



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Aydoğan DOĞAN

FLEROV-TALYZIN FORMÜLÜ
KULLANILARAK ($n,2n$) REAKSİYONLARI İÇİN
YENİ YARI AMPİRİK TESİR KESİTİ
FORMÜLLERİNİN ELDE EDİLMESİ

FİZİK ANABİLİM DALI

OSMANIYE – 2024

**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ**

**FLEROV-TALYZIN FORMÜLÜ
KULLANILARAK (n,2n) REAKSİYONLARI İÇİN YENİ
YARI-AMPİRİK TESİR KESİTİ
FORMÜLLERİNİN ELDE EDİLMESİ**

Aydoğan DOĞAN

**FİZİK
ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE
HAZİRAN-2024**

TEZ ONAYI

FLEROV-TALYZIN FORMÜLÜ KULLANILARAK (n,2n) REAKSİYONLARI İÇİN YENİ YARI-AMPİRİK TESİR KESİTİ FORMÜLLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Aydoğan DOĞAN tarafından Prof. Dr. Eyyup TEL danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizik Bölümü Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile Doktora Tezi olarak kabule dirmiştir.

Danışman: Prof. Dr. EyyupTEL
Nükleer Fizik Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Prof. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN
Nükleer Fizik Anabilim Dalı, Akdeniz Üni.

Üye: Prof. Dr. Ahmet BÜLBÜL,
Nükleer Fizik Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Prof. Dr. Abdullah AYDIN
Nükleer Fizik Anabilim Dalı, Kırıkkale Üni.

Üye: Prof. Dr. Abdullah KAPLAN
Nükleer Fizik Anabilim Dalı, Süleyman Demirel Üni.

Yukarıdaki Jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve...../..... sayılı kararı ile onaylanmıştır

Prof. Dr. Eyyup TEL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması, OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP-2022-PT3-012) tarafından desteklenmiştir.

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

(İmza)
Aydoğan DOĞAN



ÖZET

FLEROV-TALYZIN FORMÜLÜ KULLANILARAK (n,2n) REAKSİYONLARI İÇİN YENİ YARI-AMPİRİK TESİR KESİTİ FORMÜLLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Aydoğan DOĞAN
Doktora, Fizik Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Eyyup TEL

Haziran 2024, 67 sayfa

14-15 MeV enerji civarındaki (n,2n) tesir kesiti verileri, nötron çarpanı ve fisyon reaktörleri için yapısal malzeme seçimi ve nötron dozimetresinde araştırma yapılması açısından çok önemli uygulamalardır. Bu veriler nükleer model teorilerini geliştirmek için ve özellikle nükleer kabuk modelini destekleyen nükleer teorilerin anlaşılması için gereklidir. Deneysel ve yarı deneysel (n,2n) reaksiyon tesir kesitleri üzerinde birçok araştırmacı çalışmaktadır ancak nükleer yapının karakteri tam olarak bilinmediğinden teorik hesaplamalar hala yeterli olmamıştır. Bu çalışmada, 14-15 MeV nötron geliş enerjisinde (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerini hesaplamak için yeni bir yarı-ampirik formül önerilmiştir. Çekirdeklerin tesir kesiti üzerinde tek-çift etkisi ve yarı ampirik kütle formüllerinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca optik model parametreleri ve SCAT2 kodu kullanılarak toplam tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen teorik sonuçlar EXFOR deneysel nükleer veri kütüphanesinden alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmadaki toplam tesir kesitlerinin hesaplanması, 14-15 MeV civarındaki enerjiye yönelik deneysel verilerin eksikliği göz önüne alındığında, nötron reaksiyonlarına referans sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler:(n,2n) reaksiyonları, ampirik formül, tesir kesiti

ABSTRACT

OBTAINING A NEW SEMI-EMPIRICAL CROSS SECTION FORMULA FOR (n,2n) REACTIONS USING FLEROV-TALYZIN FORMULA

Aydoğan DOĞAN
Phd, Department of Physics
Supervisor: Prof. Dr. Eyyup TEL

June 2024, 67 pages

The (n,2n) cross section data around 14-15 MeV energy are very important applications of neutron multiplier and selecting structural materials for fission and fusion reactors and researching at neutron dosimeter. These data are needed for researching nuclear model theories and they are necessary for the understanding of nuclear theories especially supporting of the nuclear shell model. The empirical and semi-empirical (n,2n) reaction cross sections have been investigated by many authors, but theoretical calculations have not been adequate because of the character of the nuclear structure is not exactly known. In this work, a new empirical formula has been proposed to calculate the (n,2n) reaction cross sections at 14-15 MeV neutron incident energy. The odd-even effect and the effect of semi-empirical mass formulas on the cross section of the nuclei were examined. Also, the total cross sections calculations have been done by using optical model parameters and using SCAT2 code. The obtained theoretical results compared with the taken from EXFOR experimental nuclear data library. Consequently, calculations of the total cross sections in the present study may provide a reference to neutron reactions considering the lack of experimental data for around 14-15 MeV energy.

Keywords: (n, 2n) reactions, empirical formula, cross section

Çok kıymetli aileme



TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışma konusunu belirleyerek tez çalıŐmalarımın yürütölmesini üstlenen, çalıŐmalarım süresince vermiş olduğu ilgili alan dersleri ile bilgi ve tecrübelerini paylaŐan, kütüphane kaynaklarını kullanarak değerli katkılarını esirgemeyen, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Eyyup Tel'e teŐekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalıŐmalarım süresince bilgi paylaşımında bulunarak beni destekleyen Prof. Dr. İsmail Hakkı Sarpün'e, teknik destek konusunda yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Nazmi Sedefoğlu'na ve desteklerini hep yanımda hissettiğim çok değerli aileme teŐekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
1.GİRİŞ	1
2.TEMEL BİLGİLER	5
2.1 Yarı Ampirik Kütle Formülü.....	5
2.2. Nötronlar Tarafından Oluşturulan Nükleer Reaksiyonlar	7
2.3. Deneysel Tesir Kesiti Ölçümleri	9
2.4. Direkt Reaksiyonlar, Bileşik Çekirdek Reaksiyonları.....	9
2.4.1 Direkt Reaksiyonlar.....	9
2.4.2 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları	9
2.5. Tesir Kesiti, Diferansiyel Tesir Kesiti, Reaksiyon Hızı.....	12
2.6. Saçılmanın Kuantum Mekaniksel İncelenmesi.....	14
2.7. 14-15 MeV'de Ampirik (n,2n) Reaksiyon Tesir Kesitleri Üzerine Önceden Yapılan Çalışmalar	16
2.8. 14-15MeV Nötronlarda İnelastik Etkileşme Tesir Kesitleri Üzerine Yapılan Çalışmalar	21
2.9. SCAT2	27
2.9.1.Giriş ve Çıktı Dosyaları	27
2.9.2.Örnek Giriş Dosyası.....	28
2.9.3 Örnek Çıktı Dosyası	28
3. MATERYAL VE METOD	29
3.1. Reaksiyon Tesir Kesitleri İçin Yarı Ampirik Formüllerin Geliştirilmesi	30
3.1.1. Proton sayısına göre fit işlemi.....	30
3.1.2 Nötreon sayısına göre fit işlemi	35
3.1.3. Kütle numarasına göre fit işlemi	36
3.1.4 Asimetri parametresine göre fit işlemi	37
3.1.5 $\sigma(n,2n) / (A^{1/3}+1)^2$ ve proton sayısına göre fit işlemi	39

3.1.6 $\sigma(n,2n)/(A^{1/3}+1)^2$ ve nötron sayısına göre fit işlemi	40
3.1.7 $\sigma(n,2n)/(A^{1/3}+1)^2$ ve kütle numarasına göre fit işlemi	40
3.1.8 $\sigma(n,2n)/(A^{1/3}+1)^2$ ve asimetri parametresine göre fit işlemi	41
3.1.9 $\sigma(n,2n)/(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve proton sayısına göre fit işlemi	41
3.1.10. $\sigma(n,2n)/(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve nötron sayısına göre fit işlemi	42
3.1.11 $\sigma(n,2n)/(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve kütle numarasına göre fit işlemi	42
3.1.12 $\sigma(n,2n)/(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve asimetri parametresine göre fit işlemi	43
3.2. 14-15 MeV'de (n,2n) Reaksiyon Kesiti İçin Yarı Ampirik Kütle Formülü Etkilerinin İncelenmesi	43
3.3. (n,2n) Reaksiyon Tesir Kesitleri için Nükleonik Tek-Çift Etkilerin araştırılması	46
3.4. Bazı Deforme Hedef Çekirdekler İçin (n,2n) Non-Elastik Tesir Kesitlerinin İncelenmesi	50
3.5.14-15 MeV Nötronlarda Toplam Tepkime Tesir Kesitleri için Ampirik Formül Çalışmaları	52
4..BULGULAR	57
5..SONUÇLAR.....	59
.KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	65
YAYINLAR.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 14-15 MeV'de (n,2n) reaksiyonlar için ampirik formüller ve R^2 değerleri	19
Çizelge 2 Bazı araştırmacılar tarafından ölçülen 14.5 MeV nötronların inelastik tesir kesitleri.....	23
Çizelge 3. 14-15 MeV enerjide (n,2n) reaksiyonları için ampirik formüller.	30
Çizelge 4. Deneysel Tesir Kesiti Verilerinin Bu Çalışmadaki ve Önceden Yapılan Bazı Çalışmalardaki Verilerle Karşılaştırılması	31
Çizelge 5. $\sigma(n,2n)$ ve Proton Sayısı Z arasındaki korelasyon için fit sonuçları.....	34
Çizelge 5. $\sigma(n,2n)$ ve Proton Sayısı Z arasındaki korelasyon için fit sonuçları.....	31
Çizelge 6. (n,2n) ve Nötron sayısı N arasındaki korelasyon için fit sonuçları.....	35
Çizelge 7. $\sigma(n,2n)$ ve Kütle Numarası A arasındaki korelasyon için fit sonuçları	37
Çizelge 8 $\sigma(n,2n)$ ve Asimetri parametresi $S= N-Z/A$ arasındaki korelasyon için fit sonuçları.	38
Çizelge 9 Polinom fit formülleri	49
Çizelge 10 Optik Model Kullanılarak Bileşik, Şekil elastik ve Toplam tesir kesiti hesaplamaları	51
Çizelge 11. Bazı araştırmacılara ait ampirik formüller	51
Çizelge 12. Kütle numarası $150 \leq A \leq 191$ olan bazı elementler için bazı araştırmacıların $\sigma(n,2n)$ reaksiyonları ile ilgili buldukları tesir kesitleri ve deneysel sonuçlar	51
Çizelge 13. Bazı elementlerin hesaplanan ve ölçülen tesir kesitleri	53
Çizelge 14 $1 \leq A \leq 238$ kütle bölgesinde deneysel toplam tesir kesiti değerlerinin ve SCAT2 koduyla elde edilen toplam tesir kesiti değerlerinin lineer fit metoduyla elde edilen yarı ampirik formül ve R^2 değeri.....	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 Nükleer reaksiyon saçılmaları.....	10
Şekil 2 $\theta_{lab} = 4^\circ$ de $n + {}^{10}\text{B} \rightarrow t + \alpha + \alpha$ reaksiyonunun triton spektrumu..	11
Şekil 3 Tesir kesiti şematik diyagram	13
Şekil 4 Saçılmanın geometrisi.....	15
Şekil 5 Bir nükleonda dalga boyu ve enerji ilişkisi.....	16
Şekil 6 Pashchenko (1990) tarafından deneysel veri analizinden elde edilen Konobayev ve Korovin(1999) tarafından formülle hesaplanan 126 tesir kesiti değerlerinin birbirine oranı	20
Şekil 7. Deneysel verilerden elde edilen ${}^{40}\text{Ar}$ ' dan ${}^{209}\text{Bi}$ ' a kadar 126 çekirdek için nötron eksen enerjisi parametresi $(N-Z)/A$ nın bir fonksiyonu olarak 14.5 MeV enerjideki $(n,2n)$ reaksiyonu tesir kesitlerinin şematik gösterimi	24
Şekil 8 Toplam tesir kesitinin σ_t ve inelastik tesir kesitinin σ_{in} atom ağırlığına bağlılığı	28
Şekil 9 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n, 2n)$ ve proton sayısı Z arasındaki ilişki	34
Şekil 10 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n, 2n)$ ve nötron sayısı N arasındaki ilişki	36
Şekil 11 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n, 2n)$ ve kütle numarası A arasındaki ilişki.....	37
Şekil 12 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n, 2n)$ ve asimetri parametresi arasındaki ilişki.....	38
Şekil 13 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n, 2n)/(A^{1/3}+1)^2$ ve proton sayısı Z arasındaki ilişki	39
Şekil 14 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n, 2n)/(A^{1/3}+1)^2$ ile Nötron sayısı N arasındaki ilişki	39
Şekil 15 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n, 2n)/(A^{1/3}+1)^2$ ve kütle numarası A arasındaki ilişki	40
Şekil 16 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n, 2n)/(A^{1/3}+1)^2$ ve asimetri parametreleri arasındaki ilişki.	40
Şekil 17 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n, 2n)/(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve proton sayısı Z arasındaki ilişki.	41
Şekil 18 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n)/ (0.12A^{1/3}+0.21)^2$ nötron sayısı N	

arasındaki ilişki	41
Şekil 19 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n)/(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve kütle numarası A arasındaki ilişki	42
Şekil 20 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n, 2n)/(0.12A^{1/3} +0.21)^2$ ve $s=(N-Z)/A$ parametreleri s arasındaki ilişki.	43
Şekil 21 14-15 MeV enerjili nötronların neden olduğu (n,2n) reaksiyonlarının tesir kesitlerinin kütle numarasına göre fit grafiği.....	44
Şekil 22 14-15 MeV enerjili nötronlarla oluşturulan (n,2n) reaksiyonların tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre fit grafiği.....	45
Şekil 23 14-15 MeV enerjili nötronlarla elde edilen (n,2n) reaksiyonlarının tesir kesitlerinin simetri parametresine göre fit grafiği.....	45
Şekil 24 14-15 MeV enerjili nötronlar tarafından oluşturulan (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre fit grafiği.....	46
Şekil 25 14-15 MeV enerjili nötronlar tarafından oluşturulan (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre fit grafiği.....	47
Şekil 26 14-15 MeV enerjili nötronlar tarafından oluşturulan (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre fit grafiği.....	47
Şekil 27 14-15 MeV enerjili nötronlar tarafından oluşturulan (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre fit grafiği.....	48
Şekil 28 14-15 MeV nötronlar tarafından oluşturulan (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre fit grafiği.....	48
Şekil 29 14-15 MeV nötronlar tarafından oluşturulan (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre fit grafiği.....	49
Şekil 30 SCAT2 bilgisayar kodu kullanılarak bazı çekirdeklerin şekil elastik,bileşik çekirdek ve toplam tesir kesitlerinin kütle numarasına göre çizilmiş grafiği	52
Şekil 31 SCAT2 Bilgisayar kodu kullanılarak bazı çekirdeklerin bileşik çekirdek tesir kesitlerinin kütle numarasına göre çizilmiş grafiği.....	55
Şekil 32 σ_t (barn) ile atom ağırlığı A arasındaki ilişki	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

MeV	Milyon elektron volt
A	Kütle numarası
Z	Proton sayısı
N	Nötron sayısı
n	Nötron
p	Proton
d	Döteryum
B	Toplam bağlanma enerjisi
σ	Tesir kesiti
fm	Fentometre
mb	Milibarn
σ_{tot}	Toplam tesir kesiti
γ	Gama
α	Alfa
σ_{in}	Elastik olmayan tesir kesiti
PE	Potansiyel enerji
v_{nn}	İki nötron arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan ortalama potansiyel enerji
v_{pp}	İki proton arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan ortalama potansiyel enerji
v_{np}	Bir proton ve bir nötron arasındaki etkileşimden kaynaklanan potansiyel enerji
E_{inc}	Nötron geliş enerjisi
μ	Soğurma katsayısı
Σ	Makroskobik tesir kesiti ($n \cdot \sigma$) (cm-1)
s	Asimetri parametresi
N	Bombardıman parçacık sayısı
Ψ	Dalga fonksiyonu
K	Çekirdeğin içindeki nötronun dalga sayısı
λ	İndirgenmiş dalga boyu
V_c	Coulomb potansiyeli

$\sigma_{n,M}$ (n,n'), (n,2n), (n,3n), vb.'nintoplam tesir kesiti
 \hbar İndirgenmişplank sabiti
 c Işıık hızı



1.GİRİŞ

Nükleonlar arasındaki kuvvetlerin doğası hakkında bilgi elde etmek amacıyla nükleon-döteron etkileşimleri 1949'lardan 1960'lara kadar yoğun bir şekilde araştırılmıştır. Özellikle (p,d) ve (n,d) reaksiyonlarının karşılaştırılması nükleer kuvvetlerin yük simetriklik özelliği hakkında bilgi sağlayabileceği düşünülerek 1949'da Barschall ve Taschek tarafından mono-enerjik nötronların, protonlar ve döteronlar tarafından elastik saçılma diferansiyel tesir kesiti ölçümleri yapılmıştır (Barschall ve Taschek 1949). Bu ölçümler, protonlar tarafından kütle merkezinde 48° ile 154.5° arasındaki açılarda saçılan nötronlara karşılık gelen açısız bölgelerde ve aynı koordinat sisteminde 46° ile 176° arasında döteronlar tarafından gerçekleştirilmiştir. (n,p) saçılma verileri, kütle merkezi sistemindeki izotropik saçılma verileri ile uyum içinde olmasına karşın (n,d) elastik saçılma verileri anizotropik dağılım gösterdiği gözlenmiştir (Barschall ve Taschek, 1949).

Nükleer yarıçapları belirleme yöntemlerinden biri, hızlı nötronlar için çekirdeklerin toplam tesir kesitlerinin ölçülmesine dayanmaktadır. Eğer 2π 'ye bölünen nötron dalga boyu nükleer yarıçapa kıyasla küçükse (ancak çekirdeğin kullanılan nötronlar için şeffaf olmasını sağlayacak kadar küçük değilse) nükleer yarıçaplar büyük olasılıkla bu tür ölçümlerden hesaplanabilir. 13 ve 25 MeV arasındaki enerjilere sahip nötronları kullanarak yapılan çeşitli ölçümler 1940'larda ve 1950'lerde yayınlanmıştır. Feshbach ve Weisskopf (1949), bu ölçüm sonuçlarını kullanarak nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin teorik hesaplamaları üzerine çalıştılar. Feshbach ve Weisskopf, toplam reaksiyon tesir kesiti (σ_{tot}) ölçümlerinin analizinden hesaplanan nükleer yarıçap değerlerini kullanarak 'reaksiyon tesir kesiti' σ_r değerini hesapladılar. Ancak 14 MeV enerjili nötronlar için ölçülen σ_{tot} değerlerinin Feshbach ve Weisskopf (1949) tarafından kullanılan değerlerle uyuşmadığı gözlenmiştir. Phillips ve arkadaşları B, C, N, Al, Cu, Fe, Cd, Au, Pb ve Bi hedef çekirdekleri için 14 MeV enerjili nötronları kullanarak inelastik çarpışma tesir kesitlerinin ölçümlerini yaparak, Feshbach ve Weisskopf'un önerilen nükleer yarıçap hesaplama yöntemi için inelastik tesir kesiti (σ_{in}) ifadesi kullanılarak elde edilebileceğini öne sürdüler (Phillips ve ark., 1952).

1950'lerden sonra farklı nötron enerjileri ve farklı elementler için diferansiyel elastik saçılma tesir kesitlerinin tam ölçümleri birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir; Pierre ve ark. (1959) ve Rayburn (1959) bu araştırmacıların başında gelir. Tritonlar tarafından saçılan 14 MeV enerjili nötronların açısal dağılımı Coon ve arkadaşları tarafından ölçülmüştür (1951). Karbon ve oksijende 14 MeV enerjili nötronların inelastik saçılmasıyla elde edilen gama ışınlarını incelemek için NaI sintillasyon spektrometresi kullanılmıştır.

Nötronların farklı çekirdeklerden inelastik saçılması birçok bilim adamı tarafından incelenmiştir. Schectman ve Anderson (1966) Al, Fe, Ni, Cu, Cd, Sn, Pb ve Bi doğal hedeflerinden 14 MeV enerjili nötronların inelastik saçılmasını incelemişlerdir. Her numune için, mutlak diferansiyel tesir kesitler, $\sigma(\theta, E)$, 60° , 90° ve 120° laboratuvar açılarında ölçülmüştür. Bununla birlikte, elastik saçılma ve 4.43 ve 9.63 MeV seviyeleri için deneysel diferansiyel tesir kesitleri de elde edilmiştir. $^{12}\text{C}(n, n'\gamma)^{12}\text{C}$ reaksiyonu 15.0 MeV'de Spaargaren ve Jonker tarafından incelenmiştir (1971). Diferansiyel elastik ve elastik olmayan nötron saçılma tesir kesitleri ve 4.44 MeV de-eksitasyon γ -ışınları diferansiyel tesir kesiti açısal korelasyon deneyi esnasında elde edilmiştir. Sonuçlar diğer deneysel tespitler ve teorik tahminlerle karşılaştırılmış ve nötron ile proton saçılması arasında önemli fark bulunmamıştır.

C, H, ^2H , O ve N'un 14 MeV enerjili nötronlar için toplam tesir kesitleri Poss ve arkadaşları tarafından ölçülmüştür (1952). Poss ve arkadaşları, reaksiyon tesir kesitinin enerjiye ve açığa bağımlılığını ve hedefte enerji kaybı oranını değerlendirmişlerdir. 14.5 MeV enerjili nötronlar için karbondaki değişik düzeylerde diferansiyel ve toplam tesir kesitleri Singletary ve Wood (1959) tarafından saptanmıştır. İnelastik tesir kesitleri 4.4 MeV seviyesi için 203 mb; 9.6 MeV için 96 mb ve çözülmemiş daha yüksek seviyeler için 124 mb olarak bulunmuştur. 14 MeV enerjili nötron bombardımanı altında ^{12}C tarafından yayılan gama ışınları araştırılmış ve 4.4 MeV gama ışıması üretimi için hesaplanan tesir kesiti değeri 245 ± 35 mb olarak hesaplanmıştır (Battat ve Graves, 1955). Nükleer veri değerlendirmesi için yeni bir kapsamlı kod CCONE, aktinitlerin nükleer verilerinin değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. Bazı reaksiyonlar için tesir kesiti hesaplamaları tekrarlanabilirliği, örneğin toplam fisyon yakalama ve $(n, 2n)$ için basit parametrisleştirme test edilmiştir.

Hesaplanan tesir kesitleri ve nötron emisyon spektrumları deneysel veriler ile iyi bir uyum göstermektedir (Iwamoto, 2007). Eşik enerjisinden 30 MeV'e kadar eksitasyon fonksiyonlarının hassas ölçümleri ve 14 MeV bölgesindeki veriler yayınlanmıştır (Csikai, 1987).

(n,2n) reaksiyonları, bir nötronun A kütleli, Z yüklü bir çekirdekle çarpışması sonucunda A-1 kütleli Z yüklü bir ürün çekirdek ve iki nötronun ortaya çıkmasını ifade eder. Bu reaksiyonun olması için, gelen nötronun enerjisi MeV aralığında olmalıdır ve son nötronun bağlanma enerjisinden büyük olması gerekir. Bu reaksiyon hızlı nötron artışına sebep olur ve kontrol edilmesi zorunludur. Reaktör uygulamalarında hedef materyallerde (n,2n) reaksiyon eşik enerjisini aşan fisyon nötronları oranının anlaşılması önemlidir. (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin teorik hesaplanması, nükleer reaktör uygulamalarında koruma malzemesinin belirlenmesi ve nötron çoğalma hesaplamaları için gereklidir. Seçilen koruyucu malzemeleri, nükleer reaktör ortamında nötronların çoğaltılmasında kilit rol oynayabilir. Bu nedenle, nükleer reaktör uygulamalarında hızlı nötron kaynaklı reaksiyonların bilgisi ve (n,2n) ve (n,3n) tesir kesitlerinin anlaşılması oldukça önemlidir çünkü fisyon nötron spektrumunun önemli bir kısmı, reaktör malzemelerinin çoğu için (n,2n) reaksiyon eşığının üzerinde yer alır (Pearlstein, 1965).

Literatürde mono enerjili veya ortalama bir enerjiye bağlı (n,2n) reaksiyon tesir kesiti hesaplama yöntemleri mevcuttur. Ampirik ve yarı ampirik (n,2n) reaksiyon tesir kesit formülleri birçok yazar tarafından araştırılmış olsa da nükleer yapının karakteri tam olarak bilinmediği için teorik hesaplamalara devam edilmektedir. Levkovskii'nin fikrine göre tesir kesiti bileşik çekirdek oluşum tesir kesitine ve üstel olarak $(N-Z)/A$ 'ya bağlı bir faktörel çarpanlara ayrılabilir (Levkovskii, 1957). Chatterjee ve Chatterjee (1969) benzer şekilde (n,2n) tesir kesitleri için bir formül önerdi. Deneysel $\sigma(n,2n)$ değerlerinden, Lu ve Fink (1971) $(N-Z)/A$ fonksiyonuna bağlı olarak deneysel eşitliği elde etmiştir. (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinde hem izotopik hem de izotonik etkilerin yanısıra tek-çift etkiler de gözlemlenmiştir (Qaim, 1974; Holub ve Cindro 1976). Bychkov ve ark. (1982) nötron bağlanma enerjisini kullanarak ve hedef çekirdekler için Weizsacker formülü yardımı ile $\sigma(n,2n)$ ifadesini yeniden elde etti. Konobayev ve Korovin, 14.5 MeV enerjide (n,2n) reaksiyon tesir kesiti tahmini için

denge öncesi ve buharlaşma modellerini kullanarak yeni bir formül elde ettiler (Konobeyev ve Korovin, 1999; Pashchenko, 1990). Habbani ve Osman (2001), $(n,2n)$ reaksiyon kesitleri için tek-çift etkisinin olmadığını bulmuşlardır. Tel ve ark. (2003; 2007), (n,x) ve $(n,2n)$ reaksiyon kesitlerinin tek-çift etkisini araştırdı. Tel ve arkadaşları, $\sigma(n,2n)$ tesir kesitleri için deneysel formül önermiştir (Tel ve ark., 2008). Goyal ve Gur (2009), Z/A 'nın $(n,2n)$ tesir kesitlerinin değişimini açıklamak için iyi bir parametre olduğunu bulmuşlardır. 14 MeV enerjili nötronlar, orta ve ağır kütleli hedef çekirdekler için baskın reaksiyon kanalı olduğundan, genel olarak bu bölgedeki çekirdeklerin hesaplamaları deney ile iyi uyumlu olduğu gözlenmektedir (Goyal ve Gür 2009). Elde edilen sonuçlar, Q değerinin, 14–15 MeV civarında verilen gelen nötron enerjisinde $(n,2n)$ tesir kesitlerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Tel ve ark. 2004-a; Tel ve ark. 2004-b; Yiğit, 2020).

