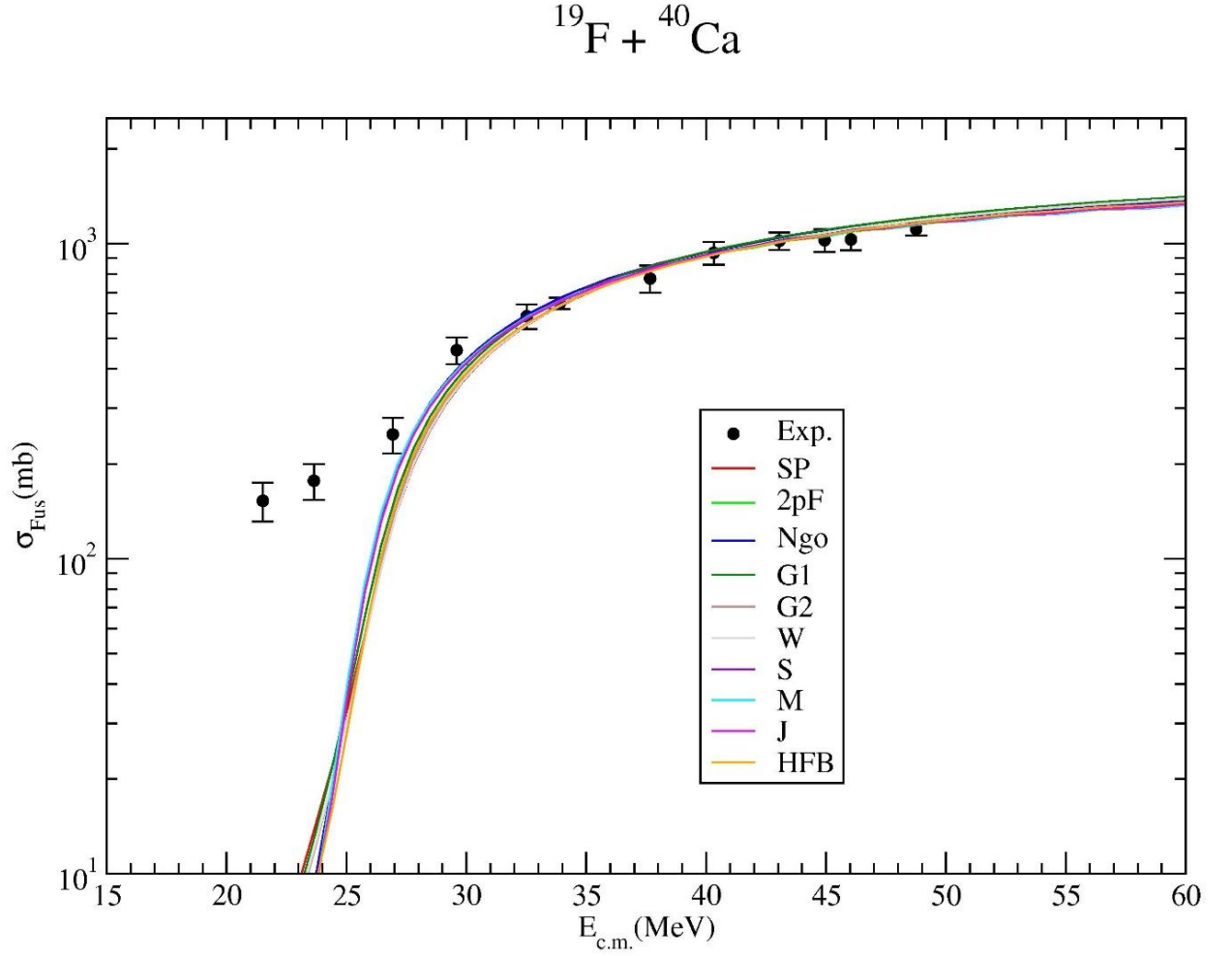
**Şekli 3.6.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

$^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$  füzyon reaksiyonunun teorik olarak hesaplanan tesir kesitleri deneysel verilerle karşılaştırmalı olarak Şekil 3.7’de gösterilmiştir. SP, G1, G2 ve HFB yoğunluk dağılımları için elde edilen teorik sonuçların deneysel verileri iyi tanımladığı görülmüştür. Bununla birlikte sonuçların düşük enerjilerdeki birkaç deneysel veriyi iyi tanımlayamadığı ve deneysel verilerin yüksek deneysel hata değerlerine sahip olmasının bunun nedenlerinden biri olduğu söylenebilir.



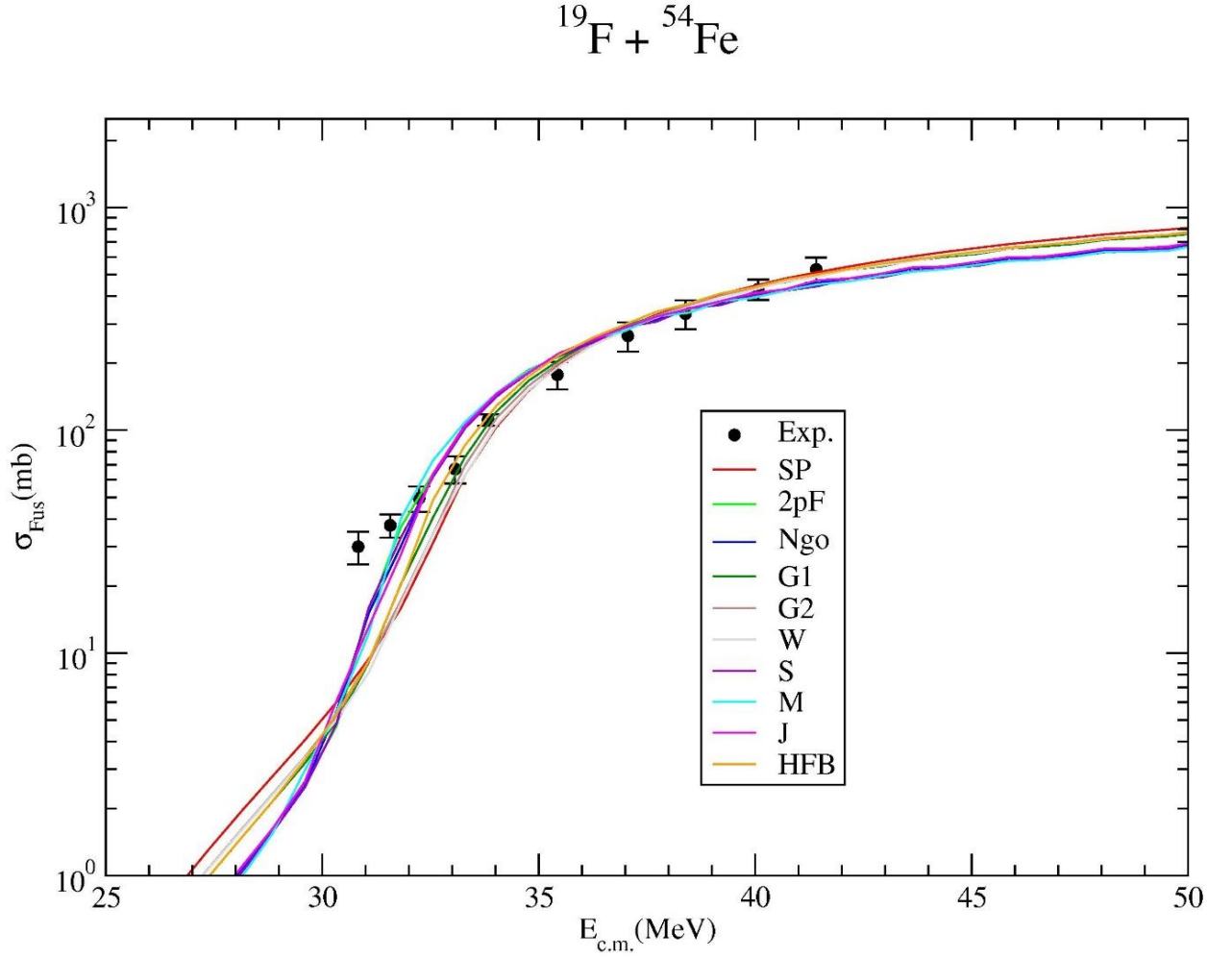
**Şekil 3.7.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

