

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ SAÇILMASININ $E_{LAB}=145-1120$ MeV ENERJİ
ARALIĞINDA OPTİK MODEL ANALİZLERİ**

Merve TÖLÜLER

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ertan KÜRKCÜOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA-2015**

©2015 [Merve TLLER]

TEZ ONAYI

Merve TLLER tarafından hazırlanan "¹⁶O+¹⁶O Saçılmasının $E_{LAB}=145-1120$ MeV Enerji Aralığında Optik Model Analizleri" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü FİZİK ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ertan KRKOĐLU
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri yesi

Prof. Dr. İskender AKKURT
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri yesi

Yrd. Doç. Dr. Rıdvan BALDIK
Bülent Ecevit Üniversitesi

Enstitü Müdür V. Doç. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Merve TULÜLER



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1.Nükleer Reaksiyonlar	2
1.1.1. Elastik saçılma	5
1.1.2. İnelastik (elastik olmayan) saçılma.....	6
1.2. Reaksiyon Tesir-Kesiti	7
1.2.1. Diferansiyel tesir-kesiti ve saçılma genliği	9
2. KAYNAK ÖZETLERİ	12
3. YÖNTEM.....	18
3.1. Etkileşim Potansiyeli	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	26
4.1.Elastik Saçılma Analizleri.....	26
4.1.1. Temel potansiyeller ile yapılan analizler	26
4.1.2. Sığ ek-potansiyeller ile yapılan analizler	32
4.1.3. Derin ek-potansiyeller ile yapılan analizler	38
4.2 İnelastik Saçılma Analizleri	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	56

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ SAÇILMASININ $E_{LAB}=145-1120$ MeV ENERJİ ARALIĞINDA OPTİK MODEL ANALİZLERİ

Merve TÜLÜLER

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ertan KÜRKCÜOĞLU

Hafif-ağır çekirdeklere ait saçılmalar, optik model (OM) yaklaşımı ile yoğun olarak çalışılmaktadır. Bu modeldeki temel problem, teorik hesaplamalar için deneysel ölçüm sonuçlarını başarıyla üretebilen bir OM potansiyel yapısının belirlenmesi işlemidir. Bu tezde, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sisteminin $E_{LAB}= 145, 250, 350, 480, 704$ ve 1120 MeV enerjileri için elastik ve inelastik saçılma temelinde yapılan OM analizleri sunulmaktadır. Hesaplamalar, nükleer potansiyelin oluşturulmasında 12 farklı fenomenolojik potansiyel setinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. İncelenen nükleer potansiyellerin genel yapısı; derin, çekici bir gerçel kısım ile nispeten sığ, soğurucu bir sanal bileşenden oluşmaktadır. Tüm hesaplamalar için nükleer potansiyel ile gelme enerjileri ilişkilendirilmeye çalışılmış ve böylelikle, global bir OM analizinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Teorik hesaplamalar ile deneysel veriler arasındaki uyum, χ^2 hata hesabı ile belirlenmiştir. Araştırmamız, iki temel potansiyel yapı üzerine kurulmuştur. Her iki temel potansiyelin gerçel kısımları, ortak parametrelere sahip Woods-Saxon kare (WS2) formunda alınmıştır. Birinci temel potansiyelin sanal kısmı yine WS2 formunda seçilirken ikinci temel potansiyel için Woods-Saxon (WS) formu tercih edilmiştir. Öncelikle, bu iki temel form kullanılarak başarılı elastik OM analizlerine ulaşılmış ve birinci temel potansiyel formunun yer aldığı hesaplamaların deneysel verilerle daha uyumlu sonuçlar ürettiği bulunmuştur. Daha sonra, temel potansiyellerimizin gerçel veya sanal kısımlarına Woods-Saxon Derivatif (WSD) formuna sahip derin veya sığ yapıda ek-potansiyeller eklenerek 8 potansiyel seti daha oluşturulmuş ve bu setler için de elastik OM hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Ek-potansiyelli analizlere ait sonuçlar karşılaştırıldığında; sanal kısımda ek-potansiyelin kullanıldığı durumlarda, gerçel kısma eklenen ek-potansiyelli yapılara göre daha başarılı sonuçlar üretildiği görülmüştür. Ancak, hiçbir ek-potansiyelli analiz, $WS2+iWS2$ temel potansiyel formuyla elde edilen analizden daha iyi bir sonuca ulaşamamıştır. Son olarak, deneyle teori arasındaki uyumu arttırmak amacıyla, incelenen iki temel potansiyel seti için 2^+ ve 3^- uyarılmış kanallarının hesaplamalara dahil edilmesiyle inelastik saçılma analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılması için en başarılı OM analizlerine, $WS2+iWS2$ formundaki bir nükleer potansiyel için uygun deformasyon parametreleriyle birlikte, inelastik saçılma formalizmi altında 2^+ ve 3^- uyarılmış durumlarının da dikkate alınmasıyla ulaşılabileceği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sistemi, elastik saçılma, inelastik saçılma, optik model, fenomenolojik potansiyel, diferansiyel tesir-kesiti.

2015, 57 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

OPTICAL MODEL ANALYSES OF THE $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ SCATTERING IN THE ENERGY RANGE OF $E_{LAB}=145-1120$ MeV

Merve TLLER

Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Physics

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet Ertan KRKOLU

Optical model (OM) approach is intensively used for studying the scattering of light heavy-ions. The main problem in this model is to determine the shape of the OM potential that must reproduce the experimental measurement results successfully. In this thesis, OM analyses of the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ system at the incidence energies $E_{LAB}=145, 250, 350, 480, 704$ and 1120 MeV have been presented for elastic and inelastic scattering basis. The calculations have been achieved by using 12 different phenomenological potential sets that formed the nuclear potential shapes. In general, the structure of the considered nuclear potentials was consisted of a deep, attractive real part and a relatively shallow, absorptive imaginary part. For all the calculations, it was made a special effort to relate the parameters of a nuclear potential and incidence energies. Thus, it was aimed to reach a global OM analysis. The agreement between the theoretical calculations and the experimental data were determined by χ^2 criterion. Our research was based on two main potential structures. For both of two main potentials, the shape of the real parts has been taken in Woods-Saxon Square (WS2) form with the same parameter values. The imaginary part of the first main potential has been chosen in WS2 form, while Woods-Saxon (WS) shape preferred for the second one. In initial calculations, successful elastic OM analyses have been obtained by using those two main forms. The calculations with the first main potential shape have been yielded more suitable results for explaining the experimental data. Then, new elastic OM analyses have been performed for 8 more potential sets, which have been composed by adding a deep or shallow additional-potential form to the real or imaginary parts of two main potential forms. The structure of the all additional-potentials was chosen in Woods-Saxon Derivative (WSD) form. When the results of the analyses with additional-potentials have been compared, it has been revealed that, more successful results have been produced in the cases when the additional-potentials were used in the imaginary parts, rather than in the real parts. However, none of the analysis with an additional-potential can provide a better result than the outcomes of the main potential form of $WS2+iWS2$. Finally, in order to improve the agreement between the experiment and the theory, we have performed inelastic scattering analyses for two main potential sets by including 2^+ and 3^- channels in to the calculations. In conclusion, it was found that, the most successful OM analyses can be reached for the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ scattering, when a nuclear potential form of $WS2+iWS2$ is used with appropriate deformation

parameters and considering 2^+ and 3^- excited states the in inelastic scattering formulation.