$(n,2n)$ reaksiyonları hızlı nötronlar grubuna girmektedir ve hızlı nötron kaynaklı nükleer reaksiyon tesir kesiti verileri, nükleer modellerin geliştirilmesi ve nükleer kabuk modelinin anlaşılması ve desteklenmesi bakımından faydalı bilgiler sağlayabilir. Ayrıca deforme olan ve/veya kararlılık çizgisinden ayrılan çekirdekler üzerindeki nükleon-nükleon etkileşmelerinin açıklanabilmesinde kullanılan istatistiksel modelin doğruluğunun incelenmesinde yardımcı olacaktır. Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde nükleer reaksiyonların kısaca tarihi gelişiminden bahsedilmektedir. İkinci bölüm nötronlar tarafından oluşturulan nükleer reaksiyon tesir kesitleri hakkında temel bilgileri içerir ve elastik saçılma, inelastik saçılma gibi nükleer reaksiyon tesir kesitleri üzerinde yapıla çalışmalardan bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde 14–15 MeV'de gelen nötron enerjileriyle oluşturulan $(n,2n)$ nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin hesaplamalarında kullanılan yöntemlerini ve literatürde bu alanda yapılan deneysel ve teorik çalışmalara ait bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölüm hesaplamalar sonucunda elde edilen bulguları içermektedir. Beşinci bölümde bulgular kısmında verilen sonuçlar tartışılmaktadır.

2. TEMEL BİLGİLER

2.1 Yarı Ampirik Kütle Formülü

Yarı ampirik kütle formülü ilk olarak 1935'te VonWeizsäcker tarafından bilinen nükleer kütleleri birkaç parametreye dayalı olarak temsil etmek ve bilinmeyen nükleer kütlelerin hesaplanmasında kullanılabilir hale getirmek için geliştirilmiştir. Elektriksel olarak nötr olan bir atomun $m(A,Z)$ kütlesi,

$$m(A,Z) = Z m_H + N m_n - B/c^2 \quad (2.1)$$

ifadesiyle verilmektedir. Burada m_H ve m_n hidrojen atomunun ve nötronun kütlesi; B , çekirdeğin bağlanma enerjisi, c ise ışık hızıdır.

Böylece yarı ampirik kütle formülü, aşağıdaki yarı ampirik toplam bağlanma enerjisi kullanılarak ifade edilir.

$$B = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_a \frac{(N-Z)^2}{A} \pm \Delta \quad (2.2)$$

ile verilen bağlanma enerjisi ifadesinde a_v , a_s , a_c , a_a ve Δ parametreleri sırasıyla hacim, yüzey, Coulomb, simetri ve çiftlenim etkilerini gösteren parametrelerdir. Bu parametreler deneysel değerlere fit edilerek elde edilmiş parametrelerdir. Her terimin davranışı, fizik ilkelerine ve nükleer kuvvetin genel özelliklerine göre değişir. Bu terimlerin elde edilmesinde çekirdek, bir sıvı damlasında daha çok moleküller gibi davranan parçacıkların toplamı olarak kabul edilir. Pauli ilkesini içeren kuantum etkileri, bir kutuda tutulan $\frac{1}{2}$ spinli parçacıkların basit modellemesi kullanılarak hesaplanır.

- *Hacim enerjisi* : Bu terimin kütleyle bağımlılığı, önceki alt bölümde açıklanan nükleer kuvvetin doyumluğundan gelir. Çekirdekdeki bir nükleon, genellikle nükleer kuvvetin kısa menzili içinde, sabit sayıda komşu nükleonlarla etkileşime girer. Bu nedenle, nükleon başına bağlanma enerjisi sabit kalacak ve nükleer bağlanma enerjisine toplam katkı, A ile ve dolayısıyla nükleer hacimle orantılı olacaktır (Lilley, 2001).

- *Yüzey terimi* : Çekirdekte, yüzeye yakın bir nükleon diğer nükleonlardan daha az

nükleon ile etkileşir. Bu nedenle, yüzeye yakın bir nükleon içerideki nükleonlara göre daha zayıf bağlıdır. Dolayısıyla, bunu düzeltmek için, yüzey alanıyla orantılı bir terim (veya çekirdek yarıçapının R karesi) hacim teriminden çıkarılmalıdır. $R \propto A^{1/3}$ olduğundan, yüzey terimi $A^{2/3}$ ile orantılıdır (Lilley, 2001).

- *Coulomb enerjisi* : Sıvı damlası bağlanma enerjisine ikinci negatif katkı, protonlar arasında etkili olan uzun menzilli itici elektrik kuvvetinden gelir. Yarıçapı R olan ve toplam yükü Q olan uygun şekilde yüklenmiş bir küre $\frac{3}{5} \left(\frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 R} \right)$ elektriksel potansiyel enerjiye sahiptir. Çekirdek yükü Ze olduğundan, bu terim denklemde verildiği gibi elde edilir (Lilley, 2001).

- *Simetri terimi* : Bu terim, nükleon-nükleon kuvvetinin yük simetrik doğasını ifade eder ve yukarıda açıklanan etkiye sahiptir, yani Coulomb kuvveti olmasaydı, en kararlı çekirdekte eşit sayıda nötron ve proton olurdu. Simetri teriminin şekli Pauli ilkesine uyar, farklı nükleonlar (n-p) arasındaki etkin kuvvet, (n-n veya p-p) eşdeğer nükleonlar arasındakinden daha güçlüdür. Simetri terimine iki katkı vardır: ilki nükleonların nükleer potansiyel enerjisinden (PE), diğeri ise kinetik enerjilerinden gelir. Aşağıda gösterilen basit çıkarımda, N ve Z'nin 1'den büyük olduğunu kabul ediyoruz. Her bir nükleonun potansiyel enerjisi (nükleer hacimde), o nükleonun $f_n = N/A$ oranındaki nötronlardan ve $f_p = Z/A$ oranındaki protonlardan oluşan nükleer madde ile etkileşmesiyle meydana gelir. v_{nn} , v_{pp} ve v_{np} sırasıyla iki nötron, iki proton ve bir nötron ve bir proton arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan ortalama potansiyel enerjiyi gösterebilir. N nötrondan kaynaklanan bağlanma enerjisi, $N(v_{nn}f_n + v_{np}f_p)$ ve Z protondan kaynaklanan bağlanma enerjisi $Z(v_{np}f_n + v_{pp}f_p)$ ile orantılıdır. $v_{pp} = v_{nn} = v$ ve $v_{np} \approx 2v$ olduğu için bağlanma enerjisine toplam potansiyel enerji katkısını

$$N(vf_n + 2vf_p) + Z(2vf_n + vf_p) = \frac{v}{A}(N^2 + 4NZ + Z^2) = \frac{v}{2} \left(3A \frac{(N-Z)^2}{A} \right) \quad (2.3)$$

ile orantılı olarak yazabiliriz. Burada f_n ve f_p yerine yukarıda verilen değerler kullanılmıştır. Böylece, potansiyel enerjinin iki bileşeni vardır: Hacim terimini içeren A'ya bağlı bir bileşen ve diğeri $-(N-Z)^2/A$ 'ya bağlı olan simetri terimidir.

Kinetik enerjinin simetri terimine katkısı, sert duvarlı üç boyutlu bir kutuda bulunan

parçacıkların basit bir kuantum-mekanik modelinin sonuçları kullanılarak elde edilir. Fermi-gaz modeli olarak adlandırılan bu model, genellikle farklı durumlarda fermiyon davranışı elde etmek için kullanılır (Lilley, 2001).

- *Çiftlenim*: Yarı ampirik kütle formülündeki son terim, aynı sıradaki benzer nükleonların sıfır spinli çiftler oluşturma eğiliminde olduğunu gösterir. Çiftlerin bu şekilde olması durumunda, onların uzaysal dalga fonksiyonlarının daha kuvvetlice üst üste binmesinden ileri gelen ilave bağlanma meydana gelir. N ve Z'nin her ikisi de çiftse ve nükleonların hepsinin sıfır spinli çiftleri oluşturacak şekilde bulunuyorlarsa, çiftlenim katkısı pozitifdir ve bağlanma enerjisine eklenir ve eğer N ve Z'nin her ikisi de tekse, bu katkı negatiftir. N veya Z tek ise (A tek), bu katkı sıfırdır. N veya Z'nin değişmesiyle kütle formülündeki bütün diğer terimlerin A ile düzgün şekilde değişmesi, bu terime gerek duyulmasını doğrular ve çiftlenim terimi, bu değişimin bir çift oluşturulmasına veya bu halin bozulmasına sebep olup olmamasına olan bağımlılığı gösterir (Lilley, 2001).

2.2. Nötronlar Tarafından Oluşturulan Nükleer Reaksiyonlar

Nötronlar, aşağıdaki reaksiyonlardan bir veya daha fazlasında madde ile etkileşime girebilir:

1. **Elastik saçılma (n,n)**: Bir nötron atom çekirdeği ile çarpışır ve sonra kinetik enerjisini kaybeder. Unutulmamalıdır ki nötron, ağır bir çekirdekle çarpıştığında daha az kinetik enerji kaybeder. Buna karşılık, hafif bir çekirdekle çarpıştığında daha fazla kinetik enerji kaybeder. Hidrojen (^1H) bu nedenle, neredeyse nötronla aynı kütleye sahip en hafif çekirdek olduğu için en etkili nötron moderatörüdür. Elastik saçılma, nötron radyografiden yayılan hızlı nötronlardan düşük enerji veya yavaş nötron üretimi için en önemli olanıdır. Su, parafin ve polietilen en yaygın nötron moderatörleridir. Gerçekten, hidrojen-2 (^2H , döteryum olarak adlandırılan) son derece düşük nötron soğurulması ihtimalinden dolayı en iyi nötron moderatörüdür. Ağır suyun ($^2\text{H}_2\text{O}$) nötron Emilimi tesir kesiti hafif suyun ($^1\text{H}_2\text{O}$) nötron Emilimi tesir kesitinin 1/1500 ü kadardır fakat ağır su çok pahalıdır (Valkovic, 2016).

2. **İnelastik saçılma**: İnelastik saçılma'da başlangıç ve son ürünler aynıdır. Başlangıç

kinetik enerjisinin bir kısmı, γ emisyonu ile bozunacak olan parçacıkların her ikisini veya birini, uyarılmış duruma getirmek için kullanılmıştır. İnelastik saçılma, çekirdeğin iç yapısı hakkında bilgi veren uyarılmış nükleer durumların özelliklerinin belirlenmesi açısından önemli bir reaksiyondur (Lilley,2001).

3. Nötron yakalama ((n, γ) reaksiyonu): Bir nötron yeni bir çekirdek oluşturmak için bir atom çekirdeği tarafından yakalanabilir. Ürün çekirdek, kütle numarası 1 artmış yeni bir izotoptur. Örneğin, ^{59}Co bir nötron yakalarsa radyoaktif ^{60}Co oluşur. Yeni çekirdek çoğunlukla radyoaktif hale gelir ve bir beta parçacığına bozunur, ardından bir gama ışını yayılır. Bazıları radyoaktif değildir, örneğin ^2H , ^{114}Cd , ^{156}Gd ve ^{158}Gd . Bunlardan birkaçı bir beta parçacığı tarafından gama ışını yayılımı olmadan bozunur, örneğin ^{32}P gibi (Valkovic, 2016).

4. Yüklü parçacık emisyonu, (n,p) ve (n, α) reaksiyonları: Yüklü parçacık emisyonlarının çoğu, ^6Li ve ^{10}Be 'un iki önemli (n, α) reaksiyonu hariç, hızlı nötronlar tarafından gerçekleştirilir. $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$ ve $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ reaksiyonları, nötron algılama ve korumada önemli roller oynar. Nötron radyografisi içerisinde, bu iki reaksiyon esas olarak nötronları alfa parçacıklarına dönüştürmek için kullanılır (Valkovic, 2016).

5. Nötron üreten reaksiyon, (n,2n) ve (n,3n) reaksiyonları: Bu reaksiyonlar sadece bir eşik enerjisi gerektiren hızlı nötronlarda meydana gelir. Özellikle bir nötron jeneratöründen üretilen 14 MeV enerjili nötron kullanıldığında nötron radyografisinde faydalı olabilirler. Nötron moderatörü içerisine kurşun ve uranyum gibi ağır metal blokları bastırılarak, (n,2n) ve (n,3n) reaksiyonlarından 2–3 veya daha yüksek bir faktörle düşük enerjili nötron yoğunluğu artırılabilir (Valkovic, 2016).

6. Fiyon reaksiyonu: Fiyon reaksiyonları, nükleer santrallerde enerji üretimi ve nükleer araştırma reaktörlerinde nötron üretimi için kullanılır. ^{235}U ve ^{239}Pu gibi ağır çekirdekler nötronların emilmesinden sonra fiyona uğrar. Çekirdek dışarıya 2-3 nötron yayarak orijinal çekirdek iki çekirdeğe bölünür. Daha önce bahsedilen (n,2n) ve (n,3n) reaksiyonları tarafından nötron yoğunluğunu artırmak için uranyum kullanıldığında fiyon reaksiyonu sisteme ek nötronlarla katkıda bulunur. Katkı

derecesi, uranyumdaki ^{235}U 'nun ^{238}U 'ya oranına bağlıdır (Valkovic, 2016).

2.3. Deneysel Tesir Kesiti Ölçümleri

Çeşitli mekanizmalar arasındaki deneysel ayrımı gerçekleştirmek için kinematik enerjinin bir fonksiyonu olarak olası reaksiyon mekanizmalarının her birinin katkılarını bilmek son derece önemlidir. Kinematik olarak tamamlanmış bir deneyde bu ayırım genellikle mümkündür. Korelasyon çalışmasında yer alan deneysel farklılıklar nedeniyle nötron kaynaklı reaksiyonlarda spektrum, tam ölçümlerin deneysel sonuçları çok azdır. Ancak nükleer kuvvetler hakkında bazı temel bilgiler hafif çekirdeklerle oluşturulan nükleer reaksiyonların incelenmesinden çıkarılabilir (örneğin $n + d \rightarrow n + n + p$ reaksiyonu). Bundan başka, hafif çekirdekler hakkında önemli spektroskopik bilgiler nötronlar tarafından indüklenen reaksiyonlar incelenerek elde edilebilir (Valkovic, 2016).

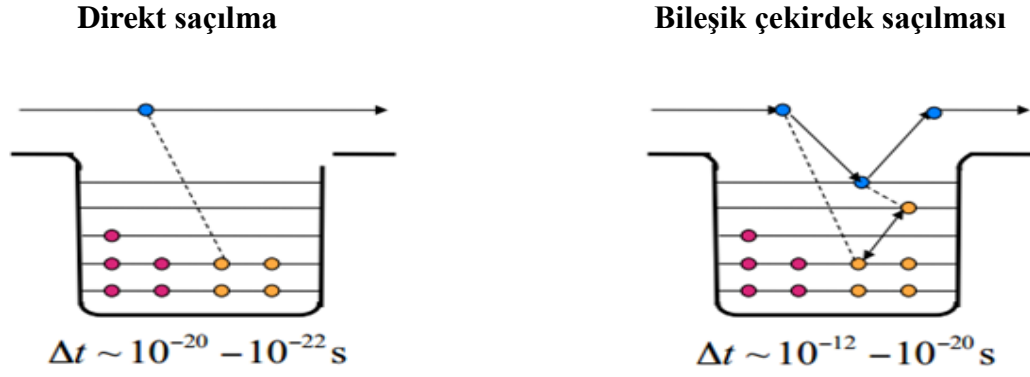
2.4. Direkt Reaksiyonlar, Bileşik Çekirdek Reaksiyonları

2.4.1 Direkt Reaksiyonlar: Herhangi bir direkt reaksiyon, mermi parçacığının, hedef çekirdeğin öncelikle yüzeyi ile etkileştiği durumlarda olmaktadır. Enerji ve madde transferi küçüktür. Bu yüzden çıkan ürünlerin kütle ve enerjisi, giriş kanalındaki parçacıkların durumuna bağlıdır. Reaksiyonun zaman skalası hızlıdır (yaklaşık olarak 10^{-22} s) bu süre merminin nükleer çapı geçmesi için harcanan zamandır (Lilley, 2001).

Transfer reaksiyonu, bir veya daha fazla nükleonun hedef ve merminin birbirine geçmesi olarak değişimidir. Son çekirdek uyarılmış durumda kalabilir veya kalmayabilir. Eğer transfer mermiden hedefe olursa soyma reaksiyonu olarak adlandırılır. Kapma reaksiyonu bunun tersi olması durumudur (Lilley, 2001).

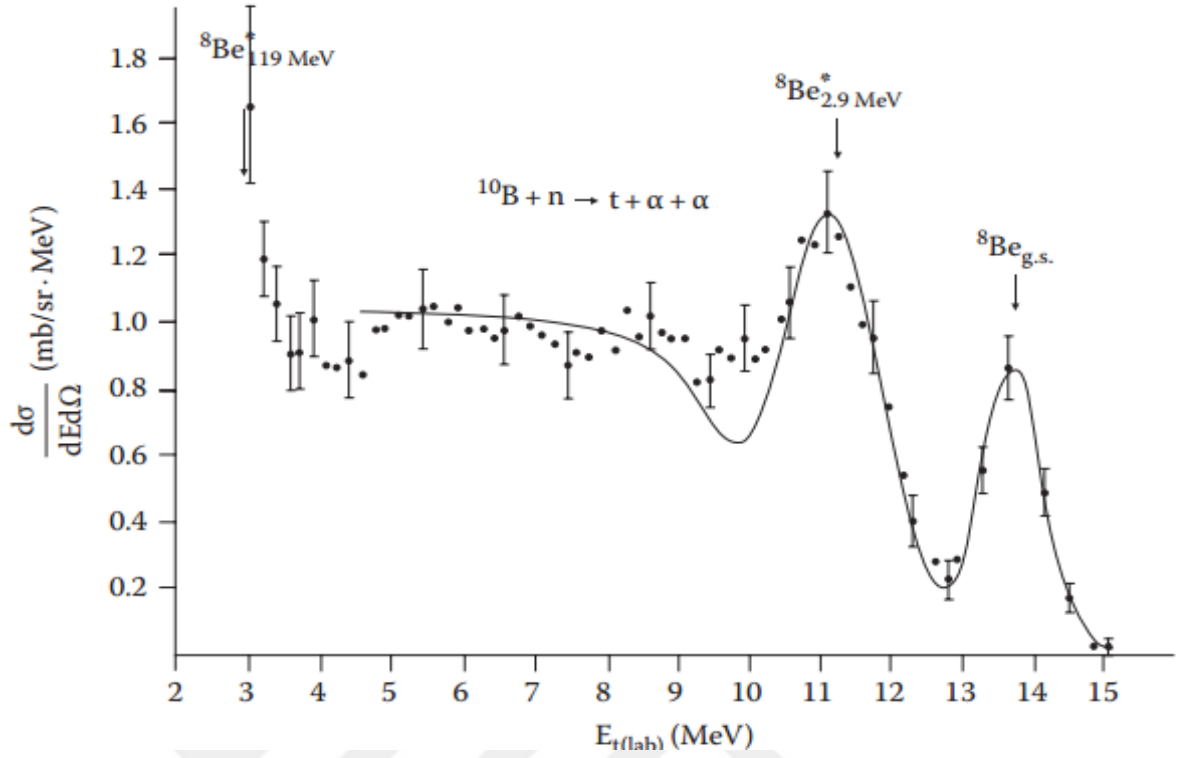
2.4.2 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları: Merkezde veya merkez civarındaki bir çarpışmada, birbirinden bağımsız iki evrede ilerlediği varsayılan bileşik çekirdek reaksiyonuna veya direkt olmayan bir reaksiyona sahip olabiliriz. Öncelikle mermi ve hedef birbirleriyle kaynaşırlar ve sonrasında bu bileşik sistem içerisindeki nükleon-nükleon etkileşimleri ile reaksiyon enerjisi pek çok nükleon arasında paylaşılır. Bu

denge sürecine ulaşıldığında, bir nükleonun ortalama enerjisi bu nükleonun bağlanma enerjisinin altında kalır ve bileşik çekirdekler direkt reaksiyonlarla karşılaştırıldığında uzunca bir süre (10^{-16} ile 10^{-18} s) uyarılmış bir durumda kalabilirler. Sonuçta tek bir nükleon veya nükleon grubu kaçmak için yeterli enerjiyi kazandığı zaman uyarılma süreci tersine işler (Lilley, 2001).



Şekil 1 Nükleer reaksiyon saçılmaları (Carlson, <https://docplayer.net/135057572>)

Nötron kaynaklı reaksiyonlardan yüklü parçacıkların açısal dağılımlarına ilişkin veriler oldukça nadirdir ve giden kanallarda, zayıf enerji çözünürlüğünde protonlar, döteronlar, tritonlar vb. arasındaki zayıf ayırmadan dolayı büyük belirsizliklere maruz kalır. Genel olarak, düşük seviyeli durumlardaki kalan çekirdekleri terk eden yüklü parçacıkların açısal dağılımları belirgin ileri pikler sergiler. Bu pikler genellikle reaksiyonun direkt reaksiyon mekanizması yoluyla ilerlediğinin göstergesi olarak yorumlanır.



Şekil 2 $\theta_{lab} = 4^\circ$ de $n + {}^{10}\text{B} \rightarrow t + \alpha + \alpha$ reaksiyonunun triton spektrumu (Valkovic, 2016)

Orta enerjili reaksiyonların (~5–10 MeV) bir kısmı da bileşik çekirdek oluşumu yoluyla ilerler, ancak $E_{gelme} \sim 14$ MeV için süreçler ağırlıklı olarak doğrudan etkileşimler olarak görünür. Örneğin, bir (p,p') tepkimesi için bileşik çekirdek oluşumu $E_p \sim 10$ MeV'e kadar kayda değerdir ancak daha yüksek enerjiler için, örneğin, 10 ve 16 MeV arasında, bileşik çekirdeğin göreceli katkısı hızlıca azalır (Valkovic, 2016).

(n,d) reaksiyonları proton konfigürasyonları hakkında bilgi verir ve bu nedenle, onlar (d,p) veya (d,t) reaksiyonları için tamamlayıcıdır. Soyma (stripping) reaksiyonları ağırlıklı olarak tek parçacık seviyelerini uyarır. Toplama (pickup) reaksiyonları, aksine, boşluk seviyelerini desteklemektedir. Bu ayırım her iki süreç türünün incelenmesini savunur. Bununla birlikte, mevcut deneysel veriler büyük bir orantısızlık göstermektedir. Soyma reaksiyonları hakkında etkileyici miktarda veri ile karşılaştırıldığında toplama reaksiyonları ile ilgili sadece birkaç çalışma vardır. Bunun altında yatan sebep önemli oranda deneysel zorluklardır. Toplama reaksiyonları büyük negatif Q değerleri ile nitelendirilir (tipik olarak ~ 8 MeV) bu, oldukça yüksek enerjili parçacıklardan oluşan bir ışın demetine sahip olmayı gerekli kılar ve ayrıca

deneycileri, daha yüksek enerjili diğer parçacıkların yoğun veriminden toplama işlemi tarafından oluşturulan düşük enerjili parçacıkları ayırt etme zorluğuyla baş başa bırakıyor (Valkovic, 2016).

(nötron, yüklü parçacık) reaksiyonlarının ortak özelliği hedef çekirdeğin atom numarası arttıkça diferansiyel kesitte sürekli bir azalmadır. Hafif çekirdekler için tesir kesitleri 10 mb/sr düzeyindedir (örneğin, $E_n = 14$ MeV'de), $^{16}\text{O}(n,d)^{15}\text{N}_{g.s}$ için $\sigma_{\max}(\theta)$ 4.5 mb/sr dir (Paic ve ark., 1964) ve $^{10}\text{B}(n,d)^9\text{Be}_{g.s}$ için 8mb/ster (Ribe ve Seagrave 1954), $A \sim 50$ için 1-2 mb/sr'e düşer (örneğin $E_n = 14$ MeV de), $\sigma_{\max}(\theta)$ $^{51}\text{V}(n,d)^{50}\text{Ti}_{g.s}$ için 0.4 mb/ster ve $^{48}\text{Ti}(n,d)^{47}\text{Sc}$ için 2.4 mb/sr 'dir ve sadece $A \sim 200$ için yaklaşık <0.3 mb/sr 'dir. Genel olarak atom numarası arttıkça düşük seviyeler arasındaki boşluk azalır. Bu iki gerçek doğal olarak hafif çekirdekler üzerinde (n,p) ve (n,d) reaksiyonlarının çalışmasını başlatmaya teşvik eder. Bouchez ve arkadaşları (1963) ^{12}C 'den 14 MeV nötronların esnek olmayan saçılmasında 7.65 MeV seviyesinin (0+) uyarıldığını bildirmiştir. Açısal dağılım, $\theta = 20^\circ$ 'de güçlü bir ileri maksimum $\sigma(\theta) \approx 8$ mb/sr verir (4.43 MeV seviyesi uyarma tesir kesiti 'nin yaklaşık 0.1'i) (Valkovic, 2016).