Çalışmamızda analiz edilen orta kütleli hedef çekirdek füzyon reaksiyonlarından ilki  $^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$  reaksiyonudur. Bu füzyon reaksiyonunun tesir kesiti  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen teorik sonuçlar deneysel veriyle karşılaştırmalı olarak Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Sonuçlarımızla deneysel veriler arasındaki uyumun iyi olduğu görülmüştür. Bununla birlikte teorik sonuçların bazı düşük enerjilerdeki deneysel verileri çok iyi açıklayamadığı görülmüştür.



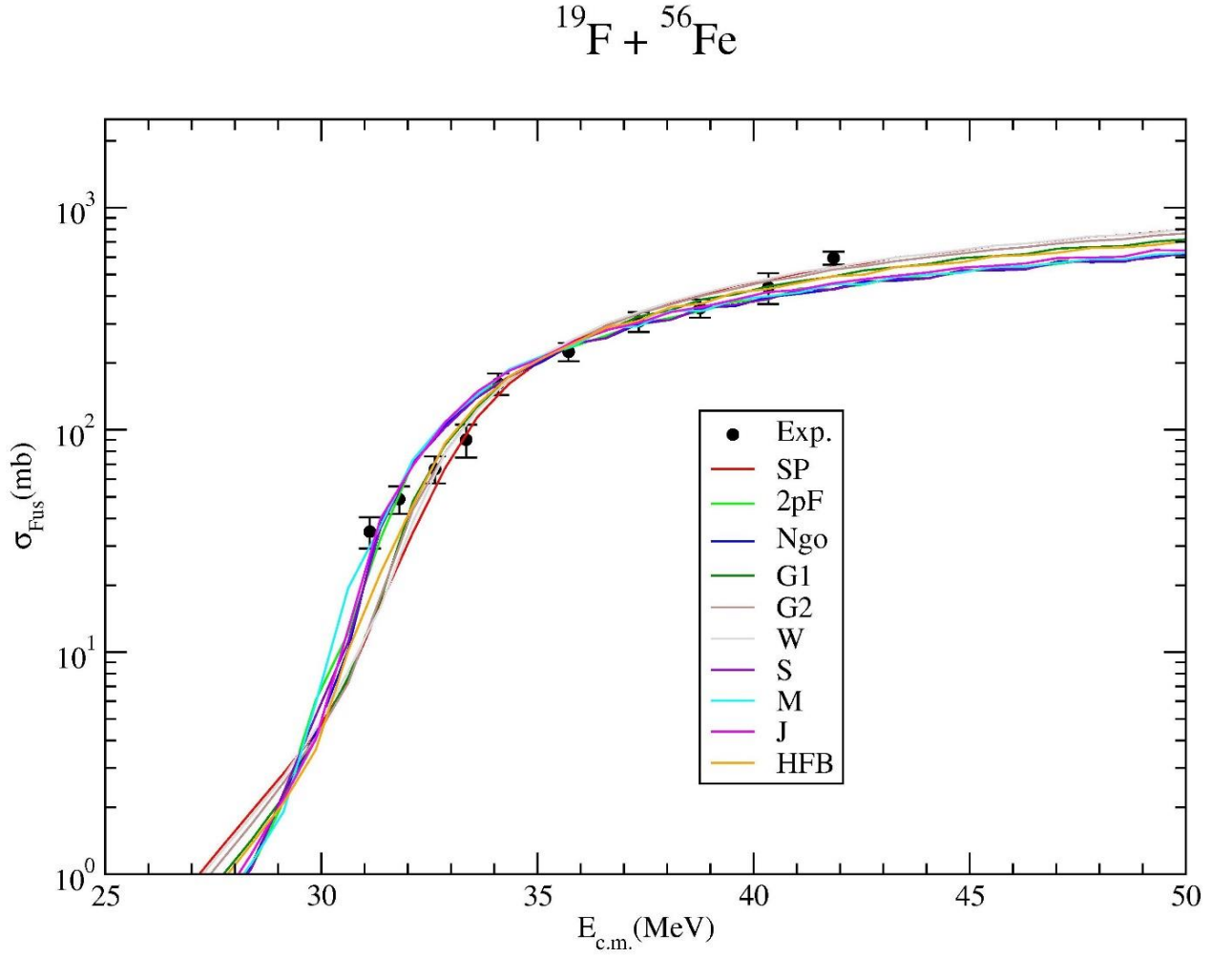
**Şekil 3.8.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

Diğer bir orta kütleli hedef çekirdek füzyon reaksiyonu ise  $^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$ 'dir. Bu füzyon reaksiyonunun tesir kesitleri farklı yoğunluk dağılımları için hesaplanarak deneysel verilerle karşılaştırmalı olarak Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Yoğunluklar için elde edilen sonuçların bazı düşük enerjiler hariç deneysel verilerle uyumlarının iyi olduğu görülmüştür. Aynı zamanda 2pF, Ngo, S, M ve J yoğunluklarının birbirleriyle oldukça benzer bir davranış sergiledikleri gözlenmiştir.