Keywords: $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ reaction, elastic scattering, inelastic scattering, optical model, differential cross-section, phenomenological potential.

2015, 57 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ertan KÜRKCÜOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Gökhan COF'a teşekkür ederim.

3747-YL1-13 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Merve TÖLÜLER
ISPARTA, 2015

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Yük yoğunluğunun nükleer yarıçapa göre değişimi	2
Şekil 1.2. Nükleer etkileşmelerin sınıflandırılması	5
Şekil 1.3. Saçılma geometrisi (saçılan parçacık demeti ile θ ve ϕ deki $d\Omega$ katı açısı içerisinde saçılan parçacıklar ima edilmektedir)	8
Şekil 2.1. $E_{LAB}=124, 145, 250$ MeV enerjileri için ölçülen $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılma açısal dağılım verilerinin OM çatısı altında fenomenolojik (düz çizgi) ve katlı (kesikli çizgi) potansiyel fitleri ile karşılaştırılması. İlgili OM parametreleri Çizelge 2.1’de verilmiştir	13
Şekil 2.2. Şekil 2.1 ile aynıdır fakat bu grafikte $E_{LAB}=350$ ve 480 MeV enerjiler için sunulmaktadır	14
Şekil 2.3. Şekil 2.1 ile aynıdır fakat bu grafikte $E_{LAB}=704$ ve 1120 MeV enerjiler için sunulmaktadır	14
Şekil 2.4. Birinci (boş daireler) ve ikinci (dolu daireler) Airy minimumlarının açısal konumunun gelen enerjisine karşı gösterdiği davranış	15
Şekil 2.5. Fenomonolojik potansiyeller ile yapılan hesaplamalar (düz çizgi) ile deneysel verilerin (daire) karşılaştırılması	16
Şekil 3.1. WS şekil çarpanı ve diferansiyel formu	19
Şekil 3.2. WS (düz çizgi) ve $WS2$ (kesikli çizgi) formlarının r uzaklığına göre değişimlerinin karşılaştırılması.....	20
Şekil 3.3. ^{16}O çekirdeğinin enerji düzeyleri	24
Şekil 3.4. Oblate, Küresel ve Prolate çekirdek formları	24
Şekil 4.1. Gerçel kısma ait potansiyel derinliği ile gelme enerjisi arasındaki ilişki.....	28
Şekil 4.2. Sanal kısma ait potansiyel derinliğinin gelme enerjisine göre değişimi	28
Şekil 4.3. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerinde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasına ait deneysel tesir-kesiti ölçümlerinin, temel potansiyel formlarının kullanıldığı yeni OM analizleriyle karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, siyah düz çizgi T_1 formuyla ve kahverengi noktalı çizgi ise T_2 formuyla elde edilen sonuçları temsil etmektedir.....	31
Şekil 4.4. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerinde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasına ait deneysel tesir-kesiti ölçümlerinin, T_1 temel potansiyeli kullanan analizle ve S_1 ve S_3 sığ ek-potansiyellerin kullanıldığı yeni OM analizleriyle karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, siyah düz çizgi T_1 temel potansiyeli, mor noktalı çizgi gerçel kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (S_1) ve yeşil kesikli çizgiler ise sanal kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (S_3) kullanarak elde edilen tesir-kesiti hesaplamalarını göstermektedir.....	36
Şekil 4.5. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerinde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasına ait deneysel tesir-kesiti ölçümlerinin, T_2 temel potansiyeli kullanan analizle ve S_2 ve S_4 sığ ek-potansiyellerin kullanıldığı yeni OM	

	analizleriyle karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, kahverengi düz çizgi T_2 temel potansiyeli, mor noktalı çizgi gerçel kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (S_2) ve yeşil kesikli çizgiler ise sanal kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (S_4) kullanarak elde edilen tesir-kesiti hesaplamalarını göstermektedir	37
Şekil 4.6.	$E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerinde $^{16}O+^{16}O$ elastik saçılmasına ait deneysel tesir-kesiti ölçümlerinin, T_1 temel potansiyeli kullanan analizle ve D_1 ve D_3 derin ek-potansiyellerin kullanıldığı yeni OM analizleriyle karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, siyah düz çizgi T_1 temel potansiyeli, gri noktalı çizgi gerçel kısma eklenen derin ek-potansiyelleri (D_1) ve turuncu kesikli çizgiler ise sanal kısma eklenen derin ek-potansiyelleri (D_3) kullanarak elde edilen tesir-kesiti hesaplamalarını göstermektedir	41
Şekil 4.7.	$E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerinde $^{16}O+^{16}O$ elastik saçılmasına ait deneysel tesir-kesiti ölçümlerinin, T_2 temel potansiyeli kullanan analizle ve D_2 ve D_4 sığ ek-potansiyellerin kullanıldığı yeni OM analizleriyle karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, kahverengi düz çizgi T_2 temel potansiyeli, mor noktalı çizgi gerçel kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (D_2) ve turuncu kesikli çizgiler ise sanal kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (D_4) kullanarak elde edilen tesir-kesiti hesaplamalarını göstermektedir	42
Şekil 4.8.	Gerçel kısma ait potansiyel derinliklerinin gelme enerjisine göre lineer değişimi	44
Şekil 4.9.	Sanal potansiyel derinlikleri ile gelme enerjileri arasındaki logaritmik ilişki.....	44
Şekil 4.10.	Temel potansiyellerin gerçel kısımları için kullanılan difüzyon parametresinin gelme enerjine bağlı değişimi	45
Şekil 4.11.	İnelastik saçılma hesaplamaları için sanal kısımda kullanılan indirgenmiş yarıçap parametrelerinin gelme enerjine bağlı değişimi	46
Şekil 4.12.	$^{16}O+^{16}O$ inelastik saçılmasının 2^+ ile 3^- uyarılmış durumları için temel potansiyel setlerle yapılan analiz sonuçları ile deneysel ölçümlerin karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). 6-enerji için saçılma desenini daha iyi inceleyebilmek amacıyla saçılma açısı 70° 'ye kadar alınmıştır. Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, koyu mavi düz çizgi V_1 temel potansiyeli ve açık mavi kesik çizgi ise V_2 temel potansiyeli temsil etmektedir	48