2.5 Tesir kesiti, diferansiyel tesir kesiti ve reaksiyon hızı

Şekil 3'te gösterildiği gibi hep aynı yönde hareket eden mermi parçacıklarının durgun bir hedef üzerine gönderildiğini düşünelim. Akıyı, Φ , birim zamanda hareket yönüne dik doğrultudaki birim alandan geçen parçacık sayısı olarak tanımlayabiliriz. Tüm parçacıklar aynı v hızına sahip ise akı;

$$\Phi = n_p v \quad (2.4)$$

ile verilir. Burada n_p demetteki mermi parçacıklarının yoğunluğudur. Genel olarak parçacık hızlarının bir dağılımı vardır ve $n_p(v) dv$, hızları v ile $v+dv$ aralığında bulunan mermi parçacıklarının yoğunluğu olarak verilirse bu durumda akı,

$$\Phi = \int v n_p(v) dv \text{ integrali ile verilir.}$$

$A(a,b)B$ şeklinde verilen bir reaksiyonun belli bir hızda oluştuğu varsayalım. Eğer, hedefteki çekirdekler bağımsız olarak hareket ediyorsa, 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;

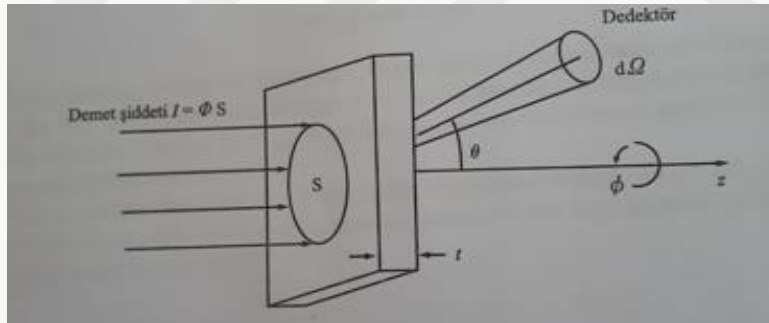
$$\sigma = \frac{\text{çekirdek başına olay hızı}}{\text{gelen akı}} \quad (2.5)$$

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

$$R = N\sigma\Phi \quad (2.6)$$

ifadesiyle verilen bir reaksiyon hızına sahip oluruz.

Bu hız, bir hedef üzerine gönderilen tek yönlü bir demet için türetilmiştir. Ancak hızın, gelen parçacıkların yönünden bağımsız olduğunu biliyoruz ve farklı yönlerde hareket eden parçacıklar durumu için, akıyı birim zamanda birim hacim içerisinde hareket eden tüm parçacıkların hareket ettikleri toplam uzunluk olarak tanımlayabiliriz. Bu tanım tek yönlü bir demet için yukarıda verilen ile uyumludur fakat bir skaler nicelik olan akının gerçek doğasını daha iyi açıklar



Şekil 3 Tesir kesiti şematik diyagram (Lilley, 2001)

Şekil 3'ün 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:

$$R = N\sigma I / S = I\sigma_n t \quad (2.7)$$

Buradaki n_t birim hacim başına hedef çekirdek sayısıdır. Eğer hedef M_A atomik kütlelerinde (atomik kütle biriminde), 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 nedenle denklem (2.5)'i şu şekilde tekrar yazabiliriz.

$$R = I(\rho t) \sigma N_A / M_A \quad (2.8)$$

Buradaki (ρt) niceliği, hedefteki madde miktarının bir ölçüsüdür ve birim alan başına kütle birimindedir (Lilley, 2001).

Tipik bir deneyde, bir reaksiyonun ürünleri farklı kutupsal açılarda (θ, ϕ) hedeften çıkarlar ve Şekil 3'te gösterildiği gibi hedefin $d\Omega$ katı açısını gören bir dedektöre girerler. Bu ürünler, $d\Omega$ katı açısı, N hedef çekirdeklerinin 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 $\sigma(\theta, \phi)$ olarak ifade edilir. Böylece

$$dR(\theta, \phi) = \frac{d\sigma}{d\Omega} N \Phi d\Omega = \sigma(\theta, \phi) N \Phi d\Omega \quad (2.9)$$

yazılır. Tesir kesiti σ , yukarıdaki diferansiyel tesir kesitinin tüm küre üzerinden yani tüm θ ve ϕ açıları üzerinden integraline eşittir (Lilley, 2001)

$$\sigma = \int \sigma(\theta, \phi) d\Omega \quad (2.10)$$

Başlangıç koşulları ile verilen bir durum için, birçok farklı reaksiyon farklı olasılıklarla oluşabilir. Her biri, kendi 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, 2001).

Tesir kesiti alan boyutundadır ve birimi barn'dır. 1 barn = 10^{-24} cm², dir.

2.6. Saçılmanın kuantum mekaniksel incelenmesi

Şekil 4 gelen düzlem dalganın hedefle etkileşimini göstermektedir. Saçılma

merkezinden uzakta, saçılan dalga fonksiyonu, gelen düzlem dalga ile saçılan küresel dalganın toplamı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\Psi(\vec{r}) \approx e^{ikz} + f(\theta) \frac{e^{ikr}}{r} \quad (2.11)$$

e^{ikz} : Gelen düzlem dalga

$f(\theta) \frac{e^{ikr}}{r}$: Saçılan küresel dalga

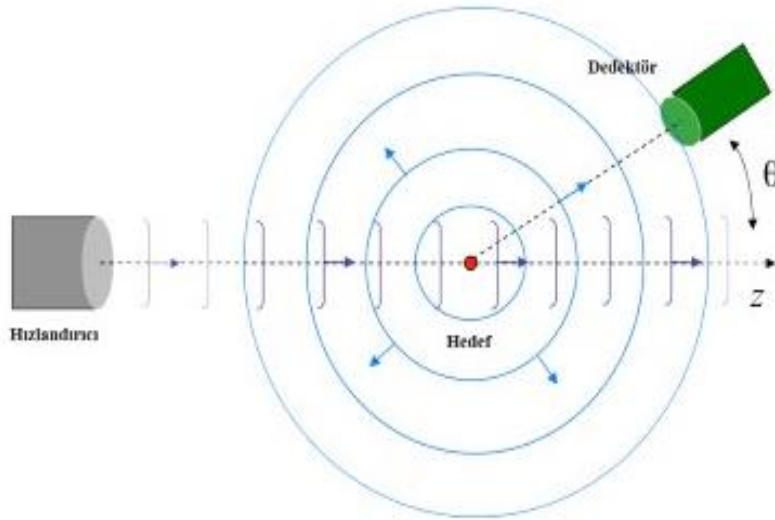
$f(\theta)$: Saçılan küresel dalganın genliği

$$k^2 = 2\mu E_{cm} / \hbar^2$$

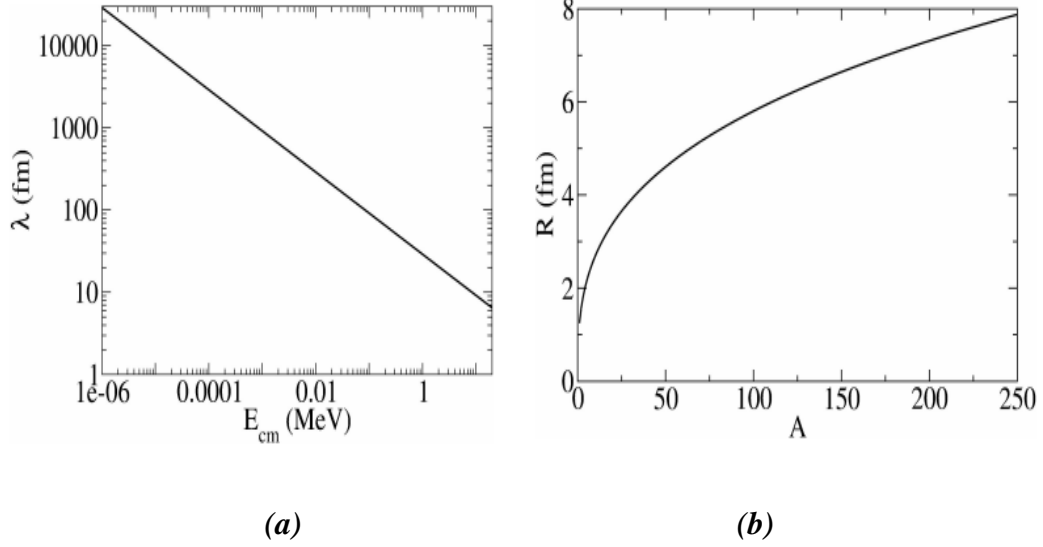
Diferansiyel tesir kesiti, saçılma genliğinin karesi olarak

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(\theta)|^2 \quad (2.12)$$

şeklinde yazılır.



Şekil 4 Saçılmanın geometrisi (Carlson, docplayer.net/135057572)



Şekil 5 Bir nükleonda dalga boyu ve enerji ilişkisi. (a):Nükleonun dalga boyu ve enerjisi arasındaki ilişki. (b) Çekirdeğin yarıçapı ile kütle numarası arasındaki ilişki (Carlson,docplayer.net/135057572)

Nükleer saçılma için uygun dalga boyu uzunluk ölçeği, en fazla çekirdeğin boyutlarında ve yaklaşık 0.5 fm ile 1.0 fm arasında olacaktır. Şekil 5'e bakıldığında bir nükleonun dalga boyunun $R=1.25A^{1/3}$ (fm) ile verilen nükleer yarıçapla karşılaştırıldığında, geniş bir enerji aralığının dikkate alınmasının gerekli olduğunu görebiliriz.

2.7. 14-15 MeV'de ampirik (n,2n) reaksiyon tesir kesitleri üzerine önceden yapılan çalışmalar

(n,2n) reaksiyonları, 14 MeV enerjili nötronların orta kütleli ve ağır çekirdeklerle etkileşiminde baskın olan kanalıdır. Bu nedenle, (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin bilgisi, füzyon reaktörü teknolojisi için, özellikle uzun ömürlü radyoaktif çekirdeklerin üretimine neden olan trityum üretimi için nötron çoğaltıcıları olarak kullanılabilen malzemeler veya (n,2n) reaksiyonunun neden olduğu nüklidler için özel bir öneme sahiptir. Bu tür verilere nükleer teorilerin geliştirilmesi için de ihtiyaç vardır. Hızlı nötron kaynaklı reaksiyon tesir kesiti verilerine olan ihtiyaç, pek çok uygulamalı alanda artmaktadır. Radyoizotop üretimi ve kanser tedavisi gibi biyomedikal uygulamalar, uzun ömürlü radyoaktif nükleer atıkların ikincil parçalanma nötronları tarafından kısa ömürlü veya kararlı izotoplara dönüşümü bu uygulama alanlarına örneklerdir (Goyal ve Gur, 2009).

(n,2n) tesir kesit bilgileri, perdeleme ve çoğalma hesaplamalarında gereklidir, çünkü fisyon nötron spektrumunun önemli bir kısmı, reaktör malzemelerinin çoğu için (n,2n) reaksiyon eşiğinin üzerinde yer alır. Ayrıca, hızlı nötron kaynaklı nükleer reaksiyon tesir kesit verilerinin uygulaması, biyomedikal uygulamalar, hızlandırıcı güdümlü dönüşüm, füzyon reaktörü teknolojisi için araştırma ve geliştirme ile ilgili malzeme ışınlama deneyleri üzerine yapılan çalışmalar günümüzde giderek artmaktadır (Saikhhanbayar ve ark. 2020).

Çoğu durumda, özellikle büyük hatalarla, nispeten sınırlı sayıda deneysel veri içeren sistematik ilişkilerin parametreleri tanımlanmıştır (Valkovic, 2016). Veri eksikliğine ve hem de bireysel değerlerde büyük farklılıklara rağmen, tesir kesitlerinde bazı kaba eğilimler fark edilebilir. (n,2n) tesir kesitlerinin çizimi, aşağıdaki kaba eğilimlerin oluşturulmasını sağlar:

- (1) $19 < A < 40$ kütle bölgesinde, tesir kesitler 50 mb'den 4-5 mb'ye düşer.
- (2) $A \approx 48$ 'de, tesir kesitleri hızla ≈ 1000 mb'ye yükselir ve en ağır çekirdekler için maksimum ≈ 2200 mb değerine kadar yavaş bir artış eğilimi gösterir.
- (3) $48 < A < 100$ bölgesinde güçlü yerel dalgalanmalar mevcuttur (Valkovic, 2016).

(n,2n) reaksiyon kesitlerindeki eğilimler birçok araştırmacı tarafından araştırılmış ve hem izotopik hem de izotonik ve ayrıca tek-çift etkiler gözlemlenmiştir (Qaim 1974; Holub ve Cindro 1976).

Lu ve Fink (1971) deneysel $\sigma(n,2n)$ değerlerinden ampirik denklemler geliştirdi. Bychkov ve ark. (1982), 14.5 MeV'de hedef çekirdeğin N ve Z'ye bağlı tesir kesitini elde etti.

$\sigma_{n,2n}$ için yarı ampirik ve ampirik formüller birçok araştırmacı tarafından verilmektedir, örneğin bakınız (Tel ve ark. 2008, Luo ve ark., 2008; Valković, 2016). Örneğin, Levkovskii'nin (1957) tesir kesitin bileşik çekirdek oluşumu tesir kesitine ve üstel olarak $(N-Z)/A$ 'ya bağlı bir faktöre çarpanlara ayrılabilceği fikrini takiben, Chatterjee ve Chatterjee (1969) (n,2n) tesir kesitleri için benzer şekilde çıkarılmış bir formül önerdi:

$$\sigma_{n,2n} \approx 45.2 (A^{1/3} + 1)^2 \exp [-2.60 (N-Z) / A] \text{ mb} \quad (2.13)$$

Bu formül, (n,2n) eşiğinin üzerinde 3 MeV fazla enerjideki tesir kesitleri için geçerlidir. Deneysel $\sigma_{n,2n}$ değerlerinden, Lu ve Fink (1971), en küçük kareler yöntemi ile elde edilen $(N-Z) / A$ 'nın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki ampirik denklemi verdiler:

$$\sigma_{n,2n} = 61.6 (A^{1/3} + 1)^2 [1 - 1.319 \exp(-8.744) (N-Z) / A] \text{ mb} \quad (2.14)$$

Bu denklem, en hafif kararlı izotoplar hariç olmak üzere, $\sigma_{n,2n}$ değerlerini yaklaşık \pm % 20 olarak yeniden tahmin eder. Genel olarak bu denklem, $Z=28$ 'den 82'ye kadar kararlı çekirdekler için 14.4 MeV enerjide (n,2n) tesir kesitlerinin tahmin edilmesi amacıyla kullanılabilir (Valkovic, 2016). Weizsacker formülü ile hedef çekirdekteki bir nötron S_n 'nin bağlanma enerjisini ifade ederek ve denge öncesi emisyon nötronlarının enerji dağılımının sabit olduğu varsayılarak, Bychkov ve ark (1982) 14.5 MeV enerjide $\sigma(n,2n)$ 'nin hedef çekirdeğin N ve Z 'sine aşağıdaki bağımlılığını elde etti.

$$\sigma_{n,2n} = \sigma_{n,M} [0.68 + (N-Z)/A - 5.2(\varepsilon/2 (N-Z)/A) - 1] \exp(-\varepsilon/2 (N-Z/A)) \text{ mb} \quad (2.15)$$

Burada $\sigma_{n,M} = \sigma_a [1 - \exp(-33(N-Z)/A)]$, ε Weizsacker formülünün bir parametresidir ve σ_a nötron soğurma tesir kesitidir. Bu denklem ampirik olarak elde edilebilen aşağıdaki forma indirgenebilir ve bu formül deneysel olarak da elde edilebilir (Valkovic,2016).

$$\sigma_{n,2n} = \sigma_a [1 - k \exp(-m (N-Z)/A)] \quad (2.16)$$

14-15 MeV enerjideki (n,2n) reaksiyonlar için ampirik formüller ve en uygun parametrelerin sonuçları ve R^2 değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge1 14-15 MeV'de (n,2n) reaksiyonlar için ampirik formüller ve en uygun

parametreler ve R² değerleri

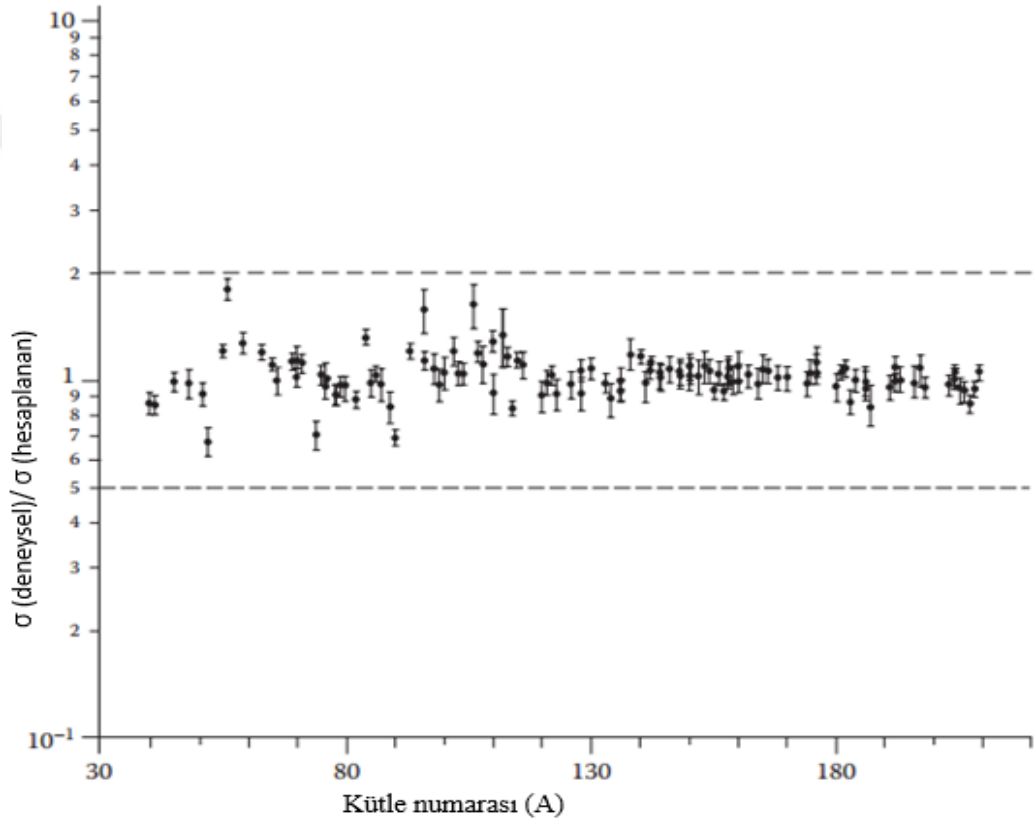
Yazar	Kütle Bölgesi	Formül, $\sigma(n,2n)$ mb	R ²
Adam veJeki	28≤A≤50	$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (A^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 s)]$	0.092
Konno ve ark.		$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 s)]$	
Bychkovve ark.	45≤A≤238	$\sigma_{n,2n} = \begin{cases} 1000 + 7.5A(7.8 s - 0.234) & \text{if } s \leq 0.13 \\ 1000 + 7.5A(0.65 + s) & \text{if } s > 0.13 \end{cases}$	0.145
Habbani ve Osman	48≤A≤238 çift-A	$\sigma_{n,2n} = 20.82(A^{1/3} + 1)^2 \exp[3.76(N - Z + 1) / A]$	0.130
	45≤A≤209 tek-A	$\sigma_{n,2n} = 23.53(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-3.5(N - Z) / A]$	0.102
Yiğit M (2020) Çalışma II	48 ≤ A ≤ 144 Q < -9.5 MeV	$\sigma_{n,2n} = 353.001 (A^{1/3} + 1)^2 \exp [0.247 Q]$	0.600
	1 ≤ A ≤ 209 Q > -9.5 MeV	$\sigma_{n,2n} = 178.605 (A^{1/3} + 1)^2 \exp [0.172 Q]$	0.370
Tel ve ark. (2008) Çalışma I	14≤A≤241	$\ln \sigma_{n,2n} = 7.43 [1 - 1.71 \exp(-24.99 s)]$	0.959
Tel ve ark. (2008) Çalışma II	14≤A≤241 çift-A	$\ln \sigma_{n,2n} = 7.15 [1 - 2.45 \exp(-31.62 s)]$	0.921
	14≤A≤241 tek-A	$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-23.06 s)]$	0.981

Nükleer veri değerlendirmesi için yeni bir kapsamlı kod, CCONE, aktinitlerin nükleer verilerinin değerlendirilmesi için geliştirildi. Uranyum izotopları için nötron kaynaklı reaksiyon tesir kesitleri (A = 232- 238) 10 keV ile 20 MeV arasındaki nötron gelme enerjileri için CCONE kullanılarak analiz edildi. Bazı reaksiyonlar için tesir kesiti hesaplamaları tekrarlanabilirliği, örneğin, toplam fisyon yakalama ve (n,2n) için basit parametreler test edildi. Hesaplanan tesir kesitleri ve nötron emisyon spektrumları deneysel veriler ile iyi bir uyum göstermektedir (Iwamoto, 2007).

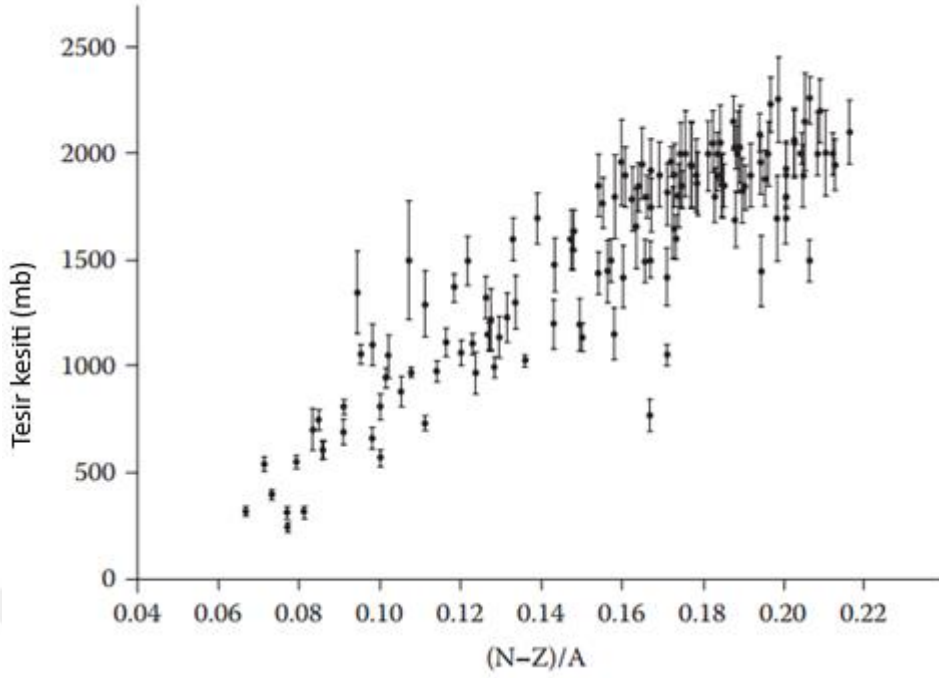
Konobeyev ve Korovin, denge öncesi ve buharlaşma modelleri kullanılarak 14.5 MeV enerjide (n,2n) reaksiyon kesitleri tahmini için yeni bir formül elde edildiğini bildirdiler (Konobeyev ve Korovin, 1999). Bu formül, yayınlandığı dönemde deneysel tesir kesiti verilerine daha yakın sonuçlar vermiştir ve tesir kesitlerinin izotopik bağımlılığını daha önceki araştırmacılar tarafından önerilen sistematikten daha iyi temsil etmiştir (Valkovic, 2016). Elde edilen formül, diğer sistematiklerden farklı olarak, farklı pariteye sahip çekirdekler için tesir kesiti değerlerindeki farkı hesaba katar. Şekil 6, Pashchenko (1990) tarafından deneysel veri analizinden elde edilen 126

tesir kesiti değerinin Konobayev ve Korovin (1999) tarafından hesaplanan tesir kesiti değerlerine oranını göstermektedir (Valkovic, 2016).

Şekil 7, deneysel verilerden elde edilen ^{40}Ar 'dan ^{209}Bi 'ye 126 çekirdek için asimetri parametresinin $(N-Z)/A$ bir fonksiyonu olarak 14.5 MeV enerjideki $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitlerinin sistematik temsiliğini gösterir (Konobayev ve Korovin, 1999; Pashchenko, 1990).