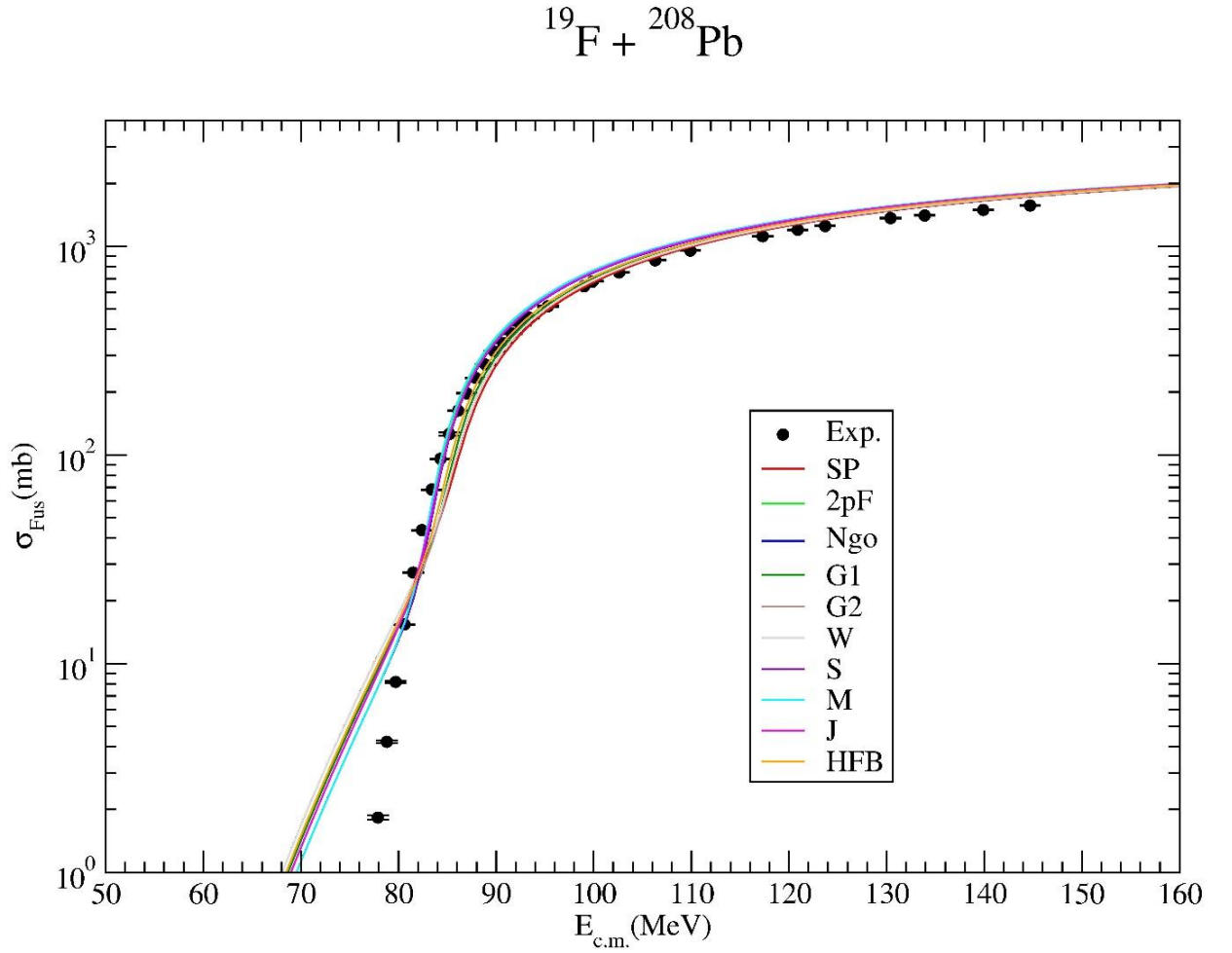
**Şekil 3.9.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

Son orta kütleli hedef çekirdek füzyon reaksiyonu ise  $^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$  reaksiyonudur. Bu füzyon reaksiyonunun hesaplanan tesir kesitleri deneysel verilerle Şekil 3.10'da karşılaştırılmıştır. Yoğunluklar için elde edilen sonuçların deneysel verilerle uyumlarının iyi olduğu fark edilmiştir. Aynı zamanda 2pF, Ngo, S, M ve J yoğunluklarına ait sonuçların deneysel verileri tanımlamada diğer yoğunluklardan biraz daha iyi olduğu söylenebilir.



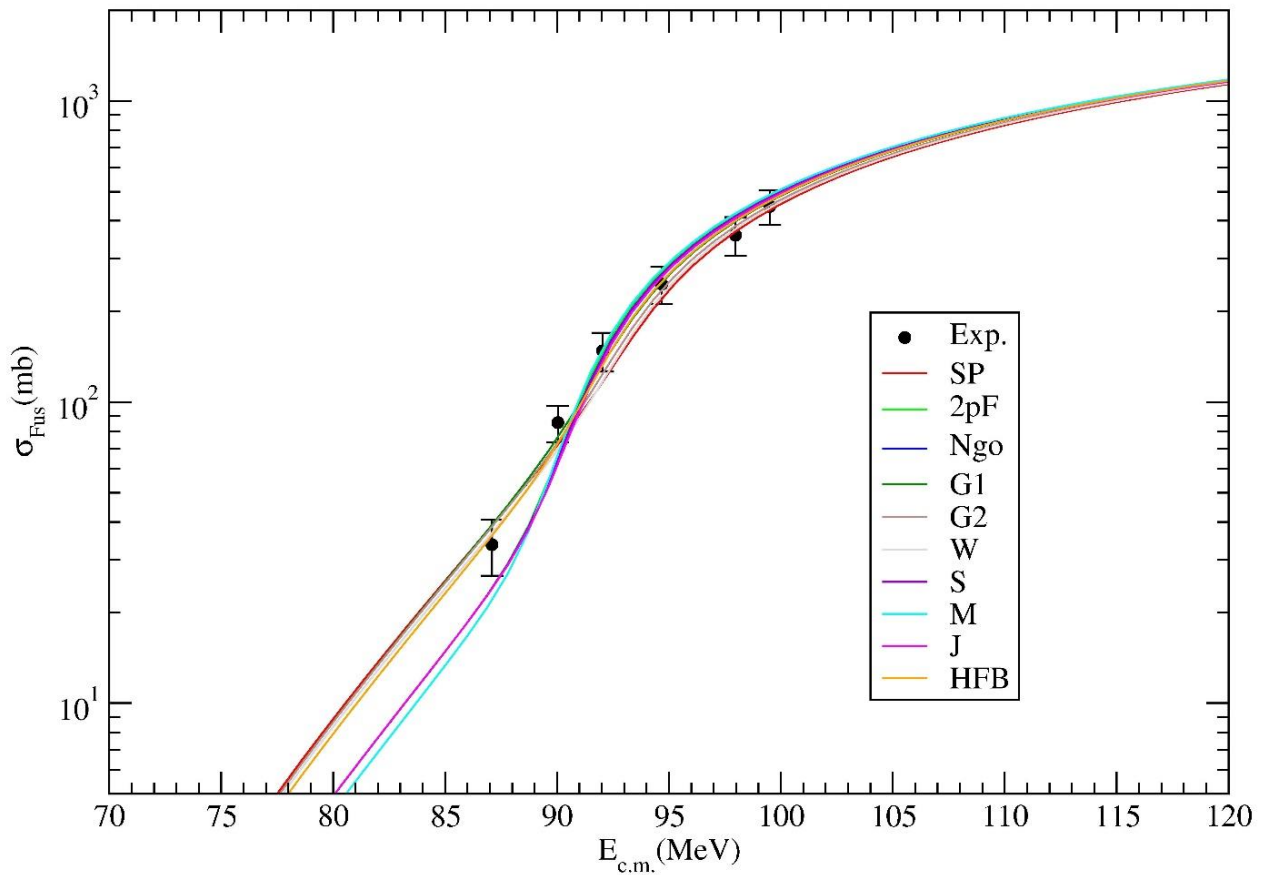
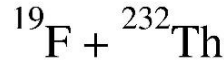
**Şekil 3.10.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