Şekil 4.13. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjileri için elastik ve inelastik saçılmalara ait seçilen temel potansiyel formlarının birbirleriyle ve deneysel ölçümlerle karşılaştırılması..... 49

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Nükleer reaksiyonlara örnekler ve bu reaksiyonlardan edinilen bilgiler.....	4
Çizelge 1.2. Tesir-kesitlerinin bulunmasında kullanılan teknikler ve uygulamaları	9
Çizelge 2.1. 124-1120 MeV enerji aralığında $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması için yapılan OM analizlerinde kullanılan parametreler ve χ^2 değerleri	13
Çizelge 2.2. Sanal potansiyeller için OM parametreleri	16
Çizelge 3.1. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ inelastik saçılmasında kullanılan r_0 değerinin 2^+ ve 3^- uyarılmış durumları için elde edilen β değerleri	25
Çizelge 4.1. Temel potansiyellerle yapılan analizlerde kullanılan parametreler ve χ^2 değerleri.....	27
Çizelge 4.2. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerindeki OM analizleri için Eşitlik (4.5) ile verilen S_1 ve S_3 tipindeki nükleer potansiyellerin oluşturulmasında kullanılan sığ ek-potansiyellere ait parametreler ve bu analizlerin χ^2 değerleri (Hesaplamalarda T_1 temel potansiyeli için Çizelge 4.1'de verilen parametreler kullanılmıştır).....	33
Çizelge 4.3. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerindeki OM analizleri için S_2 ve S_4 tipindeki nükleer potansiyellerin oluşturulmasında kullanılan sığ ek-potansiyellere ait parametreler ve bu analizlerin χ^2 değerleri..	35
Çizelge 4.4. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerindeki OM analizleri için D_1 ve D_3 tipindeki nükleer potansiyellerin oluşturulmasında kullanılan derin ek-potansiyellere ait parametreler ve bu analizlerin χ^2 değerleri (Hesaplamalarda T_1 temel potansiyelleri için Çizelge 4.1'deki parametreler kullanılmıştır).	38
Çizelge 4.5. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerindeki OM analizleri için D_2 ve D_4 tipindeki nükleer potansiyellerin oluşturulmasında kullanılan derin ek-potansiyellere ait parametreler ve bu analizlerin χ^2 değerleri.	39
Çizelge 4.6. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ inelastik saçılmasının OM analizleri için kullanılan temel potansiyel setlerine ait dinamik ve geometrik parametreler. Analizler, sadece 2^+ uyarılmış durumu için ve 2^+ ile 3^- uyarılmış durumları için gerçekleştirilerek, teorik hesaplamaların diferansiyel tesir-kesiti ölçümleriyle olan uyumları χ^2 hata hesaplarıyla ayrıca değerlendirilmiştir	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Kütle numarası
a	Mermi çekirdek
a_i	Difüzyon parametresi
t	Kabuk kalınlığı
b	Ürün parçacık
$d\Omega$	Katı açısı
E_0	Durgun kütle enerjisi
E_b	Bağlanma enerjisi
E_x	Uyarılma enerjisi
E_{LAB}	Laboratuvar koordinat sisteminde gelme enerjisi
$f(\theta)$	Saçılma genliği
fm	Fermi (femtometre, $10^{-15}m$)
mb	Milibarn
I_0	Hedefe gelen parçacıkların akısı
MeV	Mega elektron volt
N	Nötron sayısı
N_b	Çıkan parçacıkların sayısı
N_σ	Toplam deneysel veri sayısı
OM	Optik Model
Q	Reaksiyon enerjisi
r_i	İndirgenmiş yarıçap
$V(r)$	Etkileşim Potansiyeli
V_0	Gerçek potansiyel derinliği
V_C	Coulomb potansiyeli
$V_{NR}(r)$	Nükleer potansiyelin gerçek kısmı
$V_\ell(r)$	Merkezcil potansiyel
$V_N(r)$	Merkezi (nükleer) potansiyel
$W_{NI}(r)$	Nükleer potansiyelin sanal kısmı
WS	Woods-Saxon
WS2	Woods-Saxon kare
WSD	Woods-Saxon türev
W_V	Sanal hacim potansiyel derinliği
X	Hedef çekirdek
Y	Ürün çekirdek
Z	Proton sayısı
$Z_p e$	Gelen çekirdek yükü
$Z_t e$	Hedef çekirdeğin yükü
$\Delta\sigma_{ex}$	Deneysel tesir kesitindeki hata oranı
$\rho(r)$	Yük yoğunluğu
χ^2	Hata hesabı
μ	Mermi ve hedef çekirdeğin indirgenmiş kütlesi
σ	Reaksiyon tesir-kesiti
σ_{ex}	Deneysel tesir kesiti
σ_t	Toplam tesir-kesiti
σ_{th}	Teorik tesir kesiti

1.GİRİŞ

Çekirdeği anlama çalışmaları, 20. yüzyılın başlarında “nükleer atom” modeli fikri ile başlamıştır. Parçacık hızlandırıcıları ile çekirdek reaksiyonlarının gerçekleştirilmesi, nötronun keşfinin ardından pozitron ve diğer alt parçacıkların bulunması ve bununla birlikte gelişen nükleer reaksiyon fiziği ile teknolojinin ve bilimin gelişimine önemli katkılar sağlanmıştır.

Fizikte atomların, moleküllerin veya temel parçacıkların yapısı, özellikleri ve bu parçacıklar arasındaki etkileşme mekanizmalarının anlaşılabilmesi için saçılma deneyleri oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu saçılma deneylerine ait sonuçlar, fizikte plazma fiziği, astrofizik, biyofizik, yüzey fiziği ve nükleer fizik gibi farklı disiplinlerde çeşitli uygulamalara sahiptir.

Bir atomdaki bütün proton ve nötronlar, atomun boyutuna kıyasla çok küçük bir alana sahip olan çekirdekte yer alırlar. Proton ve nötron ikisi birlikte nükleon olarak adlandırılır. Bir çekirdeğin yarıçapı,

$$R = r_0 A^{1/3} \quad (1.1)$$

ifadesiyle verilmektedir. Burada r_0 , elektrostatik yarıçaptır ve yaklaşık olarak $1,2 \text{ fm}$ alınmaktadır ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$). Deneysel çalışmalar, tüm çekirdeklerin merkez yoğunluklarının aynı olduğunu ve yarıçapın $A^{1/3}$ ile orantılı olarak değiştiğini göstermektedir.