Şekil 6 Pashchenko (1990) tarafından deneysel verilerin analizinden elde edilen ve Konobayev ve Korovin (1999) tarafından formülle hesaplanan 126 tesir kesiti değerlerinin birbirine oranı (Valkovic, 2016)



Şekil 7 ^{40}Ar ' dan ^{209}Bi ' a kadar 126 çekirdek için 14.5 MeV enerjideki $(n,2n)$ reaksiyonu tesisir kesitlerinin şematik gösterimi (Konobeyev ve Korovin 1999)

Pearlstein (1965), enerjiye bağlı $(n,2n)$ reaksiyon tesisir kesitlerini inceledi:

$$\sigma_{n,2n}(E) = \sigma_{ne} \frac{\sigma_{n,M}}{\sigma_{ne}} \frac{\sigma_{n,2n}(E)}{\sigma_{n,M}} \quad (2.17)$$

Burada, E gelen nötron enerjisidir ve σ_{ne} elastik olmayan tesisir kesittidir. $\sigma_{n,M}$, (n,n') , $(n,2n)$, $(n,3n)$, vb.'nin tesisir kesitlerinin toplamıdır. Denklem (2.17)'de verilen $\sigma_{n,M} / \sigma_{ne}$ oranı ampirik olarak Barr ve ark. tarafından belirlendi (1961).

$$\frac{\sigma_{n,M}}{\sigma_{ne}} = 1 - 1.764 \exp[-18.14(N-Z)/A] \quad (2.18)$$

2.8. 14-15MeV Enerjili nötronlarda inelastik etkileşme tesisir kesitleri üzerine yapılan çalışmalar

Yarı saydam çekirdek modeline göre (Feshbach ve ark. 1953, 1954), Weiskopf (1956), inelastik etkileşimler için tesisir kesitinin σ_{in} çekirdeğin yarıçapına bağlılığı birkaç milyon elektron volt enerjili nötronlar için daha yüksek enerjilerde maksimum ve minimumun daha az belirgin olması gerekir (Nemirovsky, 1955). 14 MeV enerjili

nötronların inelastik etkileşimlerinde tesir kesitinin nükleer yarıçapın bir fonksiyonu olacağı beklenir. Deneilerin çoğunda, 14 MeV enerjili nötronların madde ile esnek olmayan etkileşimi için tesir kesitleri az sayıda element için ölçülmüştür. Gittings ve ark. (1949), Gravese ve ark. (1955); Strizhak, Pasechnik (1955) daha eksiksiz fakat zayıf doğrulukta ve diğer araştırmacıların sonuçlarından sistematik sapma ile veriler elde etti.

Gittingh ve ark. (1949), Phillips ve ark. (1952), Pasechnik (1955) tarafından değişken eşikli bir detektör kullanılarak 24 element için tesir kesiti ölçüldü (Flerov ve Talyzin, 1956). 14 MeV enerjili nötronların madde ile elastik ve inelastik etkileşimlerinde iki farklı enerji spektrumu bulunduğu bilindiği için (Whitmore ve Dennis, 1951; Graves ve Rosen, 1953; Ste~on ve ark., 1951; Whitmore, 1953) bunlarda dedektör yalnızca birincil ve elastik nötron saçılımını kaydeder.

Çizelge 2’de 14.5 Mev nötronların elastik olmayan etkileşimleri için tesir kesitleri araştırmacılar tarafından ölçüldüğü gibi gösterilmiştir

Çizelge2 Bazı araştırmacılar tarafından ölçölen 14.5 MeV enerjili nötronların inelastik tesir kesitleri

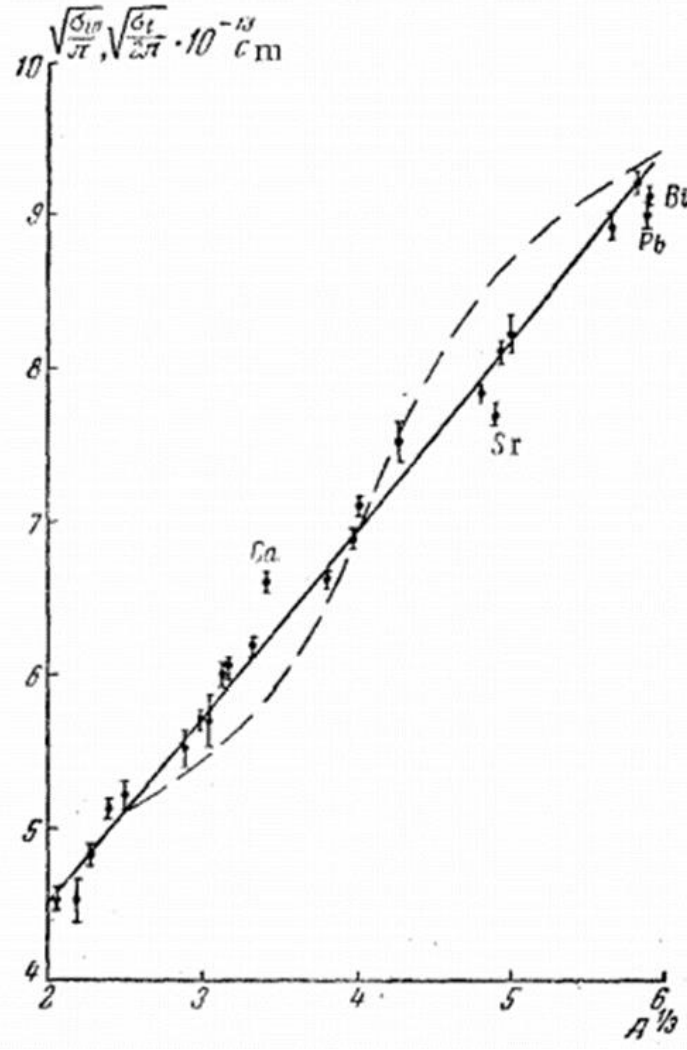
Element	14.5 MeV enerjili nötronlarda inelastik etkileşim tesir kesitleri (b)			
	Flerov ve Talyzin	Philips ve ark.	Graves ve Davis	Strizhak
Be	0.64 ± 0.02			
B	0.64 ± 0.04	0.09 ± 0.10		
C	0.73 ± 0.02	0.76 ± 0.04	0.601±0.006	0.63± 0.05
N	0.82 ± 0.02	0.79 ± 0.05		
O	0.85 ± 0.03			
Mg	0.85 ± 0.04			1.08 ± 0.09
Al	1.02 ± 0.02	1.06 ± 0.05	1.00 ± 0.05	1.13 ± 0.07
Si	1.02 ± 0.06			
P	1.13 ± 0.03			
S	1.15 ± 0.03			
KCl	1.20 ± 0.03			
Ca	1.36 ± 0.02			
Fe	1.38 ± 0.02	1.45 ± 0.02	1.27 ± 0.02	1.29 ± 0.07
Cu	1.48 ± 0.02	1.51 ± 0.06	1.42 ± 0.04	1.35 ± 0.05
Zn	1.58 ± 0.02		1.46 ± 0.03	1.37 ± 0.07
Se	1.77 ± 0.03			1.40 ± 0.23
Cd	1.92 ± 0.03	1.89 ± 0.06	1.95 ± 0.05	1.83 ± 0.13
Sn	1.85 ± 0.02		1.96 ± 0.05	1.81 ± 0.13
Sb	2.06 ± 0.04			1.90 ± 0.16
I	2.11 ± 0.06			1.88 ± 0.16
W	2.48 ± 0.03			2.35 ± 0.14
Hg	2.65 ± 0.04			
Pb	2.54 ± 0.05	2.56 ± 0.05	2.49 ± 0.05	2.42 ± 0.09
Bi	2.59 ± 0.03	2.56 ± 0.05	2.53 ± 0.05	2.44 ± 0.13

Çizelge 2'den görölebileceği gibi, mevcut sonuçlar, Phillips ve arkadaşlarının (1952) çalışması ile Graves ve Davis (1955) çalışması iyi bir uyum içindedir; daha düşük doğrulukta Strizhak tarafından elde edilen sonuçlar mevcut sonuçlarla çelişmez. Mevcut çalışmada nötronların çekirdeklerle inelastik etkileşimlerinin tesir kesiti ölçölen neredeyse tüm elementlerin kütle numaralarının bir fonksiyonudur ve

$$\sqrt{\frac{\sigma_{in}}{\pi}} = (1.2A^{1/3} + 2.1)10^{-13}(\text{cm}) \quad (2.19)$$

formölüyle verilir.

14 MeV enerjili nötronlar için toplam tesir kesiti, kütle numarasına farklı bir bağımlılık gösterir. Şekil 8'de gösterilen kesikli eğri, Coon ve arkadaşları (1952) tarafından elde edilen toplam tesir kesitin deneysel değerlerine dayanmaktadır; bu eğri düz bir çizgiye yaklaştırılmaz. Tesir kesitinin doğrusal bir bağımlılık göstereceği zayıf bir olasılıktır.



Şekil 8 Toplam tesir kesitinin σ_t ve inelastik tesir kesitinin σ_{in} kütle numarasına bağlılığı (Flerov ve Talyzin, 1957)

Flerov ve Talyzin, σ_{tot} toplam tesir kesitinin 14-15 MeV enerjili nötronlar için oldukça farklı bir atom ağırlığı fonksiyonu olduğunu buldular (Phillips ve ark., 1952). Flerov ve Talyzin, sihirli çekirdekleri ihmal ederek, σ_t toplam tesir kesitinin 14-15 MeV nötronlar için literatürdeki yapılan çalışmalardan farklı bir biçimdeki ifadesini elde ettiler. Flerov ve Talyzin'in (1957) ampirik σ_{ne} elastik olmayan tesir kesiti şu şekilde ifade edilmiştir (barn olarak):

$$\sigma_{ne} = \pi(0.12A^{1/3} + 0.21)^2 \quad (2.20)$$

14-15 MeV'de (n,x) tesir kesitlerini hesaplayabilmek için çok sayıda ampirik formül

mevcuttur ve aralarında Levskovskii tarafından önerilenler en yaygın kullanılanlardır (Levskovskii 1964; 1969). Levskovskii'nin formülleri, (n,x) tesir kesitini veren bir ifade ile geniş bir kütle numarası aralığını kapsar. Levskovskii'ye göre, hızlı nötronların neden olduğu reaksiyonların tesir kesitleri yaklaşık olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\sigma(n,x) = \sigma_c \exp[as], \quad \sigma(n,x) = C \sigma_{ne} \exp[as] \quad (2.21)$$

Burada σ_{ne} elastik olmayan tesir kesitidir, σ_c bileşik çekirdek tesir kesitidir, s asimetri parametresidir, C ve a katsayıları ise en küçük kareler fit metodu ile belirlenen fit parametreleridir. Üstel terim, reaksiyonda meydana gelen ürün parçacığının bileşik çekirdekten kaçışını temsil eder. Denklem (2.21)'de verilen tesir kesiti formülü büyük ölçüde asimetri parametresine bağlıdır ($s = (N-Z)/A$). σ_{ne} hesabı etkileşim kesiti ile ilişkilidir ve etkileşim kesiti (σ_{int}) aşağıda verildiği gibi geometrik tesir kesiti ile hesaplanabilir,

$$\sigma_{int} = \pi [R_{mermi} + R_{hedef}]^2 \quad (2.22)$$

R_{mermi} ve R_{hedef} , sırasıyla mermi ve hedefin çekirdek yarıçaplarıdır. Nötron için elastik olmayan tesir kesiti şu şekilde verilir:

$$\sigma_{ne} \propto \pi R^2, \quad \sigma_{ne} = \pi r_0^2 (A^{1/3} + 1)^2 \quad (2.23)$$

Burada, R nükleer yarıçap ve $r_0 = 1.2 \times 10^{-13}$ cm'dir.

Elastik olmayan nötron tesir kesitleri, MeV aralığındaki birçok nüklid için kapsamlı bir şekilde ölçülmüştür ve bu, onların atomik kütle ile varyasyonlarını bulmamızı sağlar. Bir bileşik çekirdeğin oluşumunun tesir kesiti, hedef çekirdeklerin geometrik tesir kesitine bağlı olması beklenen elastik olmayan tesir kesitine (σ_{ne}) neredeyse eşittir. Yani bileşik çekirdeğin oluşum tesir kesiti hemen hemen şu şekilde yazılır:

$$\sigma_c = C \cdot \sigma_{ne}, \quad \sigma_c \propto (A^{1/3} + 1)^2 \quad (2.24)$$

Burada A, hedef çekirdeğin kütle numarasıdır.

Ölçülen hemen hemen tüm elementlerde nötronların çekirdeklerle elastik olmayan etkileşimlerinin tesir kesiti, atom ağırlığının bir fonksiyonudur. Kuantum-mekanik saçılma teorisine göre, elastik olmayan tesir kesiti şu şekilde ifade edilir:

$$\sigma_{ne} = \pi (R + \lambda)^2 \quad (2.25)$$

Burada λ , indirgenmiş dalgaboyudur. Hedef çekirdeğin yarıçapı (2.25) denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki formül yazılabilir.

$$\sqrt{\frac{\sigma_{ne}}{\pi}} = \left(1.2 A^{\frac{1}{3}} + \lambda\right) \quad (2.26)$$

İndirgenmiş dalga boyu aşağıdaki gibi verilir

$$\lambda = \frac{\hbar c}{\sqrt{2mc^2 E}} \quad (2.27)$$

Burada E ve m sırasıyla gelen nötronun enerjisini ve kütesini temsil eder. c ışık hızıdır, \hbar indirgenmiş Planck sabitidir. 14 MeV nötron geliş enerjisi için Denk. (2.27), λ indirgenmiş dalga boyu 1.2fm'dir ($\lambda= 1.2$) ve bu değer çekirdek yarıçap katsayısı olarak bilinen r_0 'a eşittir. Denk. (2.26)'deki indirgenmiş dalga boyu için $r_0= 1.2$ fm değeri alındığında ve Denk. (2.25) yeniden düzenlendiğinde elastik olmayan tesir kesiti ifadesi aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$$\sigma_{ne} = \pi r_0^2 (A^{\frac{1}{3}} + 1)^2 \quad (2.28)$$

Bu denklem (2.23) ile verilen elastik olmayan tesir kesiti ifadesi ile aynıdır.

Bu tez çalışmasında saçılma teorisini kullanarak 14-15 MeV enerjili nötronlarda elastik olmayan reaksiyon için (n,2n) tesir kesitleri için yeni bir ampirik formül geliştirildi. Hesaplamalarda Flerov ve Talyzin ifadesi kullanılmış ve elde edilen yeni

ampirik formüllerin deneysel verilerle daha iyi uyum gösterdiği görülmüştür. Bu çalışmada 14-15 MeV enerjili nötronların (n,2n) reaksiyon tesir kesitleri için bu yeni formülü öneriyoruz. Flerov ve Talyzin'in elastik olmayan teriminden elde edilen bu formül,

$$\sigma_{n,2n} = C.(0.12A^{1/3}+0.21)^2 s^{1.7} \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

Elde edilen 14-15 MeV nötronlar için (mb cinsinden) yeni ampirik (n,2n) reaksiyon kesiti formülü aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_{n,2n} = 37112 (0.12A^{1/3}+0.21)^2 s^{1.7} \quad (2.29)$$

2.9 SCAT-2:

Nükleer hesaplama paket programı, küresel bir çekirdeğin optik modelinden toplam tesir kesitleri, elastik saçılma kesitlerini ve bunların açısız dağılımlarını ve iletim katsayılarını hesaplamak için hızlı, kullanımı kolay bir program olarak tasarlanmıştır. Hesaplama aşağıdaki parçacıklardan biri için belirli bir enerji setinde gerçekleştirilir: nötron, proton, döteron, triton, helyum-3, helyum-4, veya alfa, ağır iyonlar. Nükleer potansiyel şu terimleri içerir: Coulomb, gerçek hacim Woods-Saxon potansiyeli, hayali yüzey Woods- Saxon veya Gauss potansiyeli, hayali hacim Woods- Saxon potansiyeli ve spin-yörünge potansiyeli. Schrödinger denkleminin kısmi dalga açılımı, Cowell'in yöntemi kullanılarak sayısal olarak entegre edilir (Bersillion, 1981)

2.9.1 Giriş ve Çıktı Dosyaları

SCAT2 kodu iki giriş dosyası ve dört çıktı dosyası kullanır.

Giriş dosyaları

Giriş dosyası aşağıdaki beş dosyanın adlarını içerir.

1. Veri giriş dosyası,
2. Çıktı(listeleme) dosyası,
3. Geçiş katsayıları dosyası,
4. Geçici dosya,
5. Özetleme dosyası.

PC versiyonunda ilk dosyanın adı SCAT.DAT'dır.

Çıktı dosyaları

SCAT2 kodu aşağıdaki dört çıktı dosyasını oluşturur

1. Tüm sonuçları içeren çıktı dosyası,
2. GNASH veya STARPE formatında geçiş katsayıları dosyası,
3. Geçiş katsayıları dosyasını biçimlendirmek için kullanılan geçici dosya,
4. Heaplanan tesir kesitlerini, açısal dağılımları ve polarizasyonları içeren özet dosyası.

2.9.2 Örnek giriş dosyası

Kütle numarası $A=150$, Atom numarası $Z=60$ olan elementin SCAT2 bilgisayar kodu ile hesaplanmış şekil elastik, bileşik çekirdek ve toplam tesir kesitlerinin değerleri

```
1
 14.5
60 150
1 1
1
```

Burada 14.5 nötron enerjisini, 60 hedef çekirdeğin atom numarasını , 150 hedef çekirdeğin kütle numarasını temsil eder. Diğer parametreler SCAT2 kodu parametreleridir.

2.9.3 Örnek çıktı dosyası

```
PROJECTILE A= 1. Z= 0.    TARGET A= 150. Z= 60.
```

```
ENERGY SIGMA-CN  0    1    2    3    4    5    6    7    8
9    10
```

```
14.5000  2144.25  0.738712  0.668713  0.730635  0.746386  0.669440  0.884576
0.630073  0.475899  0.245833  0.026441  0.002238
ENERGY          11    12    13
```

```
14.5000          0.000244  0.000029  0.000004
```

```
TRANSMISSION COEFFICIENTS CALCULATED FROM THE FOLLOWING OPTICAL MODEL
PARAMETERS
```

```
*****
*****
```

	CHARGE	MASS
PROJECTILE	0.0	1.008665E+00
TARGET	63.0	1.510000E+02

PARAMETER SET : WILM.HODGS

STRENGTH	RADIUS			DIFFUSENESS		
	E	E*E	E*E*E	LN(E)	SR(E)	E

REAL	47.0100	-0.2670	-0.0012	0.0000	0.0000	0.0000
1.2709	0.0000	0.6600	0.0000			
IMAG.SURF1	9.5200	-0.0530	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.2420	0.0000	0.4800	0.0000			
IMAG.VOL.	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
SPIN ORBIT	7.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.2709	0.0000	0.6600	0.0000			
IMAG.SURF2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			

COUL.RAD. 0.0000 SECOND SURFACE IMAGINARY POTENTIAL
 ABOVE 1000.000 MEV BETA = 0.0000
 K = 8.3374E-01 ETA = 0.0000E+00 RM = 1.7081E+01 DR = 8.5407E-02
 200 POINTS LMAX = 18

POTENTIAL	STRENGTH	RADIUS	DIFFUSENESS	VOLUME INTEG.
REAL VOL.	42.8612	6.7676	0.6600	403.13
IMAG.SURF.	8.7464	6.6135	0.4800	62.19
IMAG.VOL.	0.0000	0.0000	1.0000	0.00
SPIN ORBIT	7.0000	6.7676	0.6600	0.00
COULOMB	0.0000			

14.5000 MEV CM COMPOUND NUCLEUS CROSS SECTION 2.1501540E+03
 14.5969 MEV LAB SHAPE ELASTIC CROSS SECTION 3.0346570E+03
 TOTAL CROSS SECTION 5.1848110E+03 MB

3. MATERYAL VE METOD

14-15 MeV enerjili nötronlar ile oluşturulan (n,2n) reaksiyonlarının tesir kesitlerini farklı değişkenlere göre fit işlemi uygulanarak yeni yarı-ampirik formüller elde edilmiştir. Bu değişkenler;

- Z, Proton sayısı
- N, Nötron sayısı
- A, Kütle numarası
- Asimetri
- Simetri

olarak alınmış ve lineer, logaritmik, üstel, eksponansiyel, polinomal fonksiyonlara göre fit işlemi uygulanmıştır. Uygulanan fit prosedürlerinin R² korelasyon katsayıları hesaplanarak herbir değişkenin fit fonksiyonları açısından değişimi incelenmiştir. Bu sayede en iyi fit fonksiyonları belirlenmiştir. Bu ve benzeri çalışmalar daha önce birçok yazar tarafından geliştirilmiştir ve bu çalışmalar Çizelge 3'te listelenmiştir.

Çizelge3 14-15 MeV enerjide (n,2n) reaksiyonları için ampirik formüller.

Yazar	Kütlebölgesi	(n,2n) Formül (mb cinsinden)
Adam veJeki (1969)	28 ≤ A ≤ 50	$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061(A^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 s)]$
Bychkovve ark. (1982)	45 ≤ A ≤ 238	$\sigma_{n,2n} = \begin{cases} 1000 + 7.5A(7.8 s - 0.234) & \text{if } s \leq 0.13 \\ 1000 + 7.5A(0.65 + s) & \text{if } s > 0.13 \end{cases}$
Konno ve ark. (1993)		$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 s)]$
Habbani ve Osman (2001).	48 ≤ A ≤ 238, çift-A 45 ≤ A ≤ 209, tek-A	$\sigma_{n,2n} = 20.82(A^{1/3} + 1)^2 \exp[3.76(N - Z + 1) / A]$ $\sigma_{n,2n} = 23.53(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-3.5(N - Z) / A]$
Tel ve ark. (2008) I	14 ≤ A ≤ 241	$\ln \sigma_{n,2n} = 7.43 [1 - 1.71 \exp(-24.99 s)]$
Tel ve ark. (2008) II	14 ≤ A ≤ 241 çift-A 14 ≤ A ≤ 241, tek-A	$\ln \sigma_{n,2n} = 7.15 [1 - 2.45 \exp(-31.62 s)]$ $\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-23.06 s)]$
Yiğit (2020) Çalışma II	48 ≤ A ≤ 144, Q < -9.5 MeV 1 ≤ A ≤ 209, Q > -9.5 MeV	$\sigma_{n,2n} = 353.001 (A^{1/3} + 1)^2 \exp [0.247 Q]$ $\sigma_{n,2n} = 178.605 (A^{1/3} + 1)^2 \exp [0.172 Q]$
Bu Çalışma (Tel ve ark. (2023))	14 ≤ A ≤ 241	$\sigma_{n,2n} = 37112 (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 s^{1.7}$

Çizelge 4 Deneysel tesir kesiti verilerinin bu çalışmadaki ve önceden yapılan bazı çalışmalardaki verilerle karşılaştırılması

A	Z	N	Deneysel $\sigma_{(n, 2n)}$ (mb)	Deneysel $\sigma_{(n, 2n)}$ Hata (mb)	Bu Çalışma (mb)	Tel ve ark. Çalışma (2008) (mb)	Adam ve Jeki (1969) (mb)	Bychkov ve ark. (1982) (mb)
14	7	7	8.2	---	0	0.00	---	----
19	9	10	41.59	1.7	69.91	55.69	---	----
23	11	12	21.1	2.2	54.61	23.18	---	----
27	13	14	10.7	4.2	44.46	10.97	---	----
31	15	16	10.5	---	37.28	5.79	424.85	----
35	17	18	7.31	0.48	31.96	3.35	265.79	----
45	21	24	111.1	5.9	150.73	152.73	586.39	1096.53
46	22	24	8.77	0.48	73.60	23.18	242.81	1036.27
48	20	28	850	35	736.66	1383.94	1409.45	1294
50	24	26	13	1	66.32	15.71	104.97	1029.25
50	23	27	258	39	215.46	301.61	671.11	1146.25
52	24	28	330.3	17	205.18	262.86	---	1142.74
54	26	28	460	40	60.25	10.97	---	1022.23
55	25	30	690	25	279.61	454.76	---	1195.98
56	26	30	454	35	187.10	199.95	---	1135.72
58	28	30	236	5	55.13	7.87	---	1015.21
59	27	32	662	10	256.27	365.62	---	1188.96
59	28	31	26.33	2.1	107.54	47.67	---	1071.96
60	28	32	104	25	171.75	152.73	---	1128.7
63	29	34	442	8	236.27	293.43	---	1181.94
64	28	36	958	64	515.18	963.98	---	1355.68
65	29	36	875	59	402.76	712.38	---	1295.43
71	31	40	700	100	553.73	987.45	---	1401.9
75	33	42	1016	102	517.63	894.87	---	1394.88
76	32	44	1200	240	830.52	1318.61	---	1460.5
76	34	42	833	77	416.86	674.99	---	1334.62
79	35	44	741	74	485.64	806.60	---	1387.86
79	35	44	835	63	485.64	806.60	---	1387.86
81	35	46	1128	113	662.46	1100.26	---	1477.38
84	38	46	594	57	368.73	520.15	---	1320.58
85	37	48	892	89	624.50	1021.90	---	1494.33
86	38	48	270	50	523.55	841.32	---	1434.07
86	38	48	946	90	523.55	841.32	---	1434.07
87	37	50	995	99	806.35	1244.42	---	1521.63
88	38	50	283	23	694.00	1106.82	---	1519
88	38	50	1003	138	694.00	1106.82	---	1519
89	39	50	1029	55	590.38	944.92	---	1487.31
89	39	50	1060	60	590.38	944.92	---	1487.31
90	40	50	847	40	495.26	764.45	---	1427.05