Çalışmamızda analiz edilen ağır kütleli hedef çekirdek füzyon reaksiyonlarından ilki  $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$  reaksiyonudur. Füzyon reaksiyonunun tesir kesitleri  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen teorik sonuçlar deneysel verilerle Şekil 3.11’de karşılaştırılmıştır. Yoğunluklar için elde edilen teorik sonuçların deneysel verilerle ortalama bir davranış sergiledikleri fark edilmiştir. Aynı zamanda yoğunluk dağılımlarına ait sonuçların birbirleriyle yakın bir davranış sergiledikleri ve ilk üç düşük enerjiyi tanımlayamadığı görülmüştür.



**Şekil 3.11.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

Tez çalışmamızda incelenen son füzyon reaksiyonu ve ağır kütleli hedef çekirdek reaksiyonu  $^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$ 'dir. Bu füzyon reaksiyonunun tesir kesitleri  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin çeşitli yoğunluk dağılımları için hesaplanarak deneysel verilerle karşılaştırılmalı olarak Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Bu reaksiyona ait sonuçların  $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$  reaksiyonuna benzer olarak deneysel verilerle ortalama bir davranış sergilediği görülmüştür. Bununla birlikte HFB yoğunluk dağılımının deneysel verileri tanımlamada biraz daha iyi olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 3.12.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin on farklı yoğunluk dağılımı için  $^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$  füzyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle (Anonymous, 2021) karşılaştırılması.

### 3.2. Bir Boyutlu (One-Dimensional) Wong Formülü

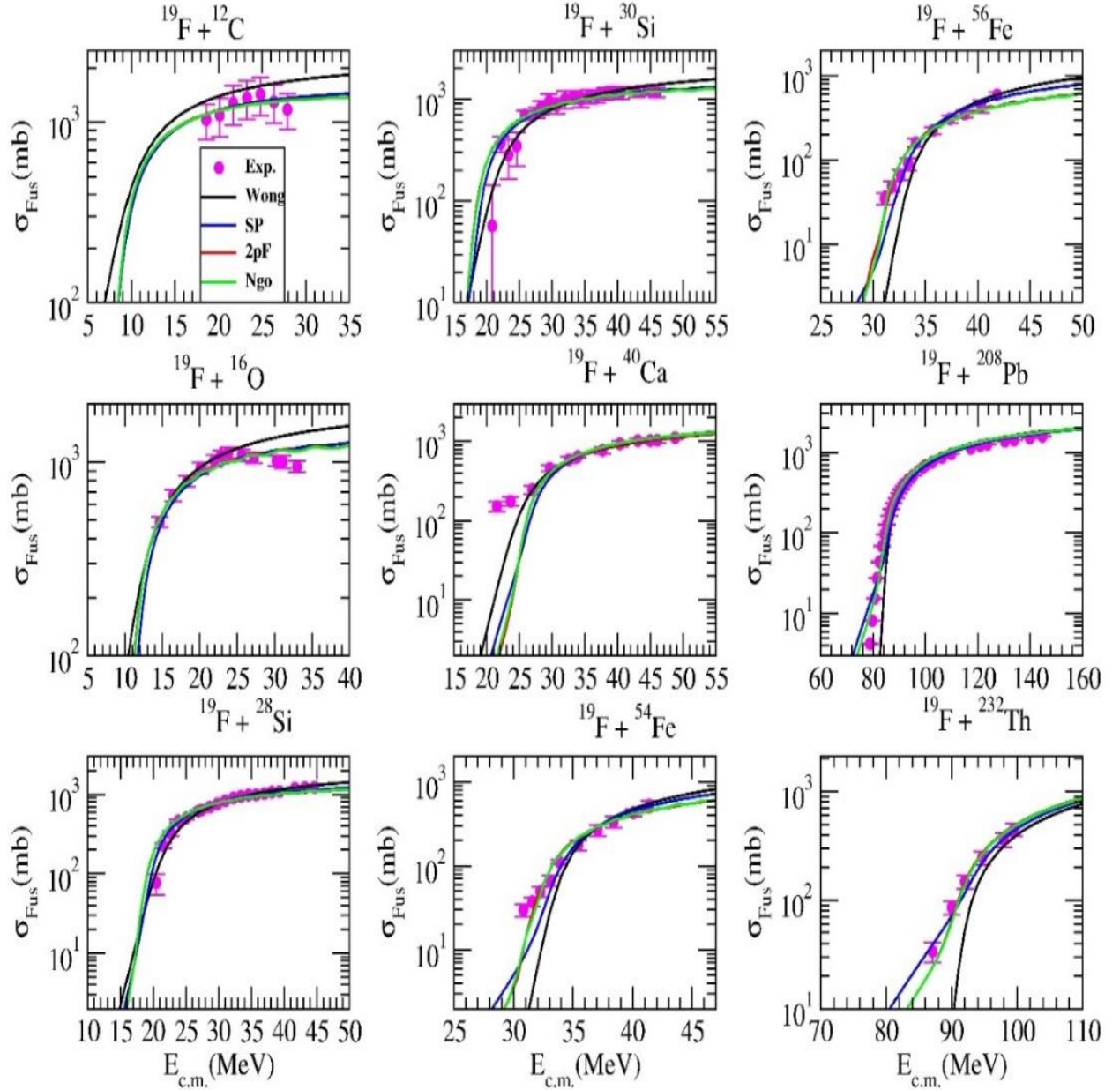
Tez çalışmamızda analizini yaptığımız füzyon tesir kesitlerinin daha kapsamlı bir şekilde karşılaştırmalı analizini yapabilmek için bir boyutlu (One-Dimensional) Wong formülü kullanılarak tüm füzyon reaksiyonlarının tesir kesitlerini hesapladık. Wong formülü (Wong, 1973)

$$\sigma(E) = \frac{\hbar\omega R_b^2}{2E} \log \left\{ 1 + \exp \left[ \frac{2\pi}{\hbar\omega} (E - V_b) \right] \right\} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $V_b$ ,  $R_b$  ve  $\hbar\omega$  sırasıyla bariyer yüksekliği, yarıçapı ve eğrilik parametresi olup bazı reaksiyonlar için değerleri Çizelge 3.2'de verilmektedir (Balantekin ve Takigawa, 1998). Bu kapsamda  $^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$  ve  $^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$  füzyon reaksiyonları için Wong formül sonuçları elde edildi. Daha sonra, deneysel verilerle iyi uyum sağlayan yoğunluk dağılımlarından SP, 2pF ve Ngo yoğunlukları ile Wong sonuçları Şekil 3.13'de karşılaştırıldı. Yoğunluk dağılımlarına ait sonuçların genel olarak Wong sonuçlarından daha iyi olduğu görüldü.