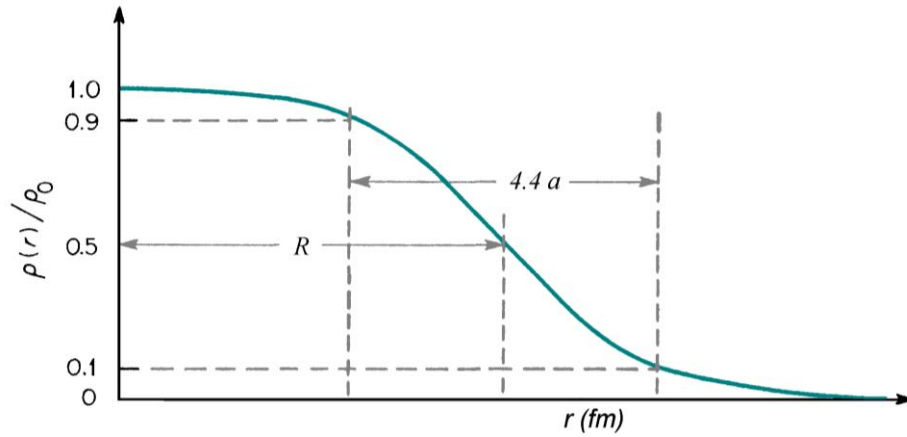
Nükleer fizikte çekirdeğin gösterimi ${}^A_Z X_N$ formundadır. Burada Z , atom numarasıdır ve atomda bulunan proton sayısına eşittir. N , nötron sayısını, A ise kütle numarasını temsil eder. Kütle numarası, proton ve nötron sayılarının toplamından elde edilmektedir ($A=Z+N$). Bir elementin bütün atomlarındaki proton sayısı aynıdır. Örneğin, oksijenin atom numarası 8’dir ve dolayısıyla 8 proton bulunduran bütün atomlar oksijen elementine aittir. Bir elementin atomları arasında nötron sayısı farklılık gösterebilir. Farklı nötron sayılarına sahip aynı element atomlarına izotop, nötron sayısı aynı proton sayısı farklı olan elementlere de izoton denir. Kütle

numarası aynı olan çekirdeklere ise izobar denilmektedir. Kütle numarası $A \leq 4$ olan, çoğunlukla mermi çekirdeği olarak hedefi bombardıman etmek için kullanılan çekirdekler hafif çekirdekler ve kütle numarası $A > 4$ olan, mermi olarak kullanılmak istendiğinde bir hızlandırıcı ile hızlandırılan iyonlar ise ağır iyonlar olarak adlandırılmaktadır.

Çekirdeğin yük yoğunluğu yarıçapa bağlı olarak

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + \exp\left(\frac{r - r_\rho}{a_\rho}\right)} \quad (1.2)$$

şeklinindedir. Eşitlik (1.2) ile verilen bağıntıda bulunan ρ_0 çekirdeğin merkez yük yoğunluğu, r_ρ çekirdeğin yük yoğunluğunun yarıya düştüğü mesafe ve a_ρ çekirdek kabuk kalınlığının bir ölçüsüdür. r ise çekirdeğin merkezi ile gelen mermi çekirdeğin nükleer kuvvetten etkilenmeye başladığı yer arasındaki uzaklıktır. Kabuk kalınlığı “ t ” olarak ifade edilir ve Şekil 1.1’de gösterildiği gibi nükleer yoğunluğun %90’ından %10’una düştüğü uzaklığa eşittir ($t=4,4a$).



Şekil 1.1. Yük yoğunluğunun nükleer yarıçapa göre değişimi (Kürkçüoğlu, 2006).

1.1.Nükleer Reaksiyonlar

Nükleer reaksiyonlar, çekirdek tepkimesi olarak da bilinmektedir. Tepkimeler, bir reaktörden, bir hızlandırıcıdan veya bir radyoaktif kaynaktan çıkan enerjik

parçacıklar ile hedefteki bir çekirdeğin bombardıman edilmesi ile oluşmaktadır. Bir nükleer reaksiyonda genellikle, tepkimeye giren iki parçacık bulunur; bunlardan birisi hedef durumundaki ağır çekirdek, ötekisi de bombalayan hafif parçacıktır. Tepkime sonucunda ise iki yeni parçacık ortaya çıkar; bunlardan birisi daha ağırlaşmış bir çekirdek; öteki de fırlatılardan daha hafif bir parçacıktır. Bombardıman eden parçacık, alfa parçacığı, gamma ışını fotonu, nötron, proton, döteron ya da ağır bir iyon olabilir. Bu şekilde gerçekleştirilen farklı çekirdek reaksiyonlarına ait saçılma deneyleri, nükleonlar arasındaki kuvvetlerin aydınlatılması ve çekirdeğin yapısının daha iyi anlaşılabilmesi bakımından nükleer fiziğin önemle üzerinde durduğu bir alan olmuştur (Satchler, 1980; Brandan ve Satchler, 1997).

1911 yılında Ernest Rutherford günümüz atom modelinin temelini teşkil eden yapıyı ortaya koymuş ve atomun, kütesinin büyük bir kısmını oluşturan bir çekirdek ve bu çekirdek etrafında dönen elektronlardan oluştuğu fikrini öne sürmüştür. Rutherford'un 1919'da gerçekleştirdiği alfa saçılması deneyi ilk nükleer reaksiyon olarak yorumlanabilmektedir. Bu nükleer reaksiyonda, azotu alfa parçacıklarıyla bombalamış ve tepkime sonucunda fırlatılan parçacığın hidrojen çekirdeğine (bir başka deyişle proton olduğuna); azot çekirdeğinin de çok ender rastlanan bir oksijen izotopuna dönüştüğünü gözlemiştir.

Yapay olarak hızlandırılmış parçacıklarla oluşturulan ilk nükleer reaksiyon ise 1930 yılında İngiliz fizikçiler J.D. Cockcroft ve E.T.S. Watson tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu tepkimede, lityum çekirdeği, hızlandırılmış protonlarla bombardıman edilerek iki helyum çekirdeği (alfa parçacığı) elde edilmiştir (Cockcroft ve Watson, 1932). Yüklü parçacıkları giderek daha fazla hızlandırıp daha yüksek enerjilere çıkarmak olanaklı oldukça, yüksek enerjili birçok nükleer reaksiyon oluşturulmuş ve mezonlar, baryonlar ve rezonans parçacıkları olarak adlandırılan çeşitli temel parçacık türleri ortaya çıkmıştır. 1932 yılında J.D. Chadwick ise nötronu (adı, elektrik yükü 0 olduğu için, yani nötr olmasından dolayı nötron olmuştur) bulmuş ve bu sayede 1935'te Nobel Fizik Ödülü'nü almıştır.