92	42	50	217	18	329.95	396.92	---	1306.54
93	41	52	484	50	559.54	870.32	---	1480.29
93	41	52	1279	88	559.54	870.32	---	1480.29
93	41	52	1562	212	559.54	870.32	---	1480.29
103	45	58	1427	79	656.44	980.21	---	1579.74
106	48	58	975	88	405.84	506.45	---	1398.97
108	48	60	865	100	540.90	764.45	---	1512.46
109	47	62	770	100	781.65	1121.25	---	1643.88
109	47	62	1469	205	781.65	1121.25	---	1643.88
110	48	62	1221	150	687.50	994.19	---	1625.95
113	49	64	1188	69	748.27	1063.59	---	1663.38
113	49	64	1491	86	748.27	1063.59	---	1663.38
115	49	66	1805	218	906.24	1229.11	---	1688.13
128	52	76	1661	161	1431.13	1499.32	---	1804
130	52	78	1455	55	1609.39	1547.23	---	1828.75
133	55	78	1542	75	1271.20	1424.09	---	1820.88
133	55	78	1550	250	1271.20	1424.09	---	1820.88
134	56	78	728	40	1168.10	1366.54	---	1818.25
134	56	78	1151	98	1168.10	1366.54	---	1818.25
136	56	80	1053	36	1330.40	1444.57	---	1843
136	56	80	1382	86	1330.40	1444.57	---	1843
138	56	82	1250	100	1497.80	1503.26	---	1867.75
138	56	82	1539	144	1497.80	1503.26	---	1867.75
142	60	82	1291	80	1089.46	1293.93	---	1857.25
144	62	82	1254	88	911.07	1135.67	---	1852
150	60	90	1679	118	1728.39	1547.23	---	1956.25
151	63	88	1760	210	1257.70	1376.33	---	1923.63
169	69	100	1811	111	1584.53	1480.63	---	2056.38
169	69	100	2010	85	1584.53	1480.63	---	2056.38
175	71	104	1789	76	1690.38	1503.97	---	2100.63
175	71	104	1984	115	1690.38	1503.97	---	2100.63
181	73	108	2122	115	1794.66	1523.50	---	2144.88
186	67	119	2100	210	3405.54	1666.13	---	2296.75
191	77	114	1995	100	1850.22	1524.83	---	2208.63
191	77	114	2077	135	1850.22	1524.83	---	2208.63
196	80	116	1617	160	1712.62	1481.79	---	2225.5
197	79	118	2064	125	1950.43	1540.34	---	2252.88
198	80	118	885	80	1854.99	1517.81	---	2250.25
200	80	120	880	60	2000.00	1547.23	---	2275
203	81	122	1950	200	2049.22	1553.62	---	2297.13
203	81	122	2090	89	2049.22	1553.62	---	2297.13
204	80	124	2077	166	2297.17	1590.87	---	2324.5
204	82	122	2054	45	1953.56	1533.62	---	2294.5
205	81	124	664	53	2196.35	1576.21	---	2321.88
206	82	124	438	62	2098.09	1559.55	---	2319.25
207	82	125	1220.058	147.52	2171.21	1570.72	---	2331.63
208	82	126	2380	140	2244.89	1580.84	---	2344

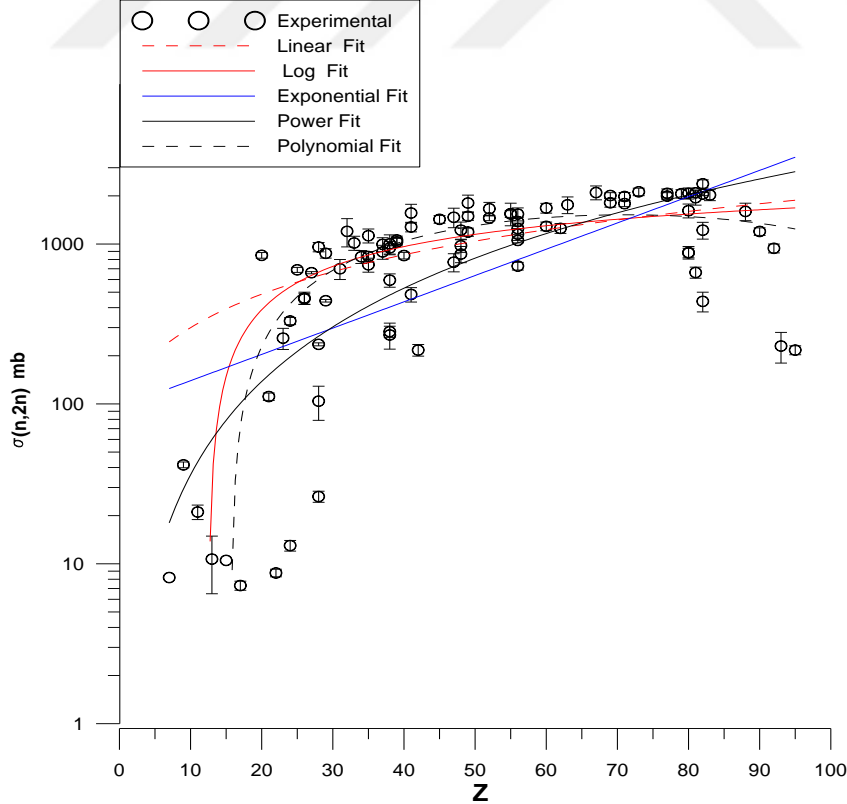
209	83	126	2027	160	2146.61	1565.07	---	2341.38
226	88	138	1600	200	2528.75	1602.87	---	2476.75
232	90	142	1198	65	2620.70	1608.53	---	2521
237	93	144	230	50	2472.56	1589.72	---	2537.88
238	92	146	940	60	2711.37	1613.55	---	2565.25
241	95	146	217	14	2424.21	1581.04	---	----

3.1. Reaksiyon Tesir Kesitleri İçin Yarı Ampirik Formüllerin Geliştirilmesi

Fit prosedürü için EXFOR'dan alınan farklı çekirdeklerin 92 adet deneysel verisi $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitleri kullanılmıştır. Nüklitlerin kütle numarası $A=19-241$, atom numarası $Z=9-95$ ve nötron numarası $N=10-146$ arasında değişmektedir.

3.1.1. Proton sayısına göre fit işlemi

Şekil 9'da fit işlemi uygulanan grafik görülmektedir. Bu fit işlemi sonucunda elde edilen yarı-ampirik denklemler ise Çizelge 5'de verilmiştir.



Şekil 9 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n)$ ve proton sayısı arasındaki ilişki

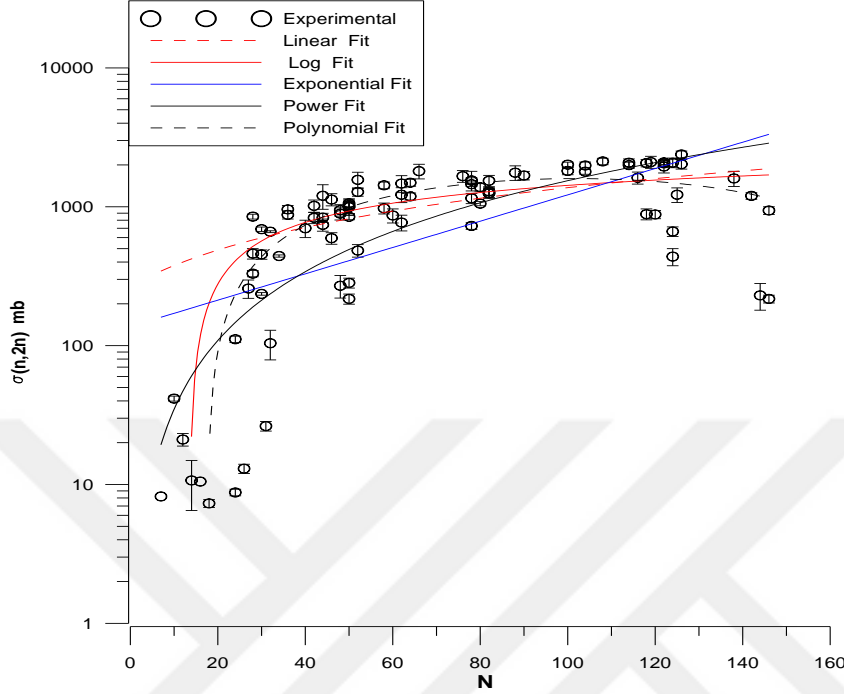
Çizelge5 $\sigma(n,2n)$ ve Proton Sayısı Z arasındaki korelasyon için fit sonuçları

Fit Metodları	Formüller	R ²
Lineer	$\sigma_{n,2n} = 18.57184998 Z + 114.200651$	0.424
	$\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 0.2695796444 Z + 15.02666229$	0.165
	$\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 5.184785027 Z + 237.7318124$	0.196
Log	$\sigma_{n,2n} = 831.024016 \ln(Z) - 2101.509121$	0.489
	$\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 14.55339566 \ln(Z) - 26.54233981$	0.278
	$\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 270.9476926 \ln(Z) - 527.9347009$	0.309
Exp	$\sigma_{n,2n} = 95.67026944 \exp(0.03786473775 Z)$	0.363
	$\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 5.885993015 \exp(0.02401747183 Z)$	0.205
	$\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 93.27714085 \exp(0.02568145602 Z)$	0.224
Üstel	$\sigma_{n,2n} = 0.4142793123 Z^{1.939140418}$	0.550
	$\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 0.1225494083 Z^{1.341166678}$	0.369
	$\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 1.59422549 Z^{1.41531938}$	0.393
Poly	$\sigma_{n,2n} = -982.3981067 + 70.41951128 Z - 0.4947833577 Z^2$	0.571
	$\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 [-21.5740795 + 2.000078471 Z - 0.01651418788 Z^2]$	0.470
	$\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 [-393.1489408 + 35.0130986 Z - 0.2846522442 Z^2]$	0.486

Çizelge 5' te 14-15 MeV 'de $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitlerinin Z atom numarasına göre fit işlemi sonucunda elde edilen yarı ampirik formüller ve R^2 değerleri görülmektedir. Her bir fit metoduyla elde edilen R^2 değerlerinin 1. satırında herhangi bir fiziksel değişken olmaksızın elde edilen fit değerleri mevcuttur. 2. satırda $(A^{1/3}+1)^2$ terimine göre, 3. satırda $\pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2$ terimine göre elde edilen R^2 değerleri görülmektedir. 2. ve 3. satırlardaki R^2 değerleri karşılaştırıldığında sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu $\pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2$ terimi ile elde edilen sonuçların biraz daha yüksek çıktığı görülmektedir. 1. satırdaki R^2 değerleri herhangi bir fiziksel değişken olmaksızın elde edildiği için 2. ve 3. satırdaki R^2 değerleriyle bir karşılaştırma yapılmamıştır. Ayrıca polinom fit metoduyla elde edilen sonuçların diğer fit metodlarına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

3.1.2 Nötron sayısına göre fit işlemi

Şekil 10’da fit işlemi uygulanan grafik görülmektedir. Bu fit işlemi sonucunda elde edilen yarı ampirik formüller çizelge 5’de verilmiştir



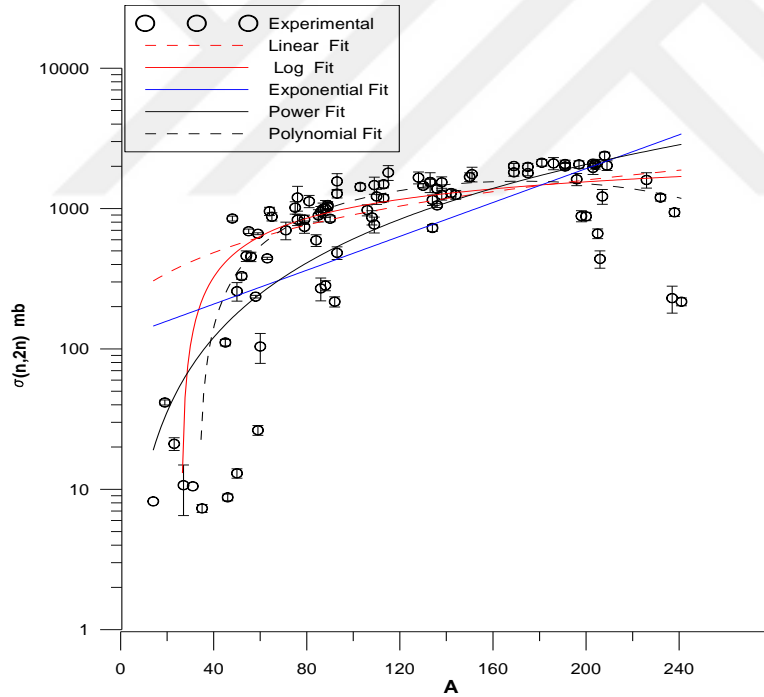
Şekil 10 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n)$ ve nötron sayısı arasındaki ilişki
Çizelge 6 $\sigma(n,2n)$ ve Nötron sayısı N arasındaki korelasyon için fit sonuçları.

Fit Metodları	Formüller	R ²
Linear	$\sigma_{n,2n} = 11.06428055 N + 266.8504466$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 \cdot 0.1569252381 N + 17.49853169$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 \cdot 3.02969528 N + 284.4670176$	0.418 0.156 0.186
Log	$\sigma_{n,2n} = 713.7499284 \cdot \ln(N) - 1860.727431$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 \cdot 12.62469156 \cdot \ln(N) - 22.83341984$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 \cdot 234.5559991 \cdot \ln(N) - 456.9185885$	0.517 0.300 0.331
Exp	$\sigma_{n,2n} = 137.4541873 \exp(0.02182331561 N)$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 \cdot 7.500990712 \exp(0.01366145105 N)$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 \cdot 120.647606 \exp(0.01463608429 N)$	0.336 0.184 0.203
Üstel	$\sigma_{n,2n} = 0.7848129858 N^{1.646509788}$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 \cdot 0.1852704185 N^{1.145814839}$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 \cdot 2.480394255 N^{1.207719343}$	0.568 0.385 0.410
Poly	$\sigma_{n,2n} = -735.0673181 + 45.8118902 N - 0.2251237669 N^2$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 [-13.45019387 + 1.230261067 N - 0.006953957624 N^2]$ $\sigma_{n,2n} = \pi(0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 [-252.773575 + 21.66178971 N - 0.1207141246 N^2]$	0.623 0.519 0.537

Çizelge 6'ya baktığımızda 14-15 MeV nötron enerjisinde (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin nötron sayısına göre fit işlemi sonucunda elde edilen yarı ampirik formüller ve R^2 değerleri görülmektedir. Fit işlemleri sonucunda $(A^{1/3}+1)^2$ ve $\pi(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ terimleri kullanılarak elde edilen R^2 değerleri karşılaştırıldığında $\pi(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ile elde edilen sonuçların $(A^{1/3}+1)^2$ ile elde edilen sonuçlardan daha yüksek çıktığı görülmektedir. Fit metodlarından elde edilen sonuçlara göre en düşük lineer fit metoduyla ölçülmüştür en yüksek değerler ise polinom fit metoduyla ölçülmüştür. Fit metodlarının 1. satırındaki R^2 değerleri için bir değerlendirme yapılmamıştır.

3.1.3. Kütle numarasına göre fit işlemi

Şekil 11'te fit işlemi uygulanan grafik görülmektedir. Bu fit işlemi sonucunda elde edilen yarı ampirik formüller çizelge 7'de verilmiştir



Şekil 11 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n)$ ve kütle numarası arasındaki ilişki

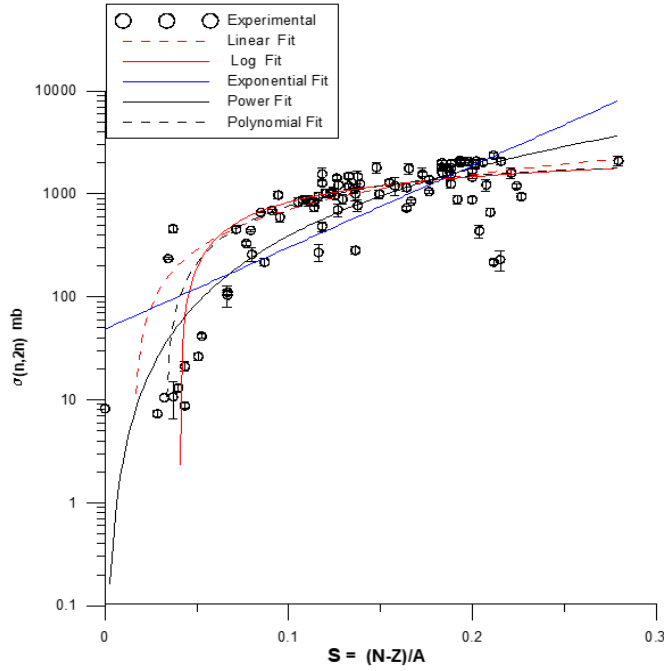
Çizelge 7. $\sigma(n,2n)$ ve Kütle Numarası A arasındaki korelasyon için fit sonuçları

Fit	Formüller	R ²
Lineer	$\sigma_{n,2n} = 6.951463687A + 207.7254468$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 0.09946360563 A + 16.5560768$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 1.91750145 A + 266.6059833$	0.421472 0.159955 0.190449
Log	$\sigma_{n,2n} = 761.7504614\ln(A)-2484.674779$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 13.40164919.\ln(A)-33.53650513$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 249.250051.\ln(A)-656.969491$	0.506763 0.290770 0.322212
Exp	$\sigma_{n,2n} = 119.8114785 \exp (0.01388507655 A)$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 6.846629118 \exp (0.008736378982A)$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 109.4990176 \exp (0.00935267289 A)$	0.347029 0.192611 0.211396
Üstel	$\sigma_{n,2n} = 0.1814440823 A^{1.762679066}$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 0.06805131407 A^{1.222851427}$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 0.8601335999 A^{1.289657693}$	0.559988 0.377858 0.402473
Poly	$\sigma_{n,2n} = -848.2844554 + 28.02538704 A - 0.08131875893 A^2$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3}+1)^2 [-16.96312569 + 0.7683788333 A - 0.002581168928 A^2]$ $\sigma_{n,2n} = \pi(0.12A^{1/3} + 0.21)^2[-313.786727+13.49992266A- 0.0446935344 A^2]$	0.605259 0.503214 0.520146

Çizelge 7’de 14-15 MeV nötron enerjisinde (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin kütle numarası A ’ya göre fit işlemi sonucunda elde edilen yarı ampirik formüller ve R^2 değerleri görülmektedir. Çizelgeyi incelediğimizde $\pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2$ ile elde edilen sonuçların R^2 değerleri ile $A^{1/3} + 0.21)^2$ ile elde edilen sonuçların R^2 değerlerinin birbiriyle uyumlu olduğu ve $\pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2$ ile elde edilen sonuçların $A^{1/3} + 0.21)^2$ ile elde edilen sonuçlardan daha yüksek çıktığı görülmektedir. Polinom fit metoduyla elde edilen sonuçlar diğer fit metodlarına göre elde edilen sonuçlardan daha yüksektir. Fit sonuçlarına göre üstel kuvvet fit metodu sonuçları polinom fit metodu sonuçlarına diğer fit metodlarına göre daha yakın çıkmıştır.

3.1.4 Asimetri parametresine göre fit işlemi

Şekil 12’de fit işlemi uygulanan grafik görülmektedir. Bu fit işlemi sonucunda elde edilen yarı ampirik formüller çizelge 8’de verilmiştir.



Şekil 12 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n)$ ve asimetri parametresi arasındaki ilişki.

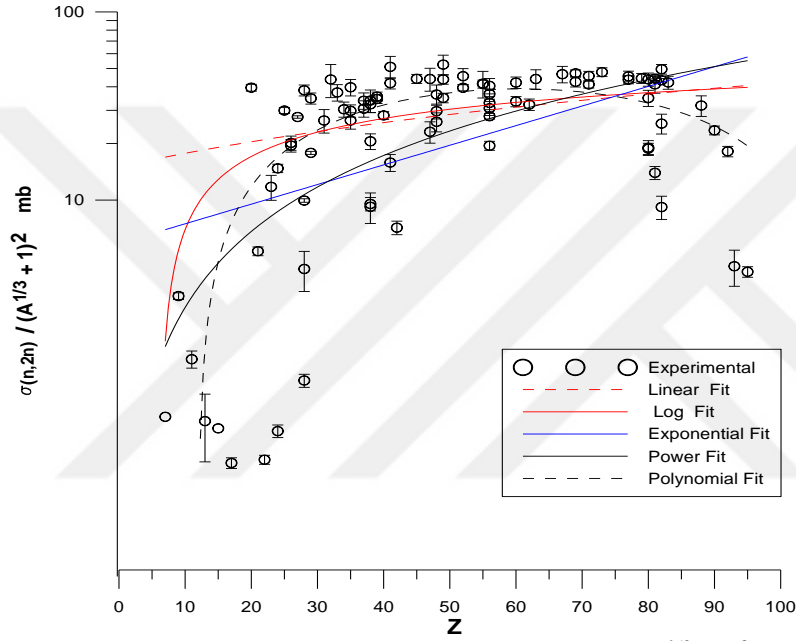
Çizelge 8 $\sigma_{n,2n}$ ve $s = N-Z/A$ arasındaki korelasyon için fit sonuçları.

Fit	Formüller	R ²
Lineer	$\sigma_{n,2n} = 8315.144103s - 128.6625422 -$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3} + 1)^2 154.0028748s + 6.832021615$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 2835.19352 s + 97.89207117$	0.551 0.350 0.380
Log	$\sigma_{n,2n} = 920.289586 \ln(s) + 2947.768668$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3} + 1)^2 18.68726827 \ln(s) + 67.29553225$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 339.3943253 \ln(s) + 1201.17383$	0.546 0.422 0.445
Exp	$\sigma_{n,2n} = 48.4155981 \exp(18.27927253 s)$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3} + 1)^2 3.091356261 \exp(13.10626003 s)$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 48.71222909 \exp(13.7365786 s)$	0.550 0.396 0.417
Üstel kuvvet	$\sigma_{n,2n} = 58868.86292 s^{2.176910221}$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3} + 1)^2 599.6038274 s^{1.644368191}$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 11818.9288 s^{1.709238363}$	0.682 0.535 0.556
Poly	$\sigma_{n,2n} = -447.710964 + 14368.48435 s - 22991.68002 s^2$ $\sigma_{n,2n} = (A^{1/3} + 1)^2 [-13.25064113 + 535.0334092 s - 1447.222817 s^2]$ $\sigma_{n,2n} = \pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 [-231.9171697 + 9092.69995s - 23767.14008s^2]$	0.569 0.483 0.495

Çizelge 8'de 14-15 MeV nötron enerjisinde (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre fit işlemi sonucunda elde edilen yarı ampirik formüller ve R² değerleri görülmektedir. Çizelgeden görülebileceği gibi $\pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2$ ile elde edilen sonuçların R² değerleri ile $(A^{1/3} + 0.21)^2$ ile elde edilen sonuçların R² değerlerinin

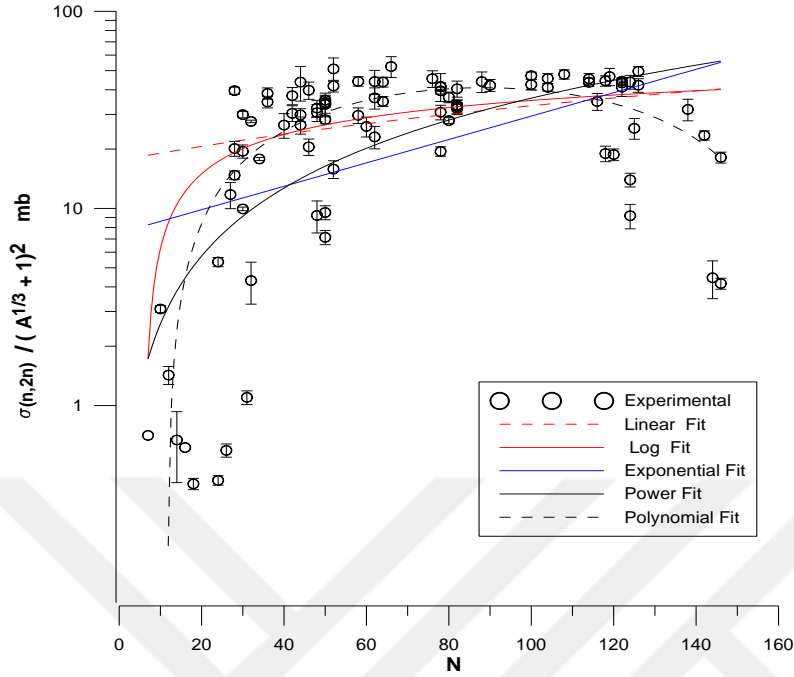
birbirine oldukça yakın olduğu ve $\pi (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2$ ile elde edilen sonuçların $A^{1/3} + 0.21)^2$ ile elde edilen sonuçlardan daha yüksek çıktığı görülmektedir. Maksimum R^2 değerleri üstel kuvvet fit metoduyla ölçülmüştür. Polinom fit metoduyla ölçülen R^2 değerleri polinom fit metoduyla ölçülen değerlere yakın çıkmıştır. Ayrıca fit edilen değişkenler arasında asimetri parametresinin fit edilmesiyle elde edilen sonuçlar diğer parametrelerle elde edilen sonuçlardan daha yüksektir.