**Çizelge 3.2.** Bir boyutlu Wong formülü kullanılarak  $^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  füzyon tesir kesitleri hesaplanırken kullanılan  $R_B$  (fm cinsinden),  $V_B$  (MeV cinsinden) ve  $\hbar\omega$  (MeV cinsinden) değerleri

Reaksiyon	$R_B$	$V_B$	$\hbar\omega$	Referanslar
$^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$	8.79	8.51	7.50	Anjos vd. 1990; Haider ve Malik, 1986
$^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$	8.23	11.21	7.50	Anjos vd. 1990; Haider ve Malik, 1986
$^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$	8.72	20.33	7.50	Haider ve Malik, 1986
$^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$	8.91	20.41	7.50	Haider ve Malik, 1986
$^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$	8.41	24.09	7.50	Anjos vd. 1990; Haider ve Malik, 1986
$^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$	9.43	33.20	3.70	Funaki ve Arai, 1993
$^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$	9.48	33.00	3.66	Funaki ve Arai, 1993
$^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$	11.8	84.50	4.50	Canto vd. 2009
$^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$	11.92	91.07	4.25	Manjunatha ve Sridhar, 2018



**Şekil 3.13.**  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin SP, 2pF ve Ngo yoğunluk dağılımları ve Wong formülüyle elde edilen sonuçların deneysel verilerle karşılaştırmalı gösterimi

### 3.3. Bariyer Pozisyon ( $R_B$ ) ve Yükseklik ( $V_B$ ) Değerleri

Füzyon reaksiyonları teorik olarak analiz edildiğinde bariyer pozisyon ( $R_B$ ) ve yükseklik ( $V_B$ ) değerleri bilinmesi istenen parametreler arasındadır. Bariyer pozisyonu  $R_B$

$$\left( \frac{dV_{tot}(r)}{dr} \right)_{r=R_B} = 0 \quad (3.2)$$

ifadesinden ve yükseklik  $V_B$  değeri

$$\left( \frac{d^2 V_{tot}(r)}{dr^2} \right)_{r=R_B} \leq 0 \quad (3.3)$$

ifadesinden hesaplanabilir.

Çalışmamızda incelenen tüm yoğunluk dağılımları ve tüm füzyon reaksiyonları için  $R_B$  ve  $V_B$  değerleri hesaplandı.  $R_B$  ve  $V_B$  değerleri teorik hesaplamalarda kullanılan potansiyel parametrelerine dayalı olarak toplam potansiyel elde edilerek belirlendi. Teorik sonuçlar hem deneysel hem de literatür değerleri ile birlikte Çizelge 3.3'de listelendi. Karşılaştırmalı analizden sonuçlarımızın literatür ile uyumlu olduğu gözlemlendi. Aynı zamanda yoğunluk dağılımları için elde edilen  $R_B$  değerlerini karşılaştırdığımızda 2pF, Ngo, S, M ve J yoğunluk dağılımı sonuçlarının genel olarak birbirlerine yakın değerler oldukları görüldü. Diğer taraftan SP, G1, G2, W ve HFB yoğunluk dağılımı sonuçlarının da birbirlerine yakın değerler verdiği gözlemlendi. Buna ek olarak  $R_B$  değerleri için yapılan değerlendirmelerin benzer bir şekilde  $V_B$  değerleri için de geçerli olduğu söylenebilir.

**Çizelge 3.3.** Analiz edilen füzyon reaksiyonları için literatür ve deneysel değerlerle birlikte SP, 2pF, Ngo, G1, G2, W, S, M, J ve HFB yoğunlukları için hesaplanan  $R_B$  (fm cinsinden) ve  $V_B$  (MeV cinsinden) değerleri. Literatür değerlerinin alındığı kaynaklar  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{40}\text{Ca}$  (Anjos vd. 1990),  $^{28,30}\text{Si}$  (Haider ve Malik, 1986),  $^{54,56}\text{Fe}$  (Funaki ve Arai, 1993),  $^{208}\text{Pb}$  (Canto vd. 2009),  $^{232}\text{Th}$  (Manjunatha ve Sridhar, 2018). Deneysel değerlerin alındığı kaynaklar  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28,30}\text{Si}$  (Gupta ve Kailas, 1982),  $^{208}\text{Pb}$  (Liu vd. 2006),  $^{232}\text{Th}$  (Mohanty vd. 1992).

Hedef	$R_B/$ $V_B$	SP	2pF	Ngo	G1	G2	W	S	M	J	HFB	Literatür	Deneysel
$^9\text{Be}$	$R_B$	5.62	5.38	5.38	5.52	5.56	5.60	5.38	5.37	5.38	5.50		
	$V_B$	8.54	8.90	8.88	8.68	8.62	8.60	8.90	8.94	8.88	8.72		
$^{12}\text{C}$	$R_B$	8.06	8.44	8.42	8.20	8.14	8.12	8.44	8.48	8.42	8.26	8.79	
	$V_B$	8.93	8.51	8.51	8.76	8.82	8.91	8.51	8.49	8.51	8.73	8.51	
$^{16}\text{O}$	$R_B$	8.30	8.68	8.64	8.44	8.38	8.36	8.66	8.71	8.64	8.48	8.23	
	$V_B$	11.57	11.06	11.06	11.37	11.45	11.55	11.06	11.03	11.07	11.33	11.21	
$^{19}\text{F}$	$R_B$	8.34	9.06	9.02	8.62	8.50	8.46	9.04	9.14	9.00	8.70	8.30	
	$V_B$	12.92	11.86	11.88	12.48	12.65	12.86	11.87	11.80	11.90	12.40	12.44	
$^{27}\text{Al}$	$R_B$	8.82	9.16	9.14	8.94	8.88	8.88	9.14	9.20	9.12	8.98	8.40	9.06
	$V_B$	17.59	16.92	16.94	17.32	17.43	17.52	16.93	16.87	16.95	17.26	17.54	17.95
$^{28}\text{Si}$	$R_B$	8.68	9.04	9.02	8.82	8.76	8.74	9.02	9.08	9.00	8.86	8.72	9.05
	$V_B$	19.33	18.55	18.56	19.02	19.15	19.26	18.55	18.50	18.57	18.95	20.33	19.31
$^{30}\text{Si}$	$R_B$	8.94	9.28	9.26	9.06	9.02	9.00	9.28	9.32	9.24	9.10	8.91	9.18
	$V_B$	18.74	18.03	18.05	18.46	18.57	18.67	18.04	17.98	18.05	18.40	20.41	19.05
$^{40}\text{Ca}$	$R_B$	9.10	9.44	9.42	9.22	9.16	9.18	9.42	9.48	9.40	9.26	8.41	
	$V_B$	26.33	25.36	25.39	25.96	26.11	26.22	25.38	25.29	25.41	25.86	24.09	
$^{54}\text{Fe}$	$R_B$	9.44	9.78	9.74	9.56	9.50	9.52	9.76	9.82	9.72	9.60	9.43	
	$V_B$	33.06	31.90	31.94	32.61	32.80	32.92	31.92	31.81	31.96	32.46	33.2	
$^{56}\text{Fe}$	$R_B$	9.62	9.94	9.92	9.74	9.68	9.70	9.92	9.98	9.90	9.78	9.48	
	$V_B$	32.36	31.28	31.33	31.95	32.12	32.22	31.31	31.20	31.35	31.84	33.0	
$^{208}\text{Pb}$	$R_B$	11.60	11.90	11.88	11.70	11.66	11.68	11.88	11.96	11.86	11.76	11.80	11.25
	$V_B$	85.74	83.41	83.54	84.87	85.24	85.35	83.49	83.19	83.61	84.59	84.50	87.44
$^{232}\text{Th}$	$R_B$	11.80	12.10	12.06	11.90	11.84	11.88	12.08	12.14	12.04	11.94	11.92	11.46
	$V_B$	92.68	90.22	90.36	91.76	92.15	92.26	90.30	89.98	90.44	91.46	91.07	89.50