Nükleer reaksiyonlar genel olarak



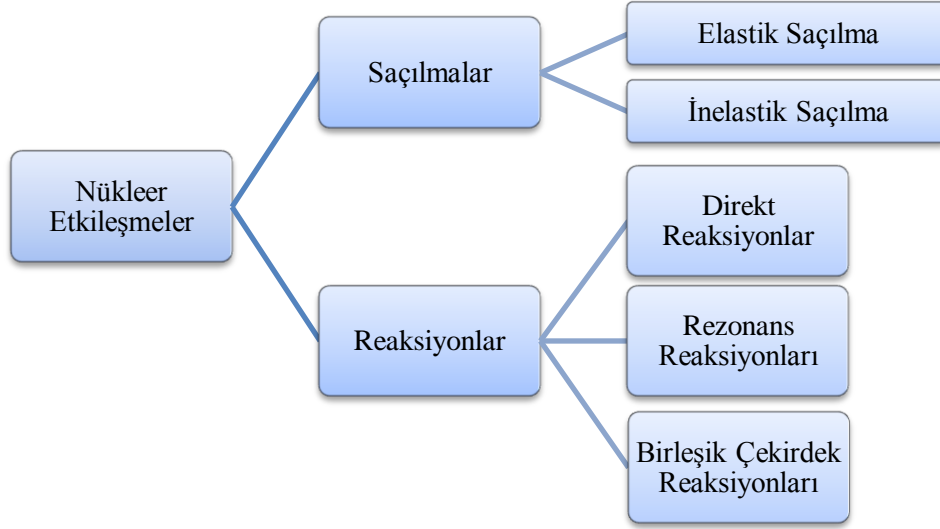
şeklinde gösterilmektedir. Bu gösterimde yer alan, a : hedefe gönderilen mermi çekirdek, X : hedef çekirdek, Y : ürün çekirdek (kalan çekirdek), b : ürün parçacığı ve Q : reaksiyon sırasında açığa çıkan enerjiyi ifade etmektedir. Eşitlik (1.3)'deki reaksiyonun başka bir gösterimi $X(a,b)Y$ şeklindedir. Ortak özellikli reaksiyonların sınıflanabilmesi açısından bu gösterim çok kullanışlıdır.

Çekirdek büyüklüğü, yük dağılımı ve çekirdek kuvvetlerinin karakteri gibi çekirdeklerin özelliklerini belirlemede kullanılan önemli bilgiler, nükleer reaksiyonlar ve nükleer saçılmanın yer aldığı deneyler sayesinde öğrenilmektedir. Uyarılma ve bağlanma enerjilerinin ölçülmesinde ve enerji düzeylerinin kuantum sayılarının saptanmasında enerji değiş-tokuşu yapan reaksiyonlar kullanılabilirler (Kürkçüoğlu, 2006). Nükleer reaksiyonlar için, nükleer enerji ve çekirdek hakkında öğrenebileceklerimiz kabaca Çizelge 1.1'de verilmektedir.

Çizelge 1.1. Nükleer reaksiyonlara örnekler ve bu reaksiyonlardan edinilen bilgiler (Yılmaz, 2005 kaynağından uyarlanmıştır).

Reaksiyon	Öğrenilen
Nükleon-nükleon saçılması	Temel nükleer kuvvet
Çekirdeklerin elastik saçılması	Çekirdek boyutu ve etkileşim potansiyeli
Uyarılmış düzeylerde inelastik saçılma	Enerji düzey yerleşimi ve kuantum sayıları
İnelastik saçılma	Dev rezonanslar (Titreşim modları)
Transfer veya knockout reaksiyonları	Tabakalı modelin ayrıntıları
Füzyon reaksiyonları	Astrofiziksel süreçler
Fisyon reaksiyonları	Sıvı-damlası modelinin özellikleri
Birleşik çekirdek oluşumu	Çekirdeğin istatistiksel özellikleri
Çoklu parçalanma (multifragmentation)	Nükleer maddenin fazları, Kollektif model
Pion reaksiyonları	Nükleer 'glue' kavramının araştırılması
Elektron saçılması	Çekirdeğin kuark yapısı

Nükleer reaksiyonlar farklı şekillerde sınıflandırılabilirler. Şekil 1.2’de gösterildiği gibi nükleer etkileşmeler, saçılmalar ve reaksiyonlar olarak iki ana başlık altında gösterilebilir.



Şekil 1.2. Nükleer etkileşmelerin sınıflandırılması (Kürkçüoğlu, 2006 kaynağından uyarlanmıştır).

Şekil 1.2’de gösterilen reaksiyonlar kısmı, tez çalışmasının kapsamı dışında olduğundan tartışılmamıştır. Sadece tez çalışmasının içeriğinde yer alan saçılmalar kısmı açıklanmaktadır.

Nükleer reaksiyonlar enerjilerine göre de sınıflandırılabilir: hedef üzerine gelen mermi parçacığın enerjisi, nükleon başına 10 MeV ya da daha küçükse “düşük enerjili nükleer reaksiyonlar”, gelme enerjisi nükleon başına 100 MeV-1 GeV arasında ise “orta enerjili nükleer reaksiyonlar” ve nükleon başına enerji 1 GeV den daha büyükse “yüksek enerjili nükleer reaksiyonlar” olarak adlandırılmaktadır.