3.1.5 $\sigma(n,2n) / (A^{1/3}+1)^2$ ve proton sayısına göre fit işlemi



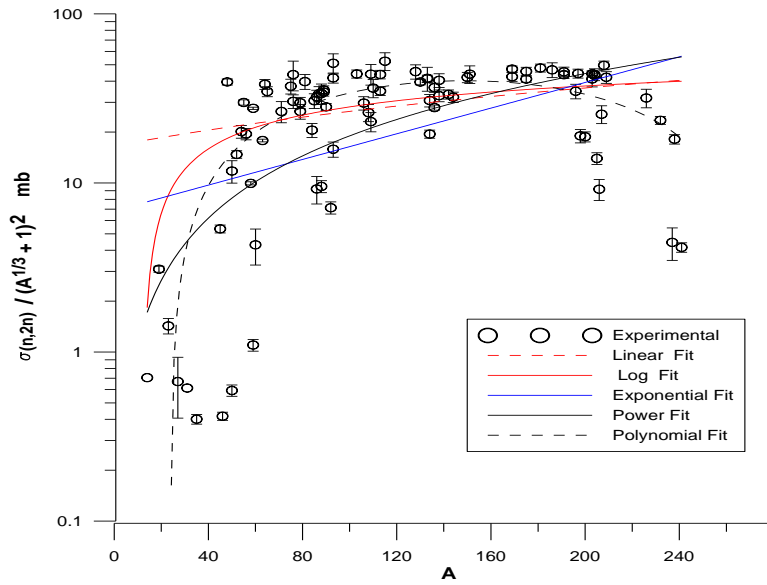
Şekil 13 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n) / (A^{1/3}+1)^2$ ve proton sayısı arasındaki ilişki

3.1.6 $\sigma(n,2n) / (A^{1/3}+1)^2$ ve nötron sayısına göre fit işlemi



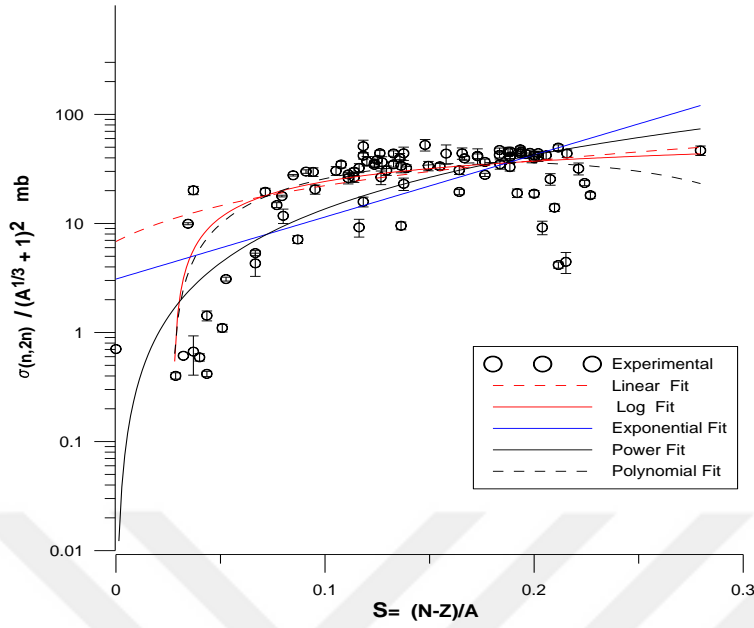
Şekil 14 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n) / (A^{1/3}+1)^2$ ile nötron sayısına arasındaki ilişki

3.1.7 $\sigma(n,2n) / (A^{1/3}+1)^2$ ve kütle numarasına göre fit işlemi



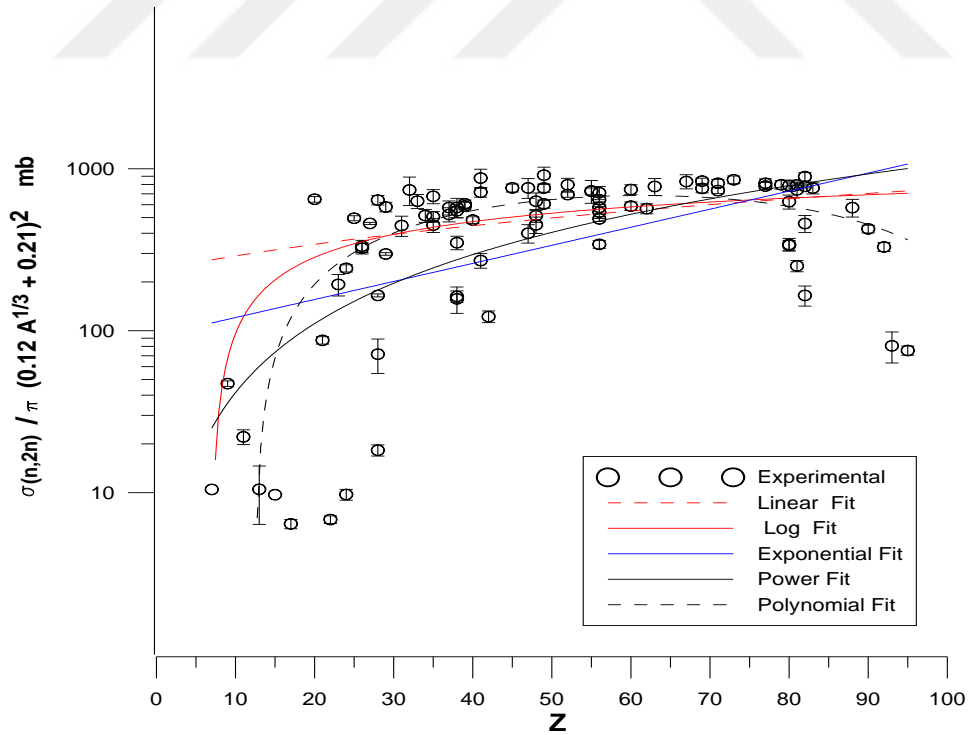
Şekil 15 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n) / (A^{1/3}+1)^2$ ve kütle numarası arasındaki ilişki

3.1.8 $\sigma(n,2n) / (A^{1/3}+1)^2$ ve asimetri parametresine göre fit işlemi



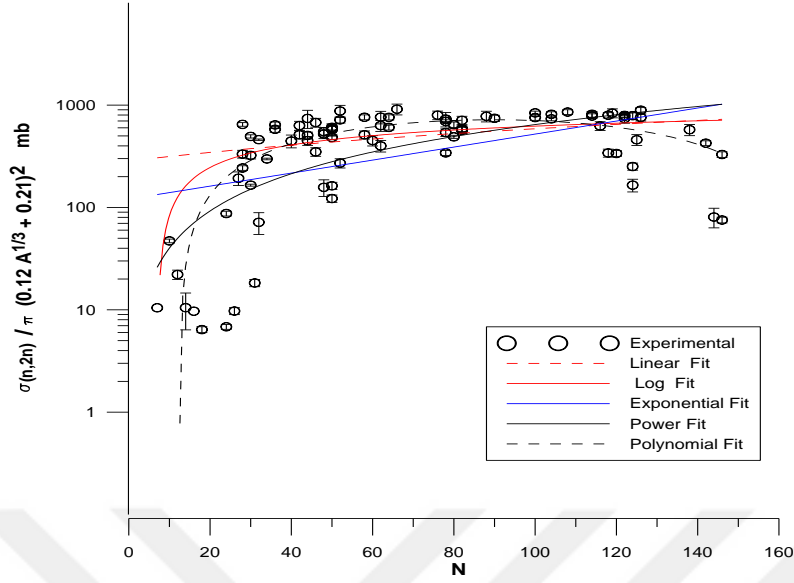
Şekil 16 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n) / (A^{1/3}+1)^2$ ve asimetri parametresi arasındaki ilişki.

3.1.9 $\sigma(n,2n) / (0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve proton sayısına göre fit işlemi



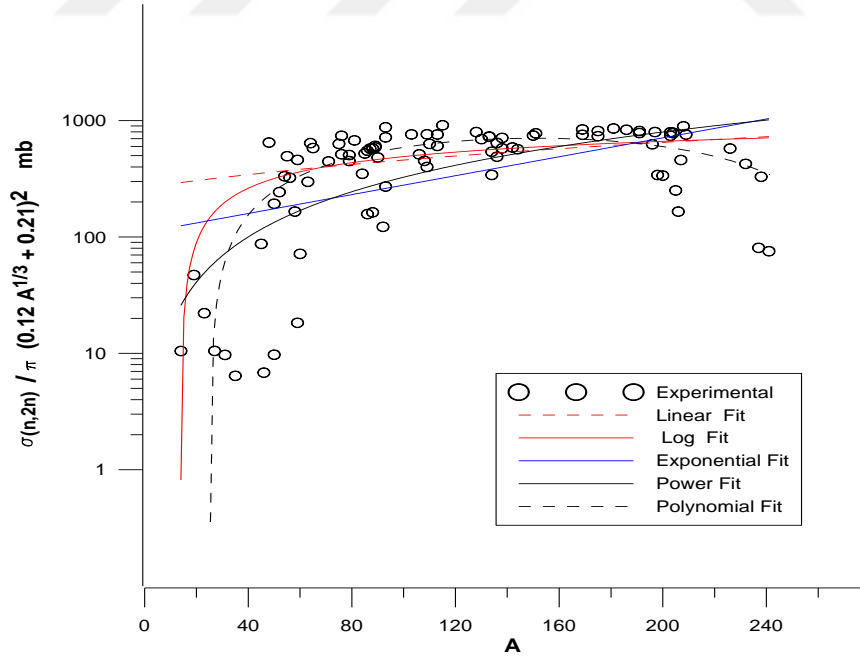
Şekil 17 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n) / (0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve proton sayısı arasındaki ilişki.

3.1.10. $\sigma(n,2n) / (0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve nötron sayısına göre fit işlemi



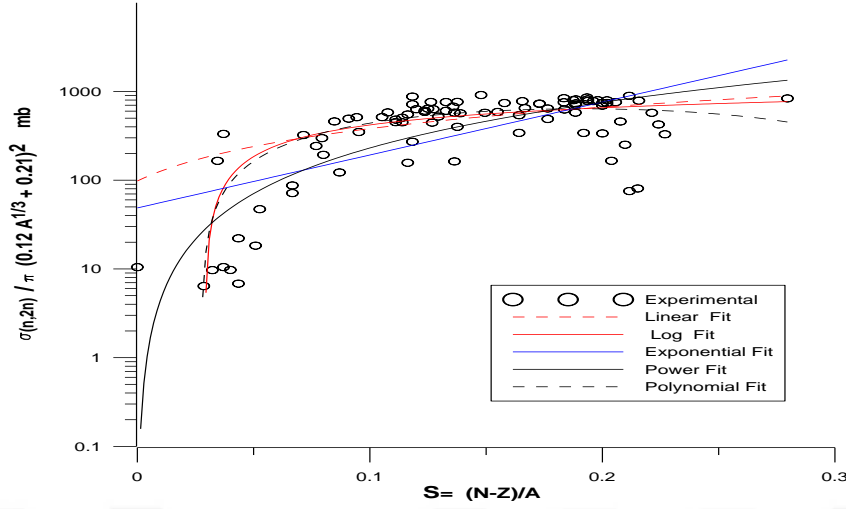
Şekil 18 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n) / (0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve nötron sayısı arasındaki ilişki

3.1.11 $\sigma(n,2n) / (0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve kütle numarasına göre fit işlemi



Şekil 19. 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n) / (0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve kütle numarası arasındaki ilişki

3.1.12 $\sigma(n,2n) / (0.12A^{1/3} + 0.21)^2$ ve asimetri parametresine göre fit işlemi

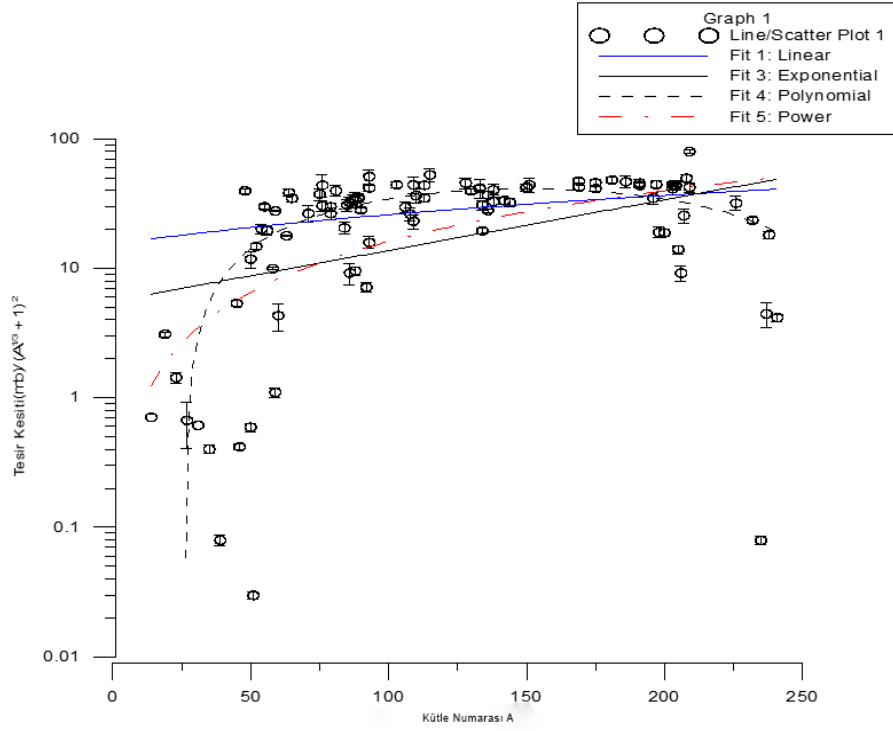


Şekil 20 14-15 MeV nötron enerjisinde $\sigma(n,2n) / (0.12A^{1/3} + 0.21)^2$ ve asimetri parametresi arasındaki ilişki

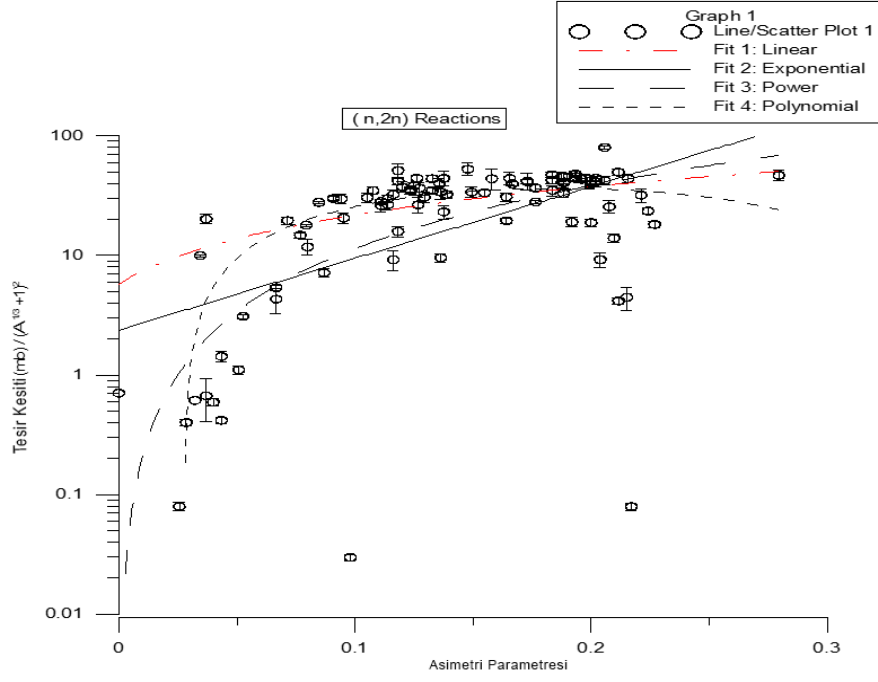
3.2. 14-15 MeV'de (n,2n) Reaksiyon Kesiti İçin Yarı Ampirik Kütle Formülü Etkilerinin İncelenmesi

Tezin bu kısmında 14-15 MeV enerjideki (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerini üç farklı parametre grubunda inceledik. İlk olarak, çekirdekler için Kütle Numarası-A'ya bağlı uyum parametreleri tanıtılmıştır. İkinci olarak, tüm çekirdekler için asimetri parametresine $(N-Z)/A$ bağlı olarak fit parametreleri tanıtılmıştır. Ve üçüncü olarak, tüm çekirdekler için simetri parametresine $(N-Z)^2/A$ bağlı olarak fit parametreleri tanıtılmıştır. Fit işlemi için EXFOR'dan alınan farklı çekirdeklerin 96 adet (n,2n) deneysel verisi kullanılmıştır. Nüklitlerin kütle numarası $A = 19 \sim 241$, atom numarası $Z = 9 \sim 95$ ve nötron numarası $N = 10 \sim 146$ aralığında değişmektedir. Şekil 21'de, bu çekirdeklerin deneysel (n, 2n) tesir kesitleri, A kütle numarasına bağlı olarak fit edilmiştir. Şekil 22'de, bu çekirdeklerin deneysel (n,2n) tesir kesitleri, asimetri parametresine $(N-Z)/A$ bağlı olarak fit edilmiştir. Şekil 23'de bu çekirdeklerin deneysel (n,2n) tesir kesitleri simetri parametresine $(N-Z)^2/A$ bağlı olarak fit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yarı ampirik nükleer kütle formülü simetri terimi parametreleri üzerindeki nükleer etkileri desteklemesi açısından büyük önem taşımaktadır.

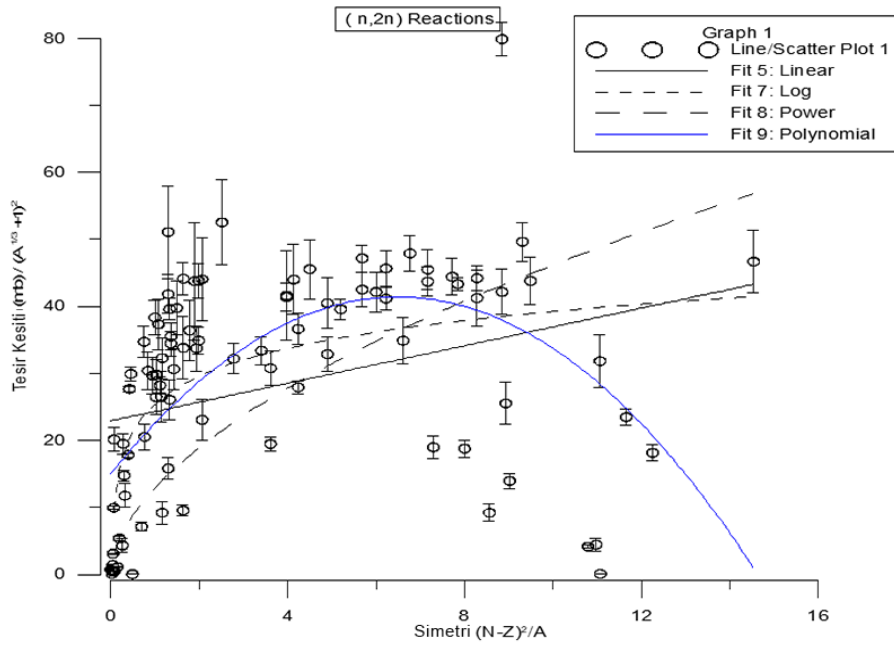
Fit prosedürü hesaplamaları için dört farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar Lineer, Üstel, Polinomal ve Kuvvet fit yöntemidir. Elde edilen sonuçlar, Şekil 21-23'deki deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Şekil 23'de gösterildiği gibi simetri parametreleri ile elde edilen formüller deneysel oran değerleri ile karşılaştırıldığında R^2 'nin maksimum değeri ile uyumlu sonuçlar vermektedir. Ayrıca Polinom fit yönteminin bu çalışmada oldukça iyi sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz.



Şekil 21 14-15 MeV enerjili nötronlarınla oluşturulan $(n,2n)$ reaksiyonlarının tesisir kesitlerinin kütle numarasına göre fit grafiği



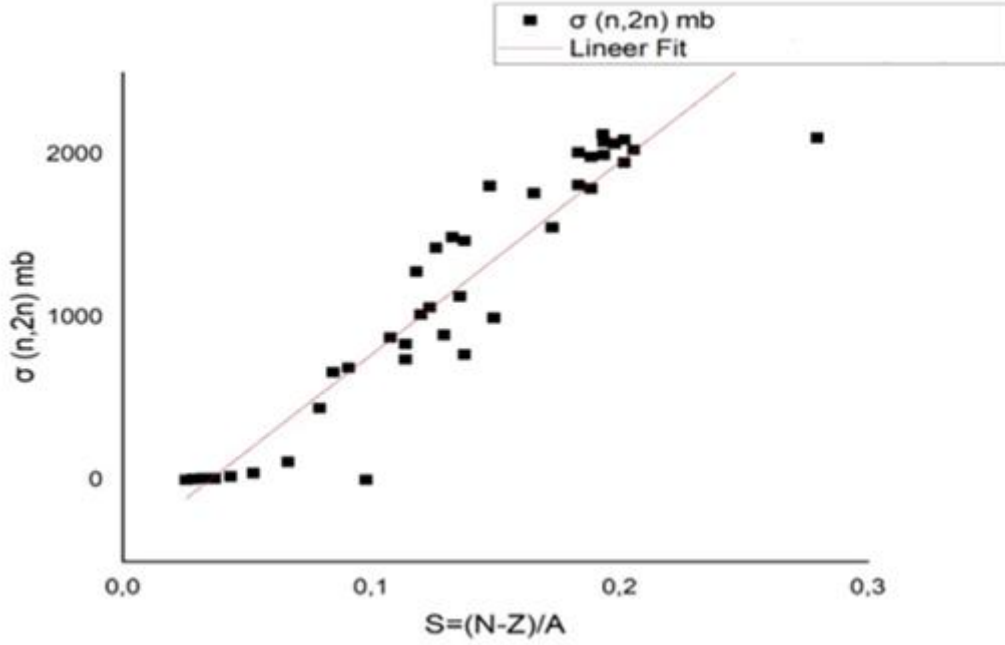
Şekil 22 14-15 MeV enerjili nötronlarla oluşturulan (n,2n) reaksiyonlarının tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre fit grafiği



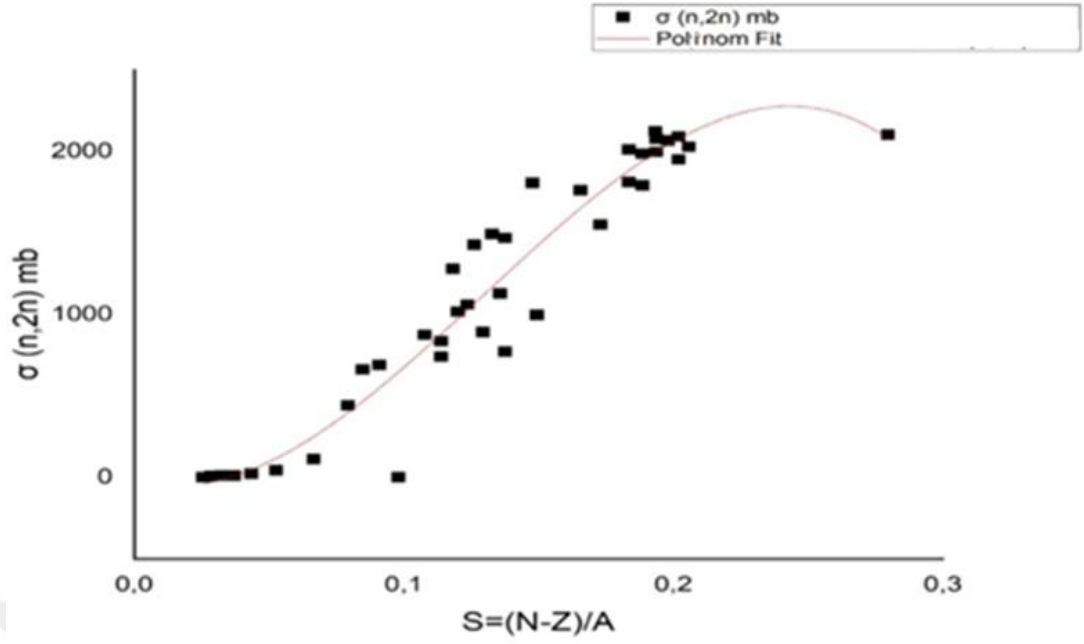
Şekil 23 14-15 MeV enerjili nötronlarla oluşturulan (n,2n) reaksiyonlarının tesir kesitlerinin simetri parametresine göre fit grafiği

3.3. (n,2n) Reaksiyon Tesir Kesitleri için Tek-Çift Etkilerin Araştırılması

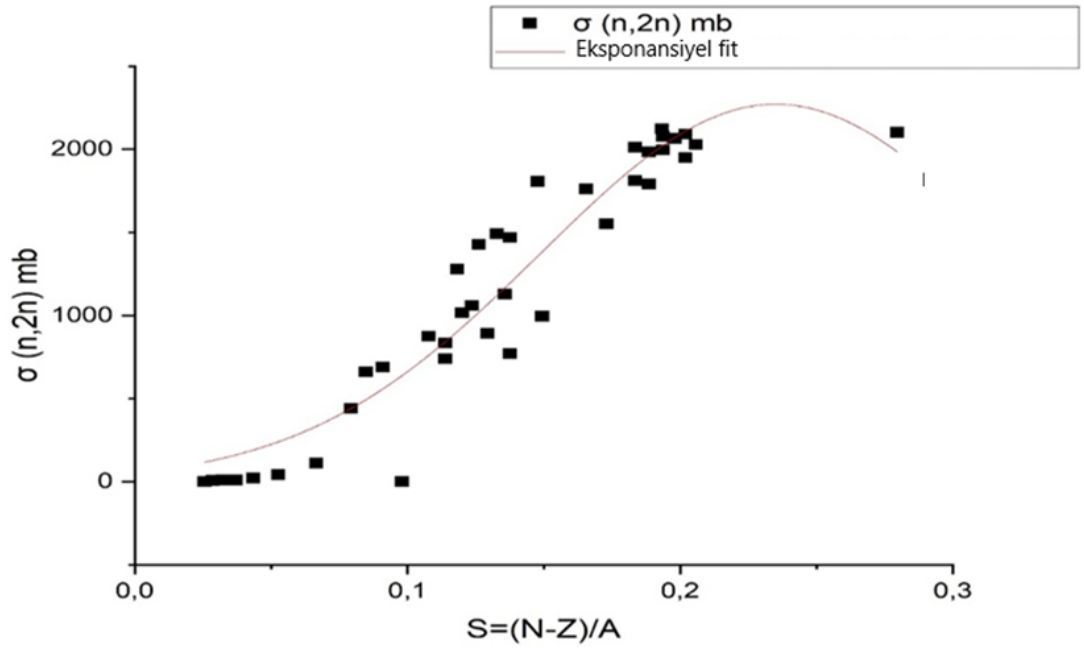
Tezin bu kısmında, 14-15 MeV enerjideki deneysel verilerden elde edilen (n,2n) reaksiyon tesir kesitleri, asimetri parametresinin $(N-Z)/A$ fonksiyonu olarak incelenmiştir. Asimetri parametresine $(N-Z)/A$ bağlı olarak fit parametreleri tüm tek-çift, çift-çift çekirdekler için sunulmuştur. Şekil 24-26'da 39 deneysel veri $Z=9\sim 83$ ve $N=10\sim 126$ kullanılmıştır. Şekil 27-29'da atom numarası $Z=22\sim 88$ ve nötron numarası $N=24\sim 134$ olan 28 deneysel veri kullanılmıştır. Fit prosedürü için EXFOR verilerinden alınan deneysel veriler kullanılarak tek-çift nükleonların (n,2n) reaksiyon kesitleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hesaplamalarda lineer, polinomal ve üstel olmak üzere üç metot kullanılmıştır. Korelasyon R^2 katsayılarının belirlenmesi için elde edilen sonuçlar Şekil 24-29'da sunulmuştur.