### 3.4. Sanal Potansiyel Eşitlikleri

Tez çalışmamızda son olarak  $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  füzyon reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamalarında uygulanan SP, 2pF, Ngo, G1, G2, WS, M, J ve HFB yoğunluk dağılımları için sanal potansiyel eşitlikleri elde edildi. Bunun için füzyon tesir kesitlerini hesaplamada kullanılan  $r_w = 1.07$  fm ve  $a_w = 0.75$  fm değerleri ve Çizelge 3.1’de verilen potansiyel parametreleri kullanıldı. Böylece tüm yoğunluk dağılımları için sanal potansiyel derinliklerini veren eşitlikler elde edilerek aşağıda verilmiştir.

#### SP yoğunluğu

$$W^{\text{SP}} = 3.61 + \frac{0.55 \times Z_T}{A_T^{1/3}} \quad (3.4)$$

#### 2pF yoğunluğu

$$W^{2\text{pF}} = 1.75 + \frac{0.34 \times Z_T}{A_T^{1/3}} \quad (3.5)$$

#### Ngo yoğunluğu

$$W^{\text{Ngo}} = 1.90 + \frac{0.34 \times Z_T}{A_T^{1/3}} \quad (3.6)$$

#### G1 yoğunluğu

$$W^{\text{G1}} = 2.34 + \frac{0.59 \times Z_T}{A_T^{1/3}} \quad (3.7)$$

#### G2 yoğunluğu

$$W^{\text{G2}} = 2.77 + \frac{0.57 \times Z_T}{A_T^{1/3}} \quad (3.8)$$

### **W yoğunluğu**

$$W^W = 2.22 + \frac{0.63 \times Z_T}{A_T^{1/3}} \quad (3.9)$$

### **S yoğunluğu**

$$W^S = 2.00 + \frac{0.32 \times Z_T}{A_T^{1/3}} \quad (3.10)$$

### **M yoğunluğu**

$$W^M = 1.88 + \frac{0.30 \times Z_T}{A_T^{1/3}} \quad (3.11)$$

### **J yoğunluğu**

$$W^J = 1.96 + \frac{0.35 \times Z_T}{A_T^{1/3}} \quad (3.12)$$

### **HFB yoğunluğu**

$$W^{HFB} = 1.76 + \frac{0.59 \times Z_T}{A_T^{1/3}} \quad (3.13)$$

Eşitliklerde  $Z_T$  ve  $A_T$  sırasıyla hedef çekirdeğin atom sayısını ve kütle numarasını ifade etmektedir. Bu eşitlikler hafif, orta ve ağır hedef çekirdekler üzerinden geniş  $^{19}\text{F}$  füzyon reaksiyonları için elde edilmiştir. Burada elde edilen eşitlikler kesin ifadeler olmayıp  $^{19}\text{F}$  füzyon reaksiyonlarının deneysel verilerine ait davranışları makul bir şekilde elde etmek için kullanılabilirler. Bununla birlikte eşitlikler özel durumlarda deneysel verileri eksik veya fazla hesaplayabilir. Bu durumda ise potansiyel derinliklerindeki değişimle bu uyum artırılabilir.

#### 4. SONUÇ

Füzyon reaksiyonlarının tesir kesitlerinin teorik analizi nükleer fizik alanında önemli konulardan biridir. Bu amaçla çok sayıda çalışma gerçekleştirilmesine rağmen hala nükleer fiziğin sıcak konularındandır. Tez çalışmamızda,  $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  füzyon reaksiyonları optik model kapsamında detaylı olarak incelenmiştir. Optik potansiyelin sanal kısmı WS tipinde seçilirken reel kısım  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin SP, 2pF, Ngo, G1, G2, W, S, M, J, HFB yoğunlukları için double folding model kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışmamızda ilk olarak  $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  füzyon reaksiyonlarının tesir kesitleri hesaplanmıştır. Teorik sonuçlar için kullanılan potansiyel parametreleri tablo halinde verilmiştir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.  $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$  füzyon reaksiyonlarında incelenen tüm yoğunluk dağılımları için elde edilen sonuçların davranışlarının birbirleriyle benzer oldukları ve deneysel verilerle uyumlu olduğu gözlenmiştir.  $^{19}\text{F} + ^{19}\text{F}$  reaksiyonu için yoğunluklar üzerinden elde edilen teorik sonuçların deneysel verilerle uyumlarının iyi olduğu görülmüştür.  $^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$  reaksiyonu için SP ve W yoğunluklarının deneysel verileri tanımlamada biraz daha iyi olduğu fark edilmiştir.  $^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$  füzyon reaksiyonu için SP, G1, G2 ve HFB yoğunluk dağılımları için elde edilen teorik sonuçların deneysel verileri iyi tanımladığı görülmüştür.  $^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$  reaksiyonun analizinde farklı yoğunluklar için elde edilen sonuçların bazı düşük enerjiler hariç deneysel verilerle uyumlu oldukları görülmüştür.  $^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$  reaksiyonu için 2pF, Ngo, S, M ve J yoğunluklarına ait sonuçların deneysel verileri tanımlamada diğer yoğunluklardan biraz daha iyi olduğu gözlenmiştir.  $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$  reaksiyonu için yoğunluk dağılımlarına ait sonuçların birbirleriyle yakın bir davranış sergiledikleri görülmüştür.  $^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$  reaksiyonu için HFB yoğunluk dağılımının deneysel verileri tanımlamada biraz daha iyi olduğu gözlenmiştir. Böylece  $^{19}\text{F}$  füzyon reaksiyonlarının teorik analizi için alternatif yoğunluk dağılımları önerilmiştir. Aynı zamanda tez çalışmamızda incelenen yoğunluk dağılımlarının uygulandıkları füzyon reaksiyonlarında nasıl bir değişim sergiledikleri gösterilmiştir.