1.1.1. Elastik saçılma

Elastik saçılma işlemi çarpışmadan önceki ve sonraki toplam kinetik enerjilerin sabit kaldığı durumda gerçekleşir. Bu işlemde ilk etkileşme, doğrudan hedef nükleonlarla çarpışma olmaksızın hedef çekirdeğin şekli ile büyüklüğüne ve bunların oluşturduğu potansiyel kuyusunun biçimine bağlı olarak dalga fonksiyonunun kısmi bir yansıması

biçimindedir (Krane, 1988). Elastik saçılmada bir reaksiyonda bulunan giriş kanalı ($a+X$) ile çıkış kanalı ($Y+b$) birbirine eşittir. Yani mermi parçacık ile reaksiyondan çıkan parçacık ve hedef çekirdek ile kalan çekirdek birbirleri ile aynıdır ($a=b$; $X=Y$) ve reaksiyonun Q -değeri sıfırdır (Satchler, 1980). Elastik saçılma işlemi,

$$a + X \rightarrow X + a \quad (1.4)$$

biçiminde gösterilmektedir. Burada, a hedef çekirdek, X ise hedefe gönderilen mermi çekirdektir. Eşitlik (1.4)'de hedef çekirdek ve hedefe gönderilen mermi çekirdek uyarılmamaktadır. Yani, hedefe gönderilen çekirdek daha sonra hedef çekirdek ile arasındaki etkileşmeye bağlı olarak geliş doğrultusundan saparak saçılmaktadır. Çekirdeklerin iç dinamiklerinde herhangi bir değişimin olmadığı elastik saçılma işlemine $^{208}\text{Pb}(n,n)^{208}\text{Pb}$ örnek olarak gösterilebilmektedir. Elastik saçılma, karmaşık mermi ve hedefler arasındaki en basit etkileşmedir. Saçılan iki çekirdek arasındaki etkileşim potansiyeliyle ilgili bilgi edinmek için elastik saçılma hafif-ağır iyon fiziğinde aktif bir şekilde çalışılmaktadır (Satchler, 1983).

1.1.2. İnelastik (elastik olmayan) saçılma

Mermi Coulomb engelini aşabilecek enerjiye sahipse, bir nükleon ile doğrudan bir etkileşme söz konusu haline gelir. Gelen parçacığın nükleonuna ait dalga fonksiyonunun bir parçası hedef çekirdeğe girerek hedef çekirdeğin nükleonunu boş bir seviyeye çıkarabilir. İnelastik saçılma işleminde, reaksiyondan çıkan parçacık ile mermi birbirleriyle aynı olmalarına karşın farklı kinetik enerjilere sahiplerdir. Bu durumda a mermisi, uyardığı hedef çekirdeği daha düşük bir enerji ile terk edecektir. İnelastik saçılma işlemi,

$$a + X \rightarrow X^* + a' + Q \quad (1.5)$$

şeklinde gösterilmektedir. Eşitlik (1.5) de verilen a' , ürün parçacığı (kinetik enerjisi değişmiş olarak hedeften saçılan mermi), X^* ise X çekirdeğinin uyarılmış bir durumunu ifade etmektedir. Q -değeri ise toplam kinetik enerjidir ve inelastik saçılmalar için sıfırdan farklıdır. Hedef çekirdeğin X^* uyarılmış durumuna geçmesi

için gereken uyarılma enerjisi (E_x) olarak gösterilir ise $Q=-E_x$ olarak ifade edilebilmektedir (Satchler, 1980). a 'nın karmaşık bir çekirdek olması durumunda hem hedef hem de merminin uyarılmasıyla sonuçlanan inelastik saçılma işlemi, başka bir gösterim şekli olarak $X(a,a^*)X^*$ formu ile verilmektedir. Buna örnek olarak $^{208}\text{Pb}(^{12}\text{C}, ^{12}\text{C}^*)^{208}\text{Pb}^*$ saçılması verilebilmektedir.

Amerikalı parçacık fizikçisi Henry W. Kendall, 1968 yılında J. Isaac Friedman ve Richard E. Taylor ile birlikte Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi (SLAC)'nde gerçekleştirdikleri inelastik saçılma deneyleri ile öncü niteliğindeki çalışmalarından dolayı 1990 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmışlardır.

1.2. Reaksiyon Tesir-Kesiti

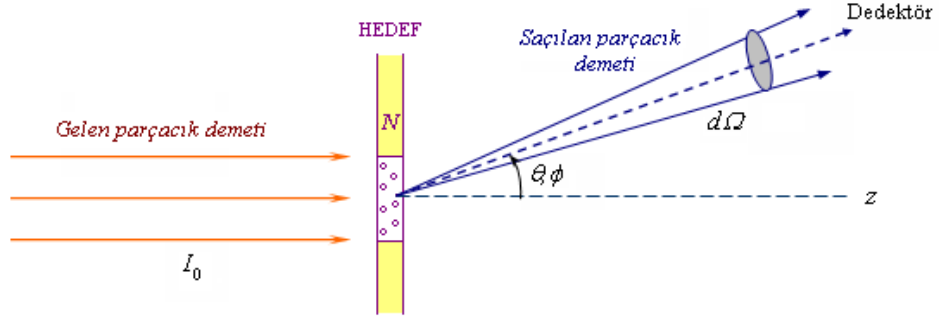
Bir nükleer etkileşme, reaksiyon ürünlerinin açılarını ve kinetik enerjilerini ölçmek için çalışılmaktadır. Belirli bir kinetik değişkenler kümesi açısından en önemli nicelik, reaksiyonun tesir-kesitidir. Nükleer fizikte önemli bir yere sahip olan tesir-kesiti kavramı (Satchler, 1980; Krane, 1988; Aydın, 1997; Taşan, 2001; Bayrak, 2004; Kürkçüoğlu, 2006; Cof, 2013) saçılmanın (veya reaksiyonun) oluşabilme ihtimali olarak tanımlanmaktadır.

Gelen parçacıklar etkileşme sonucu hedeften saçıldığında (reaksiyonlarda ise yayımlanan parçacıklar), konumlandırılan uygun uzaklıktaki dedektörler tarafından sayılır. Nükleer reaksiyonlar için tesir-kesiti (σ), yayımlanan b parçacıkların sayısının (N_b), birim yüzeyden geçen a parçacıklarının sayısı (I_0) ile demet içindeki hedef çekirdek sayısına (N) oranı ile verilmektedir. Birimi "barn" ($1 \text{ barn}=10^{-24} \text{ cm}^2=100 \text{ fm}^2$) olan tesir-kesiti için bu oran

$$\sigma = \frac{N_b}{I_0 N} \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Gelen demete θ ve ϕ kutupsal açılar doğrultusunda birim zamanda yayınlanan b parçacıklarının sayısını kaydetmek için bir dedektör kullanılırsa, yayınlanan b parçacıklarının sayısının $d\Omega$ katı açısına da bağlı olacağı Şekil 1.3'te gösterilmektedir. Buradaki orantı sabiti ise diferansiyel tesir-kesiti, $d\sigma/d\Omega$, olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.3. Saçılma geometrisi (saçılan parçacık demeti ile θ ve ϕ deki $d\Omega$ katı açısı içerisinde saçılan parçacıklar ima edilmektedir) (Kürkçüoğlu, 2006).