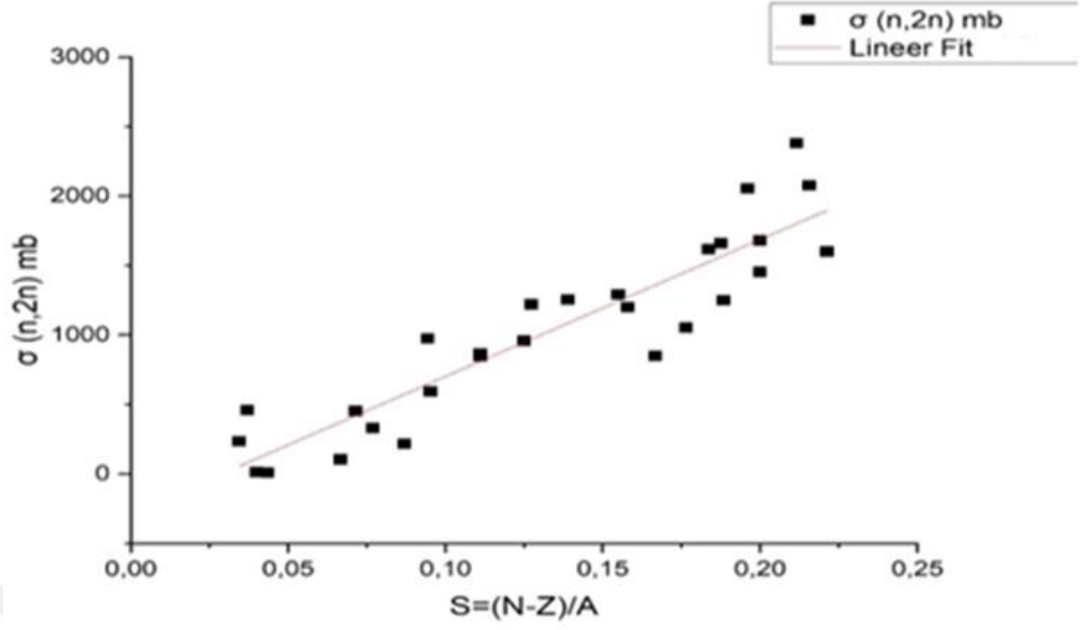
Şekil 24 14-15 MeV enerjili nötronlar tarafından oluşturulan (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre lineer fit grafiği.



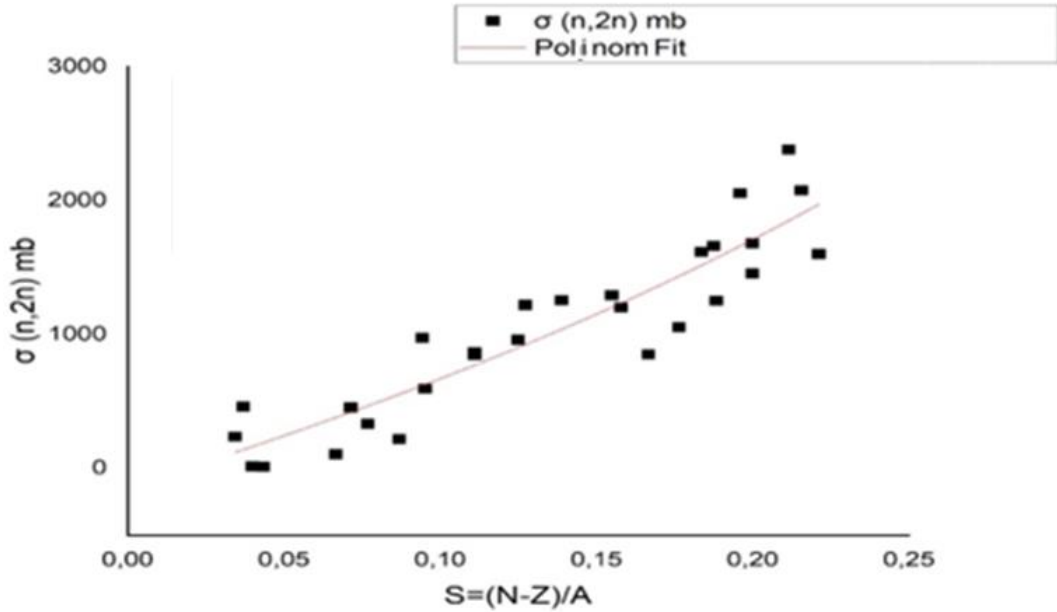
Şekil 25 14-15 MeV enerjili nötronlar tarafından oluşturulan $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre polinom fit grafiği.



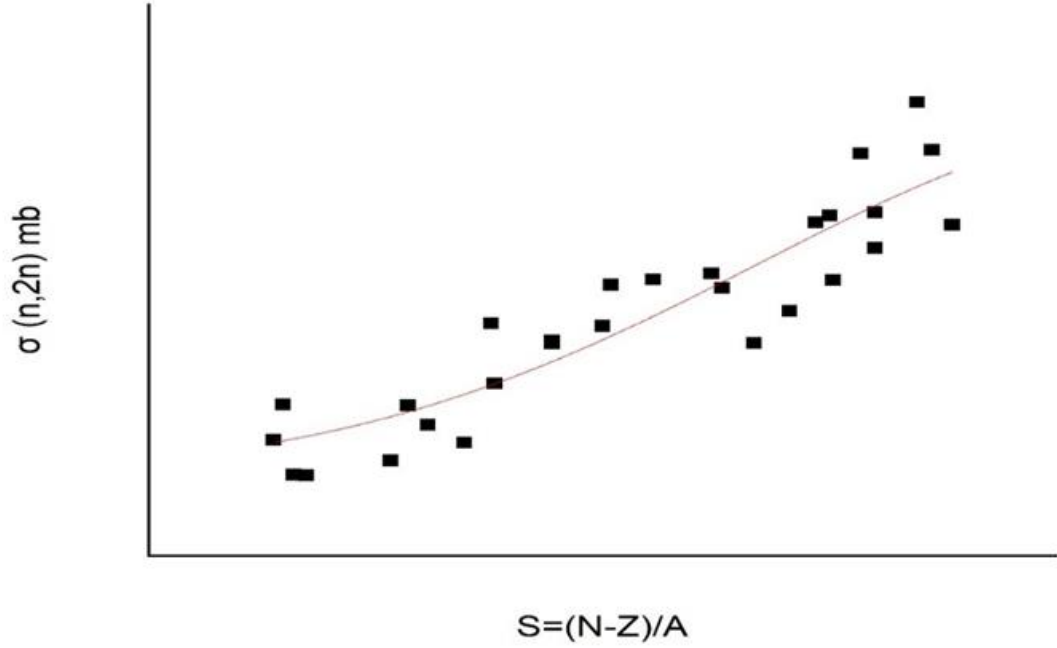
Şekil 26 14-15 MeV enerjili nötronlar tarafından oluşturulan $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre eksponansiyel fit grafiği.



Şekil 27 14-15 MeV enerjili nötronlar tarafından oluşturulan $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre lineer fit grafiği



Şekil 28 14-15 MeV enerjili nötronlar tarafından oluşturulan $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre polinom fit grafiği.



Şekil 29 14-15 MeV enerjili nötronlar tarafından oluşturulan $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitlerinin asimetri parametresine göre eksponansiyel fit grafiği.

Çizelge 9 Polinom fit formülleri

Çekirdekler	Formüller	R ²
Z tek N çift	$\sigma_{n,2n} = -18.64 - 4394*s + 152513*s^2 - 393315*s^3$	0.921
Z çift N çift	$\sigma_{n,2n} = -149 + 7587*s + 3229*s^2 + 26223*s^3$	0.840

Lineer fit, polinomal fit ve eksponansiyel fit için R²'yi hesapladık. Z-tek, N-çift çekirdekler için lineer fit R² = 0.878, polinomal fit= 0.921, eksponansiyel fit= 0.911 olduğunu bulduk. Z-çift, N-çift çekirdekler için, lineer fit R² = 0.837, polinomal fit R² = 0.840, eksponansiyel fit R² =0.835. Z-çift N-tek, Z-tek N-tek olan çekirdekler için yeterli veriye sahip değiliz. Bu yüzden bu çekirdekler için bir çalışma yapılmamıştır.

Şekillere göre en uygun fit sonuçları Z-tek, N-çift çekirdeklerden elde edilmiştir. Z-tek N-çift çekirdekler için elde edilen formülün, Z-çift N-çift çekirdekler için elde edilen formüle göre bir miktar daha iyi korelasyon sağladığını söyleyebiliriz.

Ayrıca bu sonuçlara göre bu çekirdekler için polinom fit yönteminin en uygun fit yöntemi olduğunu gözlemledik. $s^2 = (N-Z)^2/A^2$ terimi çekirdeğin toplam bağlanma enerjisi ile ilgili olduğu gibi, yarı ampirik nükleer kütle formülü hesaplamalarında kullanılan çekirdeğin bağlanma enerjisinin simetri terimi ile de ilgilidir. Elde edilen formüller basit formdadır ve 14-15MeV enerjili nötronlarda deneysel (n,2n) tesir kesitlerin pratik hesaplamaları için kullanışlıdır. Z=N için s=0 ve bu formüller uygun değildir.

3.4. Bazı Deforme Hedef Çekirdekler İçin (n,2n) Non-Elastik Tesir Kesitlerinin İncelenmesi

Literatürde çok sayıda ampirik ve yarı ampirik (n,2n) reaksiyon tesir kesiti formülü vardır, ancak özellikle teorik hesaplamalar kütle bölgelerindeki ($150 \leq A \leq 191$) nadir toprak elementleri ve toprak elementleri ($A > 220$) aktinit elementleri için nükleer deformasyonun karakterini belirlemek için yeterli olmamıştır. Kütle bölgelerindeki bazı deforme hedef çekirdekleri için yaklaşık 14-15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyon tesir kesitleri incelenmiştir. Şekil elastik tesir kesitleri için teorik hesaplamalar, optik model parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, elastik olmayan nötron tesir kesitleri, (Ferrer ve ark., 1976)'nin optik potansiyel parametreleri kullanılarak elde edilmiştir. Nötron toplam tesir kesit hesaplamaları SCAT 2 bilgisayar kodu kullanılarak optik model çerçevesinde yapılmıştır. Elde edilen teorik sonuçlar EXFOR deneysel nükleer veri kütüphanesi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar Şekil 30'da ve çizelge 10-12'de verilmiştir.

A	Z	N	Bileşik çekirdek tesir kesiti (mb)	Şekil elastik tesir kesiti (mb)	Toplam tesir kesiti (mb)
150	60	90	2150.154	3034.657	5184.811
151	63	88	2226.368	3021.983	5248.352
169	69	100	2255.096	3001.398	5256.495
175	71	104	2291.260	2975.206	5266.466
181	73	108	2326.864	2951.023	5277.887
186	67	119	2365.886	2926.501	5292.387
191	77	114	2144.252	3032.929	5177.181

Çizelge10 Optik Model Kullanılarak Bileşik, Şekil elastik ve Toplam tesir kesiti hesaplamaları

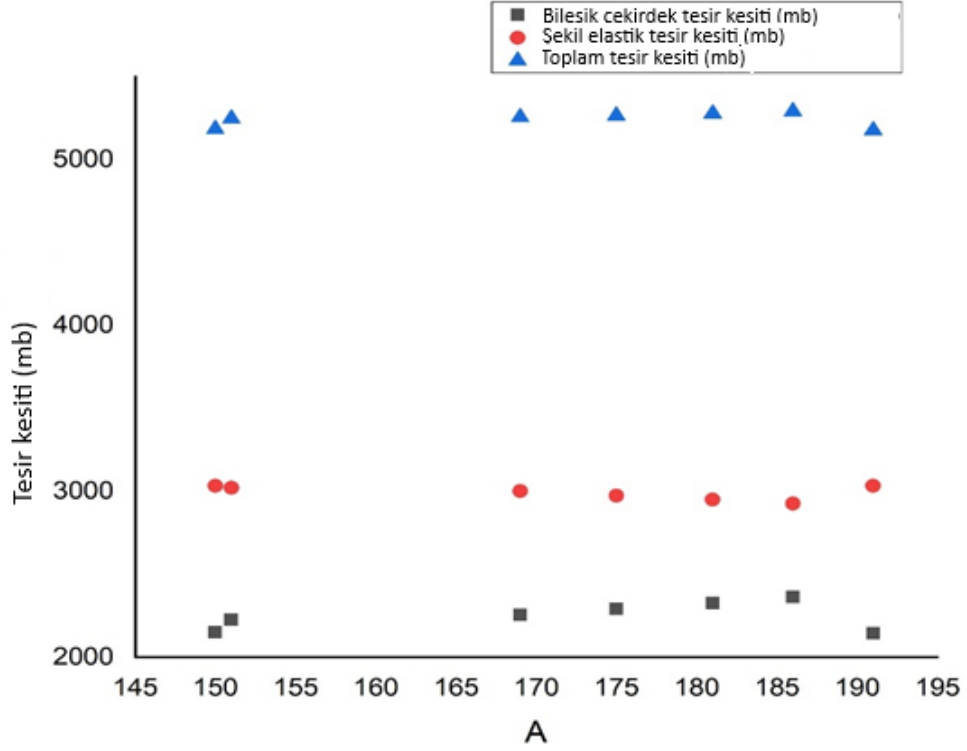
Çizelge11 Bazı araştırmacılara ait ampirik formüller

Yazar	Kütle bölgesi	(n,2n) Formülü
Adam ve Jeki (1969)	$28 \leq A \leq 50$	$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061(A^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 s)]$
Bychkov ve ark. (1982)	$45 \leq A \leq 238$	$\sigma_{n,2n} = \begin{cases} 1000 + 7.5A(7.8s - 0.234) & \text{if } s \leq 0.13 \\ 1000 + 7.5A(0.65 + s) & \text{if } s > 0.13 \end{cases}$
Tel ve ark (2008) Çalışma I	$14 \leq A \leq 241$	$\ln \sigma_{n,2n} = 7.43 [1 - 1.71 \exp(-24.99 s)]$
Bu çalışma (2024)	$14 \leq A \leq 241$	$\sigma_{n,2n} = 37112 (0.12 A^{1/3} + 0.21)^2 s^{1.7}$

Çizelge12 Kütle numarası $150 \leq A \leq 191$ olan bazı elementler için bazı araştırmacıların $\sigma(n,2n)$ reaksiyonları ile ilgili buldukları tesir kesitleri ve deneysel sonuçlar

Hedef Çekirdek			Deneysel	Deneysel	Bu çalışma	Tel ve ark.	Bychkov
A	Z	N	$\sigma_{(n,2n)}$ (mb)	$\sigma_{(n,2n)}$ Hata (mb)	(mb)	Çalışma I (2008) (mb)	ve ark. (1982) (mb)
150	60	90	1679	118	1728.39	1547.23	1956.25
151	63	88	1760	210	1257.70	1376.33	1923.63
169	69	100	1811	111	1584.53	1480.63	2056.38
175	71	104	1789	76	1690.38	1503.97	2100.63
181	73	108	2122	115	1794.66	1523.50	2144.88

186	67	119	2100	210	3405.54	1666.13	2296.75
191	77	114	1995	100	1850.22	1524.83	2208.63



Şekil 30 SCAT2 bilgisayar kodu kullanılarak bazı çekirdeklerin şekil elastik, bileşik çekirdek ve toplam tesir kesitlerinin kütle numarasına göre çizilmiş grafiği

Şekil 30’da, Çizelge 10’daki $150 \leq A \leq 191$ kütle bölgesindeki çekirdeklerin SCAT2 kodu kullanılarak elde edilen şekil elastik, bileşik çekirdek ve toplam tesir kesitlerinin çizilmiş grafiği görülmektedir.

3.5.14-15 MeV Enerjili Nötronlarda Toplam Tesir Kesitleri için Ampirik Formül Çalışmaları

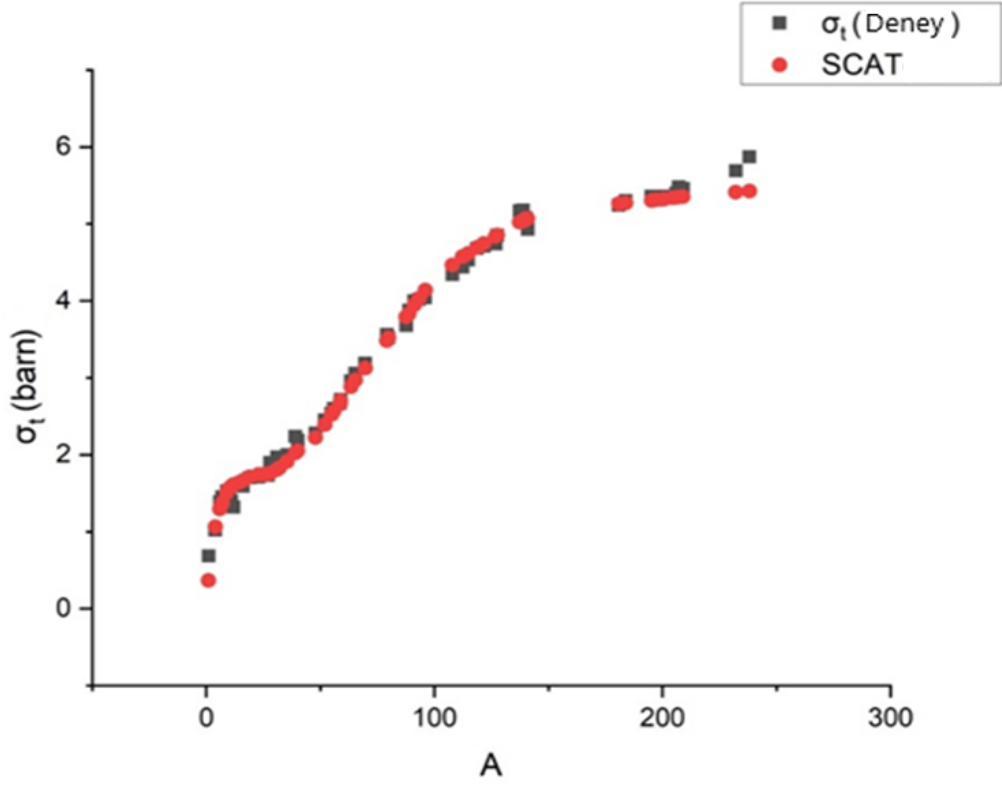
Bu çalışmada, $1 \leq A \leq 238$ kütle bölgelerindeki hedef çekirdekler için 14-15 MeV nötron enerjisi civarındaki toplam reaksiyon tesir kesitleri incelenmiştir. Teorik hesaplamalar SCAT2 kodu kullanılarak ve optik model parametreleri kullanılarak yapıldı. Elde edilen teorik sonuçlar EXFOR deneysel nükleer veri kütüphanesinden alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Korelasyon katsayıları R^2 belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 31-32’de sunulmuştur.

Çizelge13 Bazı elementlerin hesaplanan ve ölçülen toplam tesir kesitleri

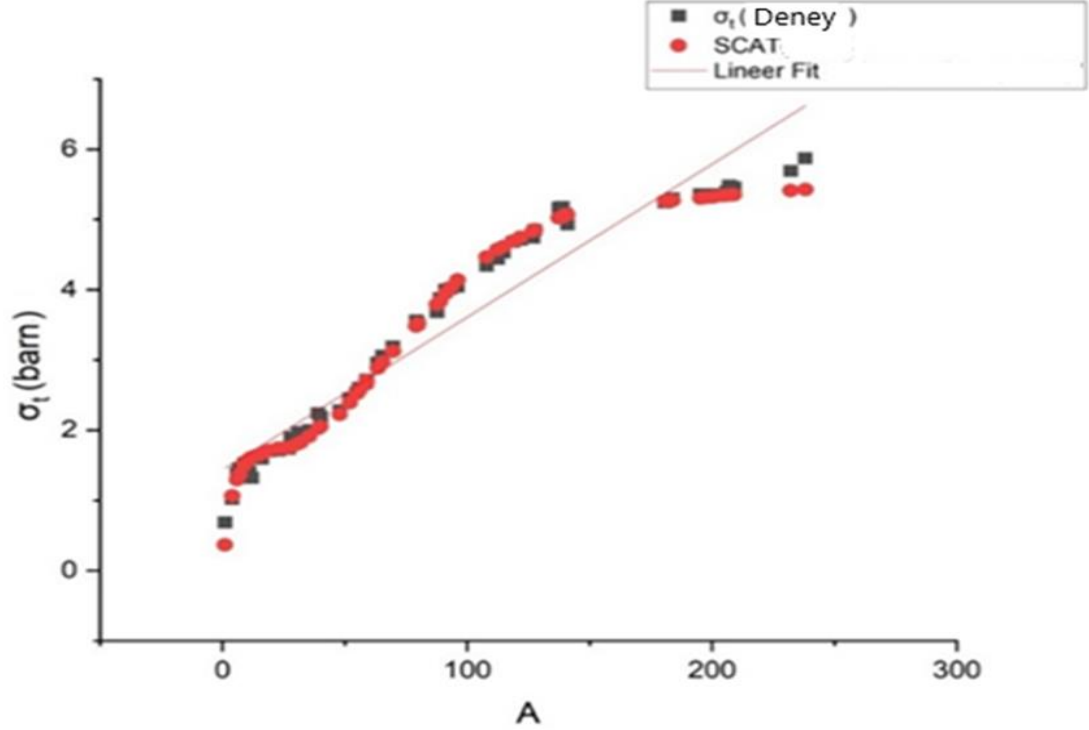
Z	Element	A	Deneysel σ_t (barn)	Deneysel Hata (barn)	SCAT2 σ_t (barn)
1	H	1	0.686	± 0.007	0.366
2	He	4	1.020	± 0.02	1.064
3	Li	6	1.390	± 0.05	1.294
3	Li	7	1.450	± 0.03	1.373
4	Be	9	1.530	± 0.03	1.507
5	B	10	1.470	± 0.03	1.556
5	B	11	1.400	± 0.03	1.590
6	C	12	1.320	± 0.02	1.611
7	N	14	1.590	± 0.03	1.636
8	O	16	1.590	± 0.03	1.661
8	O	16	1.590	± 0.03	1.661
9	F	19	1.700	± 0.05	1.710
11	Na	23	1.710	± 0.03	1.744
12	Mg	24	1.750	± 0.03	1.745
13	Al	27	1.730	± 0.03	1.752
14	Si	28	1.830	± 0.04	1.760
14	Si	28	1.900	± 0.13	1.760
15	P	31	1.970	± 0.04	1.807
16	S	32	1.920	± 0.04	1.831
17	Cl	35	2.000	± 0.05	1.913
19	K	39	2.240	± 0.04	2.025
20	Ca	40	2.190	± 0.04	2.050
22	Ti	48	2.280	± 0.04	2.223
24	Cr	52	2.450	± 0.04	2.393
25	Mn	55	2.540	± 0.05	2.52
26	Fe	56	2.600	± 0.05	2.565
27	Co	59	2.720	± 0.05	2.704
28	Ni	58	2.670	± 0.05	2.657
29	Cu	63	2.960	± 0.06	2.885
30	Zn	65	3.060	± 0.06	2.969
31	Ga	70	3.190	± 0.06	3.124

34	Se	79	3.560	±0.07	3.482
35	Br	80	3.520	±0.07	3.519
38	Sr	87	3.680	±0.07	3.792
39	Y	89	3.880	±0.14	3.832
40	Zr	91	4.000	±0.08	3.951
41	Nb	93	4.020	±0.08	4.029
42	Mo	96	4.040	±0.08	4.140
47	Ag	108	4.340	±0.09	4.465
48	Cd	112	4.440	±0.09	4.575
49	In	115	4.530	±0.09	4.615
50	Sn	119	4.680	±0.09	4.691
51	Sb	122	4.710	±0.09	4.746
52	Te	127	4.850	±0.10	4.853
53	In	127	4.740	±0.10	4.835
56	Ba	137	5.170	±0.10	5.022
57	La	139	5.180	±0.10	5.037
58	Ce	140	5.080	±0.10	5.066
59	Pr	141	4.930	±0.25	5.066
73	Ta	181	5.240	±0.10	5.264
74	W	184	5.300	±0.11	5.270
78	Pt	195	5.360	±0.11	5.305
79	Au	197	5.310	±0.11	5.312
80	Hg	200	5.360	±0.11	5.323
81	Tl	204	5.360	±0.11	5.337
82	Pb	206	5.400	±0.11	5.344
82	Pb	207	5.480	±0.11	5.347
83	Bi	209	5.460	±0.11	5.353
90	Tb	232	5.690	±0.11	5.410
92	U	238	5.870	±0.12	5.426

Çizelge 13'te $1 \leq A \leq 238$ kütle bölgelerindeki çekirdeklerin deneysel değerleri ile SCAT2 kodu kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çizelgeyi incelediğimizde deneysel değerlerden elde edilen toplam tesir kesiti σ_t değerlerinin SCAT2 koduyla elde edilen değerlere oldukça yakın olduğu görülmüştür. Şekil 31'deki grafikte de bu uyum görülebilmektedir.



Şekil 31 Toplam tesir kesiti σ_t ile kütle numarası A arasındaki ilişki



Şekil 32 Toplam tesir kesiti σ_t ile kütle numarası A arasındaki lineer fit grafiği

Çizelge 14 $1 \leq A \leq 238$ kütle bölgesinde deneysel toplam tesir kesiti σ_t değerlerinin ve

SCAT2 koduyla elde edilen σ_t değerlerinin lineer fit metoduyla fit edilmesi sonucu elde edilen yarı ampirik formül ve R^2 değeri

Çekirdekler	Formül	R^2
$1 \leq A \leq 238$	$\sigma_t = 1.433 + (0.022) A$	0.92

Çizelge 14 incelendiğinde deneysel σ_t değerleriyle, SCAT2 koduyla elde edilen değerlerin fit edilmesi sonucu elde edilen R^2 değeri 0.92 olarak ölçülmüştür. Bu sonuca göre deneysel değerlerle SCAT2 koduyla elde edilen değerlerin birbiriyle uyumlu olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 32 de görüldüğü gibi, toplam tesir kesiti σ_t ile kütle numarası A arasındaki lineer fit grafiğinin yaklaşık olarak $A < 100$ kütle bölgelerindeki çekirdekler için deneysel değerlerle uyumlu iken, $100 < A$ kütle bölgelerindeki hedef çekirdeklerde daha az uyumlu olduğu gözlenmektedir.