Tez çalışmamızda analizini yaptığımız füzyon tesir kesitlerinin daha kapsamlı bir şekilde karşılaştırmalı analizini yapabilmek için bir boyutlu Wong formülü kullanılarak  $^{19}\text{F} + ^{12}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{28}\text{Si}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{30}\text{Si}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{40}\text{Ca}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{54}\text{Fe}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{56}\text{Fe}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$  ve  $^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$  füzyon reaksiyonlarının tesir kesitleri hesaplanmıştır. Deneysel verilerle uyumlu olan SP, 2pF ve Ngo yoğunluk dağılımlarına ait sonuçlarımızın genel olarak Wong sonuçlarından daha iyi olduğu görülmüştür.

Daha sonra tez çalışmamızda incelenen tüm füzyon reaksiyonları ve yoğunluk dağılımları için  $R_B$  ve  $V_B$  değerleri belirlenmiştir. Bu değerler aynı zamanda literatür sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır ve sonuçlarımızın literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

Son olarak  $^{19}\text{F} + ^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  füzyon reaksiyonlarının sanal potansiyel derinliklerini veren genel eşitlikler füzyon tesir kesitlerini hesaplamada kullanılan potansiyel parametreler yardımıyla on farklı yoğunluk dağılımı için elde edilmiştir. Bu eşitlikler hedef çekirdeğin atom sayısını ve kütle numarasına bağlı olarak değişmekte olup  $^{19}\text{F}$  çekirdeğinin füzyon reaksiyonlarının teorik analizinde sanal potansiyel derinliklerin belirlenmesinde faydalı olacaktır.



## 5. KAYNAKLAR

- Akgün Y, 2010. Düşük Enerjili Plazma Odak Füzyon Cihazı Yapımı ve Nötronik Ölçümler. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Anjos RM, Guimares V, Added N, Carlin Filho N, Coimbra MM, Fante L, Jr, Figueira MCS, Szanto EM, Tenreiro CF, Szanto de Toledo A, 1990. Effect of the Entrance Channel Mass Asymmetry on the Limitation of Light Heavy-Ion Fusion Cross Sections. American Physical Society, 42: 354.
- Anjos RM, Muri C, Lubian J, Gomes PRS, Padron I, Alves JJS, Martí GV, Fernández Niello JO, Pacheco AJ, Capurro OA, Abriola D, Testoni JE, Ramírez M, Liguori Neto R, Added N, 2002. No Evidence of break-up Effects on the Fusion of  $^9\text{Be}$  With Medium-Light Nuclei. Physics Letters B, 534: 45-51.
- Anonymous, 2010. Web sitesi: <http://www.iter.org/>, Erişim tarihi: 20.04.2022.
- Anonymous, 2021. Web sitesi: <http://nrv.jinr.ru/nrv/> Erişim tarihi: 13.11.2021
- Anonymous, 2022. Web sitesi: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/> Erişim tarihi: 28.05.2022
- Aydın A, 1997.  $^{40}\text{Ar}(p,p)^{40}\text{Ar}$  Esnek Saçılmasının 22.6, 27.5, 30.0 ve 36.7MeV Proton Enerjilerinde Optiksel Model Analizi. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 26-35.
- Aygun M, Kucuk Y, Boztosun I, Ibraheem AA, 2010. Microscopic Few-Body and Gaussian-Shaped Density Distributions For The Analysis of The  $^6\text{He}$  Exotic Nucleus With Different Target Nuclei. Nuclear Physics A, 848: 245-259.
- Aygun M, 2019. Analysis With Relativistic Mean-Field Dencity Distribution of Elastic Scattering Cross-Sections of Carbon Isoteps ( $^{10-14,16}\text{C}$ ) by Varios Target Nuclei. Pramana-Journal of Physics, 93: 72.
- Balantekin AB, Takigawa N, 1998. Quantum Tunneling in Nuclear Fusion. American Physical Society, 70: 77-100.
- Bartlett D, 2006. The European Fusion Programme. Transactions of Fusion Science and Technology, 49: 27-35.
- Bayrak O, 2004. Hafif-Ağır İyon Reaksiyonlarının Yeni Bir Potansiyel Yaklaşımı İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 5-45.
- Boyd TJM, Sanderson JJ, 2003. The Physics of Plasmas. Cambridge University Press, 532, Cambridge, United Kingdom.
- Canto LF, Gomes PRS, Lubian J, Chamon LC, Crema E, 2009. Dynamic Effects of Breakup on Fusion Reactions of Weakly Bound Nuclei. Nuclear Physics A, 821: 51-71.

- Chamon LC, Carlson BV, Gasques LR, Pereira D, Conti De C, Alvarez MAG, Hüssein MS, Candido Ribeiro MA, Rossi ES, Jr ve Silva CP, 2002. Toward a Global Description of the Nucleus-Nucleus Interaction. *Physical Review C*, 66: 014610.
- Chen FF, 1974. *Introduction to Plasma Physics*. Plenum Press, 329, New York.
- Chiou MS, Wu MW, Easwar N, Maher JV, 1981. Complete Fusion of  $^{19}\text{F}$  with Al and Si Isotopes. *American Physical Society*, 24: 2507.
- Deconinck G, 1978. *Nuclear Methods Monographs No.1, Introduction to Radioanalytical Physics*, Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam.
- De Jager CW, De Vries H, De Vries C, 1974. Nuclear Charge- and Magnetization-Density-Distribution Parameters From Elastic Electron Scattering: *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 14: 479-508.
- Dhiman NK, 2012. Role of Different Model Ingredients In The Exotic Cluster-Decay of  $^{56}\text{Ni}$ . *Ukrainian Journal of Physics*, 57: 3.
- Morse E, 2019. *Nuclear Fusion*, Springer Nature Switzerland AG.
- Ehrenberg HF, Hofstadter R, Meyer-Berkhout U, Ravenhall DG, Sobottka SE, 1959. High-Energy Electron Scattering and the Charge Distribution of Carbon-12 and Oxygen-16. *Physical Review*, 113: 666-674.
- El-Azab Farid M, Hassanain MA, 2000. Density-Independent Folding Analysis of The  $^{6,7}\text{Li}$  Elastic Scattering at Intermediate Energies. *Nuclear Physics A*, 678: 39.
- Funaki H, Arai E, 1993. Anomaly in the  $^{15}\text{N}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F} + ^{54,56}\text{Fe}$  Fusion Cross Sections Around the Coulomb Barrier Energy: *Nuclear Physics A*, 556: 307-316.
- Gamow G, 1928. Quantum Theory of the Atomic Nucleus. *Magazine for Physics*, 51: 204-212.
- Gamow G, 1929. Quantum Theory of the Atomic Fragmentation. *Magazine for Physics*, 52: 510-515.
- Ghodsi ON, Torabi F, 2015. Comparative Study of Fusion Barriers Using Skyrme Interactions and the energy density functional. *Physical Review C*, 92: 064612.
- Gupta SK, Kailas S, 1982. Rapid Communication Fusion barriers for Heavy-Ion Systems. *Physical Review C*, 26:747.
- Gupta RK, Singh D, Greiner W, 2007. Semiclassical and Microscopic Calculations of The Spin-Orbit Density Part of The Skyrme Nucleus-Nucleus Interaction Potential With Temperature Effects Included. *Physical Review C*, 75: 024603.
- Gupta RK, Singh D, Kumar R and Greiner W, 2009. Universal Functions of Nuclear Proximity Potential For Skyrme Nucleus–Nucleus Interaction in a Semiclassical Approach. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 36: 075104.