Nükleer fizik uygulamalarının birçoğu, b parçacığının sadece belirli açıda yayınlanma olasılığı ile değil, ürün çekirdek Y 'nin belirli enerjisine karşılık, belirli enerjide yayınlanma olasılığı ile ilgilenilir. Dolayısıyla, tesir-kesitinin tanımını, b parçacığının $d\Omega$ katı açısında ve dE_b enerji aralığında gözleme olasılığını verecek şekilde değiştirilir. Bu bize, çift katlı diferansiyel tesir-kesiti denilen $d^2\sigma/dE_b d\Omega$ niceliği verir. Kesikli durumlar için dE_b enerji aralığında yalnızca tek bir düzey bulunabilir ve fark önemsizdir. İlgilenebilecek diğer bir tesir-kesiti ise b parçacıklarının demet eksenine göre belirli bir açıda gözlemlenmesi olasılığından elde edilen diferansiyel tesir-kesitidir. Diferansiyel tesir-kesitinin tüm açılar üzerinden integralinin alınması sonucu toplam tesir-kesiti elde edilir ve σ_t ile gösterilir (Krane, 1988). Farklı ölçümler için kullanılan tesir-kesitlerinin açıklanmalı bir şekilde sınıflandırılması Çizelge 1.2'de verilmektedir.

Çizelge 1.2. Tesir-kesitlerinin bulunmasında kullanılan teknikler ve uygulamaları (Krane, 1988).

Tesir-Kesitleri	Sembol	Teknik	Uygulaması
Toplam	σ_t	Demetin İncelenmesi	Zırlama
Reaksiyon	σ	Tüm açılar ve b'nin tüm enerjileri üzerinden integrasyon	Bir nükleer reaksiyonda Y radyoizotop üretimi
Diferansiyel (Açısal)	$d\sigma/d\Omega$	(θ, ϕ) de b'nin gözlenmesi fakat tüm enerjiler üzerinden integrasyon	Belirli bir doğrultuda b parçacıklar demetinin oluşumu
Diferansiyel (Enerji)	$d\sigma/dE$	b gözlenmez fakat ardışık γ yayınlanması ile Y'nin uyarılması gözlenir	Y'nin uyarılmış durumlarının bozunmasının incelenmesi
Çift diferansiyel	$d^2\sigma/dE_b d\Omega$	Belirli bir enerjide b (θ, ϕ) 'de gözlenir	b açısal dağılımı ile Y'nin uyarılmış durumları hakkında bilgi edinme

1.2.1. Diferansiyel tesir-kesiti ve saçılma genliği

Hedef etrafına konumlandırılan bir dedektörün etkileşme sonucu saçılan parçacıkların sadece küçük bir kesrini görebileceği için, reaksiyon ürünlerinin açısal dağılımları hakkında bilgi edinmek açısından diferansiyel tesir-kesiti çok önemli bir yere sahiptir. Saçılma problemi için kuantum mekaniğinin kuralları uygulanarak diferansiyel tesir-kesiti hesaplanabilmektedir. Saçılma problemini ele alırken kuantum mekaniğinde şu temeller kabul edilir (Kürkçüoğlu, 2006):

- i. Saçılma probleminde mermilerin duran bir hedef üzerine gönderildiği kabul edilir. Bahsedilen hedef çok ağır ise, etkileşme sonrası hedefin hareketi ihmal edilebilmektedir. Fakat, gönderilen mermi parçacığının kütlesi hedef çekirdeğinin kütlesine yakın ise, etkileşmeye iki cisim problemi açısından yaklaşılır. İki cisim problemi, indirgenmiş kütlelerin bir potansiyel tarafından saçılması problemine dönüştürülerek incelenmektedir.
- ii. Etkileşme potansiyelinin sonlu bir bölgede etkin olduğu kabul edilir. Yani, gelen parçacık yeterince uzakta iken hiç bir potansiyelin etkisi altında olmadan bir serbest parçacık gibi davranmalıdır. Böylece, asimptotik olarak düzlem dalgaların kullanılabilmesi sağlanmış olur.

Saçılan dalganın açısal dağılımı, saçılma genliği olarak tanımlanmaktadır ve $f(\theta)$ ile gösterilmektedir. Nükleer etkileşmeler için tesir-kesiti deneysel olarak ölçülebildiği gibi ayrıca kuantum-mekaniksel işlemler kullanılarak da diferansiyel tesir-kesiti saçılma genliği cinsinden hesaplanabilir. Diferansiyel tesir-kesiti ile saçılma genliği arasındaki ilişki

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(\theta)|^2 \quad (1.7)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Bu bağıntı ile verilen yaklaşımın matematiksel olarak aşamaları Kürkcüoğlu (2006) kaynağında açıkça verilmektedir. Diferansiyel tesir-kesiti, Eşitlik (1.7)'de verilen saçılma genliğinin hesaplanması ile elde edilmektedir.

Nükleer reaksiyonlarda iki çekirdek arasındaki etkileşmelerin tam olarak ifadesi nükleer fizik için çok-parçacık probleminin ortadan kaldırılması ile mümkündür. Bu ise matematiksel güçlükler içermesi açısından henüz çözülememiş zor bir problemdir (Brandan ve Satchler, 1997). Bu nedenle çok parçacıklı sistemler için, sistemde bulunan parçacıklar arasındaki ve parçacıklarla parçacık grupları arasındaki kuvvetlerle ilgilenmek yerine, parçacıkların oluşturduğu sistemlere ait önemli özellikleri dikkate alan optik model (OM) (Satchler, 1980; Satchler, 1983; Brandan ve Satchler, 1997; Aydın, 1997), bozunmuş dalga Born yaklaşımı (DWBA) (Satchler, 1980; Satchler, 1983) ve katlı-model (folding-model) (Satchler, 1983; Brandan ve Satchler, 1997) gibi bazı nükleer modeller üzerinde durulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ve nükleer saçılmaları açıklamada başarılı olan OM, 3. Bölümde detaylı olarak verilmektedir.

Hafif-ağır iyon reaksiyonlarının nükleer modeller ile teorik olarak incelenmesinde temel problem, deneysel verileri açıklamak için en uygun potansiyel yapının belirlenmesidir. Bu probleme yönelik literatürde yapılan birçok çalışmaya rağmen, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılması için $E_{LAB}= 145, 250, 350, 480, 704$ ve 1120 MeV gelme enerjilerinde fenomenolojik potansiyellerle yapılan OM hesaplamalarında elastik saçılma için temel potansiyellerin gerçel ve sanal kısımlarına eklenen derin ve sığ yapıdaki ek potansiyeller ile inelastik saçılma için hesaplanan temel potansiyel yapısının birlikte incelendiği çalışmaya rastlanılmaması, bu tezde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sisteminin

ilgili enerji aralığında teorik olarak çalışılması için yeterli motivasyonu sağlamaktadır.