4.BULGULAR

Tezin bu kısmında deneysel (n,2n) tesir kesit değerlerinin $(A^{1/3}+1)^2$ ve $\pi(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ 'ye oranları çizelge 5-8'de tartışılmıştır. Çizelge 5-8'de görüldüğü gibi elde edilen korelasyon katsayısı R^2 , elastik olmayan nötron tesir kesiti için birbirinden farklıdır. 14-15 MeV nötronlar için $\pi(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ ve $(A^{1/3}+1)^2$ terimlerinin R^2 değerleri arasında çok küçük farklar vardır. Çizelge 5-7'de kuvvet fit yöntemi için R^2 değerleri $(A^{1/3}+1)^2$ terimi için 0.36, 0.38, 0.37 ve $\pi(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ için 0.39,0.41, 0.40'tır. Flerov ve Talyzin'in σ_{ne} elastik olmayan tesir kesiti teriminin $(A^{1/3}+1)^2$ terimine göre yüzde 2-3 daha iyi korelasyon değeri verdiği sonucuna vardık. Literatürde ampirik (n,2n) elastik olmayan tesir kesiti formülleri hızlı nötronlar için $(A^{1/3}+1)^2$ terimini içerir. Hızlı nötronlar için elastik olmayan tesir kesiti nükleer tesir kesiti ile orantılıdır ve bu nedenle, elastik olmayan tesir kesiti $(A^{1/3}+1)^2$ teriminin kabaca πR^2 olarak alınmasıyla elde edildi. $(A^{1/3}+1)^2$ terimi elastik olmayan tesir kesiti hesaplamaları için takribi bir terim olduğundan dolayı bu çalışmada Flerov ve Talyzin'den elde edilen yeni bir ampirik $\pi(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ terimi öneriyoruz. Çizelge 5-8'de görüldüğü gibi $(A^{1/3}+1)^2$ ve $\pi(0.12A^{1/3}+0.21)^2$ terimleri arasında R^2 değeri farklılıkları mevcuttur. Öte yandan, elastik olmayan tesir kesiti, $\sigma_{ne} = \pi(R+\lambda)^2 = \pi(r_0A^{1/3} + \lambda)^2$ ve 14 MeV nötronlarda, $\lambda = 1.2\text{fm} = r_0$ dır. Burada λ ile r_0 yer değiştirirse $\sigma_{ne} = \pi(R+\lambda)^2 = \pi(r_0A^{1/3} + r_0)^2 = \pi r_0^2 (A^{1/3} + 1)^2$ elde edilir. Kuantum mekaniği saçılma teorisi kullanılarak elde edilen elastik olmayan tesir kesiti $\sigma_{ne} = \pi(R+\lambda)^2$ ile $(A^{1/3} + 1)^2$ 'yi içeren diğer elastik olmayan tesir kesitinin aynı olduğu söylenebilir.

Hesaplamalarda fit prosedürü için beş farklı yöntem ve dört farklı parametre kullanılmaktadır.

Şekiller 11-22 ve Çizelgeler 5-8' de görüldüğü gibi, asimetri parametresi $s=(N-Z)/A$ ya bağlı olarak elde edilen formüllerin diğer parametreler Z, N ve A ile karşılaştırıldığında maksimum R^2 değerinde iyi fit sonuçları verdiği sonucuna vardık. Ayrıca deneysel noktalar üstel ve polinom ile fit edildiğinde elde edilen sonuçların diğer fit metodlarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

14-15 MeV enerjili nötronların (n,2n) reaksiyon tesir kesiti fit prosedürü hesaplamaları için dört farklı yöntemi kullandık. Bunlar Lineer, Üstel, Polinom ve Kuvvet fit yöntemidir. Elde edilen sonuçlar, şekil 23-25'deki deneysel sonuçlarla

karşılaştırılmıştır. Şekil 25’de gösterildiği gibi simetri parametreleri ile elde edilen formüller deneysel oran değerleri ile karşılaştırıldığında R^2 ’nin maksimum değeri ile uyumlu sonuçlar vermektedir. Ayrıca Polinom fit yönteminin bu çalışmada oldukça iyi sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz.

Bu sonuçlara göre proton sayısı tek nötron sayısı çift çekirdeklerin, tesir kesitlerinin, proton sayısı çift nötron sayısı çift çekirdeklerin tesir kesitlerinden daha yüksek olduğunu gözlemledik. Deneysel verilerden elde edilen asimetri parametresinin $(N-Z)/A$ bir fonksiyonu olarak 14-15 MeV enerjide $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitleri üzerindeki tek-çift etkilerini araştırdık. Lineer fit, polinom fit ve exponansiyel fit için R^2 ’yi hesapladık.

- Proton sayısı tek, nötron sayısı çift çekirdekler için, lineer fit $R^2= 0.878$, polinom fit $R^2= 0.921$, exponansiyel fit $R^2= 0.911$ olduğunu bulduk.
- Proton sayısı çift, nötron sayısı çift çekirdekler için lineer fit $R^2= 0.835$, polinom fit $R^2= 0.840$, exponansiyel fit $R^2= 0.835$ bulduk.

Ayrıca bu sonuçlardan anlaşıldığı üzere bu çekirdekler için polinom fit yönteminin en uygun fit yöntemi olduğu sonucuna vardık. $s^2 = (N-Z)^2/A^2$ terimi çekirdeğin toplam bağlanma enerjisi ile ilgili olduğu gibi, yarı ampirik nükleer kütle formülü hesaplamalarında kullanılan çekirdeğin bağlanma enerjisinin simetri terimi ile de ilgilidir. Elde edilen formüller basit formdadır ve 14-15MeV nötronlarda deneysel $(n,2n)$ tesir kesitlerin pratik hesaplamaları için kullanışlıdır.

5. SONUÇLAR

- 14-15 MeV gelme enerjili nötronlarla oluşturulan (n,2n) reaksiyon tesir kesitleri için elde edilen formüllerde hedef çekirdeklere ait Proton sayısını Z, nötron sayısını N, kütle numarasını A ve asimetri parametresi olarak $s=(N-Z)/A$ seçildiğinde ve fit yöntemi uygulandığında, asimetri parametresine bağımlı fit sonuçlarının diğer parametreler Z, N ve A'ya göre daha uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
 - Lineer, Logaritmik, Exponansiyel, Üstel Kuvvet ve Polinom fit yöntemleri karşılaştırıldığında Üstel Kuvvet ve Polinomal fit yöntemleri ile elde edilen sonuçların diğer fit yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.
 - 14-15 MeV nötronlarda deneysel (n,2n) tesir kesitleri için, Z=N olan hedef çekirdeklere asimetri parametresi $s=(N-Z)/A=0$ olacağından fit yöntemi kullanılarak ampirik formül elde edilmesi uygun değildir.
 - 14-15 MeV gelme enerjili nötronlar için dalga boyu λ değeri ile çekirdek yarıçap sabiti r_0 değerlerinin birbirine çok yakın (veya eşit) olduğundan, kuantum mekaniği saçılma teorisi kullanılarak elde edilen elastik olmayan tesir kesiti $\sigma_{ne} = \pi(R + \lambda)^2$ ile $(A^{1/3} + 1)^2$ 'yi içeren tesir kesiti ifadesinin aynı olduğu söylenebilir.
- 14-15 MeV nötron (n,2n) tesir kesitleri için Flerov ve Talyzin'in elastik olmayan $\pi(0.12A^{1/3} + 0.21)^2$ ifadesi kullanılarak elde edilen fit sonuçlarının $(A^{1/3} + 1)^2$ ifadesine kıyasla daha uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Flerov ve Talyzin'in σ_{ne} (elastik olmayan) tesir kesiti teriminin $(A^{1/3} + 1)^2$ terimine göre yüzde 2-3 daha iyi korelasyon değeri verdiği sonucuna ulaşılmıştır.
- Literatürde ampirik (n,2n) elastik olmayan tesir kesiti formülleri hızlı nötronlar için $(A^{1/3} + 1)^2$ terimini içermektedir. Hızlı nötronlar için elastik olmayan tesir kesiti nükleer yarıçap ile orantılıdır ve bu nedenle, elastik olmayan tesir kesiti $(A^{1/3} + 1)^2$ teriminin kabaca πR^2 olarak alınmasıyla elde edilmektedir. $(A^{1/3} + 1)^2$ terimi elastik olmayan tesir kesiti hesaplamalar için takribi bir terim olduğundan dolayı bu çalışma sonucunda Flerov ve Talyzin'den elde edilen yeni bir ampirik $\pi(0.12A^{1/3} + 0.21)^2$ terimi literatüre kazandırılmıştır.
 - 14-15 MeV nötron (n,2n) tesir kesitleri için yarı ampirik kütle formülü etkilerinin araştırılması sonucunda, simetri parametreleri ile elde edilen formüllerin deneysel değerler ile karşılaştırıldığında ve değişken parametresini $(N-Z)^2/A$ olarak seçtiğimizde iyi sonuçlar elde edilmiştir. Polinomal fit yönteminin daha iyi uyum sağladığı gözlenmiştir ve elde edilen bu sonuçların

yarı ampirik nükleer kütle formülündeki simetri terimi parametreleri üzerindeki nükleer etkileri desteklemesi açısından önemli olduğu gözlenmiştir.

- Deneysel verilerden elde edilen asimetri parametresinin $(N-Z)/A$ bir fonksiyonu olarak 14-15 MeV enerjide $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitleri üzerindeki tek-çift etkilerini araştırıldığında, tek-çift çekirdeklerin tesir kesitlerinin çift-çift çekirdeklerin tesir kesitlerinden daha yüksek olduğu için polinom fit yönteminin en uygun fit yöntemi olduğunu gözlemledik.
- 14-15 MeV'de $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitleri hesaplamaları için hedef çekirdeklerin geometrik şekil (küresel veya deforme olması) özelliğine bağlı etkilerinin önem taşıdığı sonuçlarına varılmıştır. Gelecekte, deneysel veriler arttıkça, araştırmacılar tarafından $(n,2n)$ reaksiyon tesir kesitleri için elde edilen yeni formüller geliştirilebilir ve elde edilebilecek sonuçlar nükleer reaksiyon teorilerinin daha iyi anlaşılmasını, deforme olmuş veya kararlılık çizgisi dışında kalan bölgeye ait nükleer yapının desteklenmesini sağlayabilir.
- Çekirdek toplam bağlanma enerjisi ile ilgili olarak $s^2 = (N-Z)^2/A^2$ teriminin, yarı ampirik nükleer kütle formülü hesaplamalarında kullanılan çekirdeğin bağlanma enerjisindeki simetri terim etkisi üzerinde önemli bilgilerin elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.
- Yarı ampirik formüller ampirik formüllerden daha iyi sonuçlar vermesine rağmen pratik uygulamalarda ampirik formüller tercih edilmiştir. Ampirik formüllerin çoğu hafif çekirdekler için kütle bölgesini içermediğinden dolayı tesir kesiti hesaplamaları için ampirik formüllerin geliştirilmesi gereklidir.
- Kuantum mekaniği saçılma teorisi ve optik model parametreleri kullanılarak toplam reaksiyon tesir kesitleri için yapılan teorik hesaplamaların EXFOR veri kitaplığından alınan deneysel değerlerle iyi uyum sağladığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Kütle numarası A 'ya bağlı olarak toplam reaksiyon tesir kesitlerinin, yaklaşık 14-15 MeV nötron gelme enerjileri için Lineer fit yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlarda en düşük uyum olduğu görülmüştür. Toplam tesir kesitler için elde edilen bu sonuçlar, yaklaşık 14-15 MeV nötron enerjisi için deneysel verilerin eksikliği göz önüne alındığında, nötron reaksiyonlarına bir referans katkısı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Adam, A., Jeki, L., On the Shell effect in (n,2n) reaction cross section, *Acta Phys. Academiae Scientiarum Hungaricae* 26, 335-338, 1969.
- Barr, D.W., Browne, C.I., Gilmore, J.S., Interpretation of experimental (n,2n) excitation functions, *Phys. Rev.*123, 859, 1961
- Barschall, H.H., Taschek, R.F., Angular distribution of 14-MeV neutrons scattered by protons. *Phys. Rev.* 75(12), 1819–1822, 1949.
- Battat, M. E., Graves, E. R., Gamma rays from 14-MeV neutron bombardment of ^{12}C , *Phys. Rev.* 97: 1266–1267.1955.
- Bersillon, O., SCAT-2 code, OCDE-NEA-Data Bank-Computer Program Service, Package ID. NEA0829/03 (1991)
- Bouchez, R., Duclos, J., and Perrin, P., Scattering of 14 MeV neutrons from ^{12}C and excitation of the 7.65 MeV level. *Nucl. Phys.* 43: 628–635., 1963
- Bychkov, V.M., Plyaskin, V. I., Toshinskaya, E.H. F., Evaluation of the(n,2n) and (n,3n) cross-sections for heavy nuclei with allowance for non-equilibrium processes. INDC(CCP)-184/L. 1982
- Carlson B.V., Depto. de Física Instituto Tecnológico de Aeronáutica São José dos Campos SP, Brazil, <https://docplayer.net/135057572>
- Chatterjee, S., Chatterjee, A., Single-particle behaviour in fast neutron(n,2n) reactions, *Nucl. Phys. A* 125: 593–612. 1969
- Coon, J. H., Bockelman, C. K., Barschall, H. H., Angular distribution of 14-MeV neutron scattered by tritons. *Phys. Rev.* 81: 33–35. 1951.
- Csikai, J., *CRCHandbook of Fast Neutron Generators*. CRC Press, Boca Raton, FL. Exfor/Cs1srs, Experimental Nuclear Data File, National Nuclear Data Center, 1987
- Ferrer, J.C, Carlson, J.D, Rapaport, J., *Nucl. Phys.A* 275 (1977) 325-341
- Feshbach H., Weisskopf, V. F., A Schematic Theory of Nuclear Cross Sections, *Phys. Rev.* 76, 1550. 1949
- Flerov, N.N., Talyzin, V.M., Inelastic collision cross-sections of various elements for 14.5-MeV neutrons. *Journal of Nuclear Energy* (1954),4(4), 529-532. 1957
- Gittings. T., Barshall, H., Everhart, G.G., Inelastic Scattering of 14.5-Mev Neutrons by Lead, *Phys. Rev.* 75, 1610 ,1949
- Goyal, S.L., Gur, P., Empirical relation and establishment of Shell effects in (n,2n)

- reaction cross-sections at 14 MeV. *Pramana*, 72(2), 355-362, 2009
- Gravese. R., Davis R.W., Cross Sections for Nonelastic Interactions of 14-MeV Neutrons with Various Elements *Phys. Rev.* 97, 1205, 1955
- Graves E. R. and Davis R. W. *Phys. Rev.* 97, 1205, 1955
- Habbani, F.I., Osman, K.T., Systematics for the cross-sections of the reactions (n,p), (n, α) and (n,2n) at 14.5 MeV neutrons. *Applied Radiation and Isotopes*, 54 (2), 283-290, 2001
- Holub, E., Cindro, N. Study of some systematic trends and non-equilibrium effects in (n,2n) reactions for nuclei far from the symmetry line. *J. Phys. G: Nucl. Phys.* 2(6), 405-419, 1976
- Iwamoto, O., Development of a comprehensive code for nuclear data evaluation, Cccone, and validation using neutron-induced cross sections for uranium isotopes. *J. Nucl. Sci. Technol.* 44(5): 687-697, 2007
- Konobeyev, A. Yu., Korovin, Yu. A., Semi-empirical systematics of (n,2n) reaction cross-section at the energy of 14.5 MeV, *Nuovo Cimento A* 112(9): 1001-1013, 1999.
- Levkovskii, V.N., Relative cross sections of the (n,p) and (n, α) reactions on Elements with several stable isotopes, *J. Exptl. Theoret. Phys.*, 33, 1520-1521, 1957
- Levkovskii, V.N., Kovelskaya, G.E., Vinit'skaya, G.P., Stepanov, V.M., Sokolskii, V.V., Cross sections of the (n,p) and (n, α) reactions at 14.8 MeV. *Soviet Journal of Nuclear Physics* 8, 4, 1969
- Lilley, J. *Nuclear Physics Principles and Applications*, 2001)
- Lu, W.-D., Fink, R.W., Applicability of the constant nuclear temperature approximation in the statistical model analysis of neutron cross sections at 14.4 MeV for medium-Z nuclei. *Phys. Rev. C* 4, 1173-1181, 1971
- Luo, J., Tuo, F., Zhou, F., Kong, X., Semi empirical systematics for the cross-sections of the reactions (n, α), (n,p) and (n,2n) at 14.5 MeV neutrons on the basis of experimental data measured by Lanzhou University. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 266, 4862-4868, 2008
- Nemirovsky P.E, Physics investigations, Report of the Soviet Delegation to the International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy (Acad. Sci. USSR Press, p. 287, 1955
- Paic, G., Slaus, I., Tomas, P., $O^{16}(n,d)N^{15}g.s$ and $O^{16}(n,p)N^{16}$ reactions at 14.4

- MeV.Phys. Lett. 94: 147–149, 1964.
- Pasechnik, V., Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955. Vol. 2 p. 3. United Nations, 1956
- Pashchenko, A.B., Cross-sections for reaction induced by 14.5 MeV neutrons and by neutrons of Cf-252 and U-235 fission spectra. Report of the Institute of Physics and Power Engineering, No. 0236, Moscow, 1990
- Pearlstein, S.T., Analysis of (n,2n) cross sections for medium and heavy mass nuclei. Nuclear Science and Engineering, 23(3), 238-250, 1965
- Phillips, D.D., Davis, R.W., Graves, E.R., Inelastic Collision Cross Sections For 14 MeV Neutrons. Phys. Rev. 88(3): 600–602, 1952
- Pierre, C.S.T., Machwe, M.K., Lorrain, P., Elastic scattering of 14-MeV neutrons by Al, S, Ti, and Co. Phys. Rev. 215(4): 999–1003, 1959
- Poss, H.L., Salant, E.O., Snow, G.A., Yuan, L.C.L., Total cross sections for 14-MeV neutrons. Phys. Rev. 87(1): 11–20, 1952.
- Qaim, S.M., Total (n,2n) cross sections and isomeric cross-section ratios at 14.7 MeV in the region of rare earths. Nucl. Phys. A 224: 319–330, 1974
- Rayburn, L.A., Differential elastic scattering of 14-MeV neutrons by Zn, Sn, Sb, Pb, and Bi, Phys. Rev. 116(6): 1571–1574, 1959
- Ribe, F.L., Seagrave, J.D., The pick up reactions $^{10}\text{B}(n,d)^9\text{Be}$ for 14-MeV neutrons. Phys. Rev. 94: 934–940, 1954.
- Saikhanbayar, Ch., Odsuren, M., Khuukhenkhuu, G., Systematical analysis of (n,2n) reaction cross sections for 14 MeV neutrons. Scientific Transaction of The National University of Mongolia PHYSICS 31(536), 2020
- Schectman, R.M., Anderson, J.D. Inelastic scattering of 14 MeV neutrons. Nucl. Phys. 77(2), 241–253. 1966.
- Singletary, J.B., Wood, D. E., Scattering of 14-MeV neutrons by carbon, Phys. Rev. 114(6): 1595–1599, 1959
- Spaargaren, D., Jonker, C. C., Angular correlations in inelastic neutron scattering by carbon at 15.0 MeV, Nucl. Phys. A 161, 354–374, 1971
- Tel E, Bülbül A, Sarpün İ.H., Doğan A. Studies of Empirical Formulas for Total Reaction Cross Sections at 14-15 MeV Neutrons, 2022
- Tel, E., Aydin, A., Tanir, G., Investigation of the pairing effect using newly evaluated empirical studies for 14–15 MeV neutron reaction cross sections, Physical

- Review C,75(3), 034614,2007
- Tel, E., Bülbül, A., Yiğit M., A., Sarpün, İ.H., Kavun, Y., Applied Radiation and Isotopes, 192, 110613, 2023
- Tel, E., Bülbül, A., Sarpün, İ.H., Doğan, A., Applied Radiation and Isotopes, 191 110458, (2023),
- Tel, E., Okuducu, S., Aydın, A., Sarer, B., Tanir, G., The study of the (n,2n) reaction cross-sections for neighbor deformed nuclei in the region of rare-earth elements. Acta Physica Slovaca,54(2), 191-204, 2004
- Tel, E., Okuducu, Ş., Bölükdemir, M.H., Tanir, G., Semi-empirical systematics of (n,2n), (n,α) reactions cross sections at 14–15 MeV neutron energy, International Journal of Modern Physics E, 17(03), 567-583, 2008
- Tel, E., Şarer, B., Okuducu, Ş., Aydın, A., Tanir, G., A new empirical Formula for 14–15 MeV neutron-induced (n,p) reaction cross sections, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics,29(9), 2169, 2003.
- Valković, V., Miljanić, D., Tomaš, P., Antolković, B., Furić, M., Neutron-charged particle coincidence measurements from 14.4 MeV induced reactions. Nucl. Instr. Meth. 76, 29–34, 1969
- Valković, V., Tomaš, P., A position sensitive counter telescope for the study of Nuclear reactions induced by 14 MeV neutrons, Nucl. Instr. Meth.92, 559–562,1971
- Valković, V., Miljanić, D., Tomaš, P., Antolković, B., Furić, M., Neutron charged particle coincidence measurements from 14.4 MeV induced reactions, Nucl. Instr. Meth. 76: 29–34, 1969
- Valkovic, V., 14 MeVneutrons: Physics and applications, CRC press, 2016
- Whitmore, B.G., Dennis G.E., The Inelastic Scattering of Fast Neutrons in Lead and Bismuth, Phys. Rev. 84,296 ,1951.
- Weiskopf, V., Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955. Vol. 2 p. 23. United Nations, 1956
- Whitmore, B.G., The Inelastic Scattering of Fast Neutrons in Carbon and Lead, Phys. Rev. 92, 654 ,1953
- Yiğit, M., Analysis of thereaction Q-value effect using newly evaluated empirical formulas of (n,2n) cross-sections near 14.6 MeV, International Journal of Modern Physics E, 29(02), 2050005, 2020

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı, Soyadı : Aydoğın DOĞAN

2. Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	FİZİK	ODTÜ	1995
Yüksek Lisans	Eğitim Bilimleri	Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi	2011

3. Akademik Ünvanlar:

Görevi	Bölümü	Kurumu	Yıl
Öğretmen	Fen Bilimleri	Milli Eğitim Bakanlığı	27

4.İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Öğretmen	TOKAT	27

YAYINLAR:

Uluslararası hakemli Science Citation Index- SCI dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Tel, E., Bülbül, A., Sarpün, İ.H., Doğan, A., Applied Radiation and Isotopes, 191 110458, (2023),

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

1. E.Tel, I.H. Sarpün, A.Doğan, Y. Kavun, Semi Empirical Nuclear Mass Formula Effects For (n,2n) Reaction Cross Sections at 14-15 MeV, INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, NATURAL AND APPLIED SCIENCE, November 24-26 , 2021, Osmaniye –TURKEY
2. E. Tel, I. H. Sarpün, A. Doğan, A. Bülbül, M. Yiğit, Nucleonic Odd-Even Effects For (n,2n) Reaction Cross Sections at 14-15 MeV, XV. International Conference on Nuclear Structure Properties, 28-30 June 2022, Kırıkkale University, Türkiye
3. E.Tel, İ.H. Sarpun, A.Doğan, Investigation of (n,2n) non-elastic cross sections for target nuclei at 14-15 MeV, 7TH INTERNATIONAL AEGEAN CONFERENCES on Natural and Medical Sciences April 26-27, 2023/ Izmir, Turkey ,
4. Eyyup TEL, İsmail Hakkı SARPÜN, Aydoğan DOĞAN, Studies of Empirical Formulas for Total Reaction Cross Sections at 14-15 MeV Neutrons, 40th International Workshop on Nuclear Theory (WNT 2023). 2-8 July Rila Mountains, Bulgaria, 2023



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI BENZERLİK RAPORU FORMU
(SAVUNMA SONRASI)

FORM
TEZLİ YL-24

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı	AYDOĞAN DOĞAN
Öğrenci Numarası	1911103301
Ana Bilim/ Ana Sanat Dalı	FİZİK
Danışman Unvanı, Adı-Soyadı	Prof. Dr. EyyupTEL
Tez Başlığı (Türkçe)	Flerov-Talyzın Formülü Kullanılarak (N,2n) Reaksiyonları İçin Yeni Yarı-Ampirik Tesir Kesiti Formüllerinin Elde Edilmesi

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract c) Giriş, d) Ana bölümler, e) Sonuç ve f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 67 sayfalık kısmına ilişkin, 09 /07 /2024 tarihinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 16 'tır.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar hariç,
- 4- 5 Kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Tarih ve İmza
Öğrenci

Danışman Onayı
UYGUNDUR

Unvanı, Adı Soyadı
(İmzası)

Enstitü Onayı
UYGUNDUR

Adı Soyadı
(İmzası)

AÇIKLAMALAR

1. Lisansüstü tezler, savunma öncesinde benzerlik raporu ile birlikte Enstitüye teslim edilir.
2. Benzerlik raporu ile ilgili olarak etik kurallar dâhilindeki benzerlik oranları ilgili Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenir. (Enstitü Yönetim Kurulu tarafından tezin, intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için TURNITIN'den alınan raporda "benzerlik oranı"nın, "alıntılar hariç" en fazla %10, "alıntılar dahil" % 30'u geçmemesi şeklinde kabul edilmiştir).