- Haider Q, Malik FB, 1986. Barrier Penetration Calculation Of Heavy-Ion Fusion Cross Sections In The Above- and Sub-Barrier Regions. *Journal of Physics G: Nuclear Physics*, 12: 537-546.
- Harms AA, Kingdon DR, Schoepf KF, Miley GH, 2000. *Principles of Fusion Energy: An Introduction to Fusion Energy For Students of Science and Engineering*. Singapore: World Scientific Publishing Company. 3-12.
- Heppenheimer TA, 1983. *The Man-Made Sun: The Quest for Fusion Power*. Little, Brown, Boston.
- Hinde DJ, Berriman AC, Dasgupta M, Leigh JR, Mein JC, Morton CR, Newton JO, 1999. Limiting Angular Momentum For Statistical Model Description of Fission. *Physical Review C*, 60: 054602.
- Hnizdo V, Szymakowski J, Kemper KW, Fox JD, 1981. Folding-Model Description of Elastic and Inelastic Scattering of  $^9\text{Be}$  by  $^{40,44}\text{Ca}$  and  $^{39}\text{K}$  at 40 MeV. *American Physical Society*, 24: 1495.
- Hossain S, Abdullah MNA, Rahman Md.Z, Basak AK and Malik FB, 2013. Non-Monotonic Potentials for  $^6\text{Li}$  Elastic Scattering at 88 MeV. *The Royal Swedish Academy of Sciences*, 87(1): 015201.
- Kailas S, Navin A, Chatterjee A, Singh P, Choudhury RK, Saxena A, Nadkarni DM, Kapoor SS, Ramamurthy VS, Nayak BK, Suryanarayana SV, 1991. Fission fragment angular distributions for the system  $^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$ . *Physical Review C*, 43: 1466.
- Keeley N, Raabe R, Alamanos N, Sidac JL, 2007. Fusion and Direct Reactions of Halo Nuclei At Energies Around The Coulomb Barrier. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 59: 579-630.
- Kocak G, Karakoc M, Boztosun I, Balantekin AB, 2010. Effects of  $\alpha$ -Cluster Potentials for the  $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$  Fusion Reaction and S factor. *American Physical Society*, 81: 024615.
- Kocak G, Aygun M, 2020. A Theoretical Analysis of The Cross Sections of  $^{18,19,20}\text{O} + ^{12}\text{C}$  Fusion Reactions By Using Different Density Distributions. *Nuclear Physics A*, 1003: 122015.
- Krane KS, 2002. *Nükleer Fizik II*. Palme Yayıncılık, 378-839, Ankara.
- Kürkçüoğlu ME, 2006.  $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$  Esnek Saçılmasının Fenomenolojik ve Mikroskobik Potansiyeller İle Optik Model Analizleri. Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Liu M, Wang N, Li Z, Wu X, Zhao E, 2006. Applications of Skyrme Energy-Density Functional To Fusion Reactions Spanning The Fusion Barriers. *Nuclear Physics A*, 768: 80.
- Manjunatha HC, Sridhar KN, 2018. Fusion Barrier Characteristics of Actinides: *Nuclear Physics A*, 971: 83-94.

- Mohanty AK, Sastry SVS, Kataria SK, Ramamurthy VS, 1992. Experimental Determination of Energy-Dependent Barriers For Fusion. *Physical Review C*, 46: 2012.
- Moszkowski SA, 1978. Energy Dependence of The Ion-Ion Potential With A Simplified Energy Density Method. *Nuclear Physics A*, 309: 273.
- Ngo C, Tamain B, Beiner M, Lombard RJ, Mas D, Deubler HH, 1975. Properties of Heavy Ion Interaction Potentials Calculated In The Energy Density Formalism. *Nuclear Physics A*, 252: 237.
- Ngo H, Ngo C, 1980. Calculation of The Real Part Of The Interaction Potential Between Two Heavy Ions In The Sudden Approximation. *Nuclear Physics A*, 348: 140.
- Özdemir O, 2015. Temel Nükleon-Nükleon Etkileşmeli Potansiyel Kullanılarak Füzyon Reaksiyonlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüleri Ortak Yüksek Lisans Programı, Osmaniye.
- Sakal M, 2015. Nükleer Füzyon Enerjisi Üreten Reaksiyonlarda Kullanılan Çekirdeklerin Yapılarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüleri Ortak Yüksek Lisans Programı, Osmaniye.
- Satchler GR, 1980. *Introduction to Nuclear Reactions*. The Macmillon Press Ltd, London.
- Satchler GR, Love WG, 1979. Folding Model Potentials From Realistic Interactions For Heavy-Ion Scattering, *Physics Reports*, 55, 183-254.
- Schechter H, Canto LF, 1979. Proximity Formulae For Folding Potentials. *Nuclear Physics*, 315: 470.
- Seif WM, Mansour H, 2015. Systematics of Nucleon Density Distributions and Neutron Skin of Nuclei. *International Journal of Modern Physics E*, 24: 1550083.
- Qing-biao S, Da-chun F, Yi-Zhong Z, 1991. Neutron Relativistic Phenomenological and Microscopic Optical Potential. *American Physical Society*, 43: 2773.
- Wesolowski E, 1985. The RMS radii of the charge distribution in nuclei. *Journal of Physics G: Nuclear Physics*, 11: 1401.
- Wong CY, 1973. Interaction Barrier in Charged-Particle Nuclear Reactions. *American Physical Society*, 31: 766-769.
- Urey HC, Teal GK, 1935. The Hydrogen Isotope of Atomic Weight Two. *Reviews of Modern Physics*, 7: 34.

## ÖZGEÇMİŞ

████████████████████ ilçesinde doğdum. İlk, ortaokul ve lise öğrenimimi ██████████ okudum. 2001 yılında kazandığım ██████████ Eğitim Fakültesi Fen bilgisi öğretmenliği bölümünden ██████████ mezun oldum. ██████████ Fen bilgisi öğretmeni olarak göreve başladıktan sonra çeşitli kademelerde idarecilik görevinden sonra halen okul müdürü olarak görev yapmaktayım. 2011 yılında başladığım ██████████ ve Ekonomisi Ana Bilim Dalı yüksek lisans bölümünü ██████████ de Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisansa başladım.

**Hüseyin ÇIN**