Bu tezin amacı ise, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılmasında nükleon başına yaklaşık 10 MeV ve üstü enerji bölgesi için OM çerçevesinde Fresco programı (Thompson, 1997) kullanılarak elastik saçılmada elde ettiğimiz temel potansiyel yapısına %10 sığ ve %80 derin yapıda ek potansiyeller eklenmesi ve inelastik saçılmada ise temel potansiyel yapılarının hesaplanarak deneysel tesir-kesiti ölçümleri ile en uyumlu sonuçları verecek parametrelerin araştırılması ve hesaplamaların deneysel ölçümlerle tutarlılığının χ^2 hata hesabı ile kontrol edilmesi üzerinedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İki oksijen çekirdeğinin yer aldığı, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılması nükleer fizikte deneysel olarak (Maher vd., 1969; Sugiyama vd., 1993; Bartnitzky vd., 1996; Kondo vd., 1996; Brandan ve Satchler, 1997; Khoa vd., 2000) ve teorik olarak (Maher vd., 1969; Kondo vd., 1989; Brandan ve Satchler, 1991; Sugiyama vd., 1993; Brandan ve Satchler, 1997; Nicoli vd., 1999; Khoa vd., 2000; Gonzalez ve Brandan, 2001; Khoa vd., 2005) yoğun şekilde çalışılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen teorik çalışmalar genel olarak, deneysel verileri en iyi açıklayan nükleer potansiyelin belirlenmesi ekseninde şekillenmektedir. Bu bölümde, 145 MeV ile 1120 MeV arasındaki enerjilerde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılmasına ait daha önce gerçekleştirilen OM çerçevesindeki teorik çalışmalar kısaca özetlenmektedir.

Khoa ve arkadaşları 2000 yılında, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması için $E_{LAB}=124, 145, 250, 350, 480, 704$ ve 1120 MeV enerjilerinde fenomenolojik potansiyel ve çift-katlı model kullanarak OM analizleri yapmışlardır. Bu çalışmada, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasına ait verilerin; $E_{LAB}=250, 350$ ve 480 MeV için HMI (Hahn-Meitner Institute) ve $E_{LAB}=704$ ile 1120 MeV için GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds) ölçülerinden alındığı bildirilmektedir. Hesaplamalarda, optik potansiyelin gerçel ve sanal kısımlarını $WS2$ formunda aldıklarını ve saçılma desenini tanımlayabilmek için, sanal kısma bir WSD yüzey terimi eklediklerini bildirmişlerdir. Bu çalışmada OM analizinde,

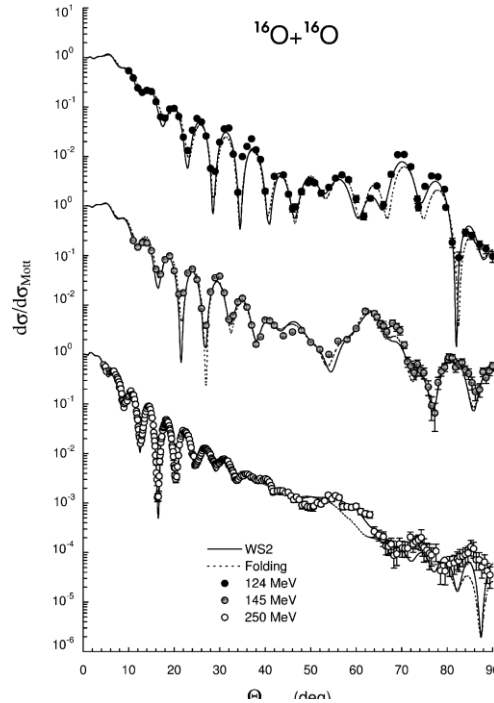
$$U(r)=V_c(r)-V_n f_n(r)-iW_v f_v(r)-iW_d g_d(r) \quad (2.1)$$

bağıntısı kullanılmıştır. Eşitlik (2.1) de Coulomb potansiyelini gösteren $V_c(r)$ için yarıçap, $R_c=3,54$ fm alınmıştır. İlgili enerjiler için bu OM analizinde kullanılan parametreler Çizelge 2.1'de verilmektedir. Analizler, Ptolemy programı (Macfarlane vd., 1980) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Khoa vd., 2000).

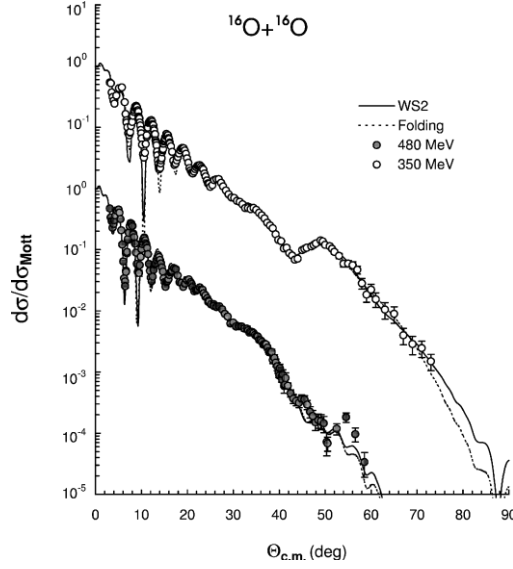
Çizelge 2.1. 124-1120 MeV enerji aralığında $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması için yapılan OM analizlerinde kullanılan parametreler ve χ^2 değerleri (Khoa vd., 2000 kaynağından uyarlanmıştır).

<i>Enerji</i> (MeV)	V_n (MeV)	R_n (fm)	a_n (fm)	W_v (MeV)	R_v (fm)	a_v (fm)	W_d (MeV)	R_d (fm)	a_d (fm)	χ^2
124	452,9	3,720	1,608	14,85	5,550	0,296	5,049	6,479	0,539	8,4
145	385,3	4,180	1,430	9,107	6,800	0,866	16,01	5,421	0,435	9,0
250	311,0	4,337	1,336	34,86	5,148	0,887	9,250	5,356	0,737	7,6
350	367,1	3,967	1,528	28,16	6,315	0,978	8,426	4,641	0,344	4,2
480	282,0	4,297	1,363	40,45	5,900	1,100	3,745	4,911	0,257	4,7
704	294,8	4,128	1,468	41,99	5,937	0,990	2,481	4,643	0,222	2,6
1120	214,6	4,294	1,503	48,41	5,543	1,346	0,0	-	-	26,3

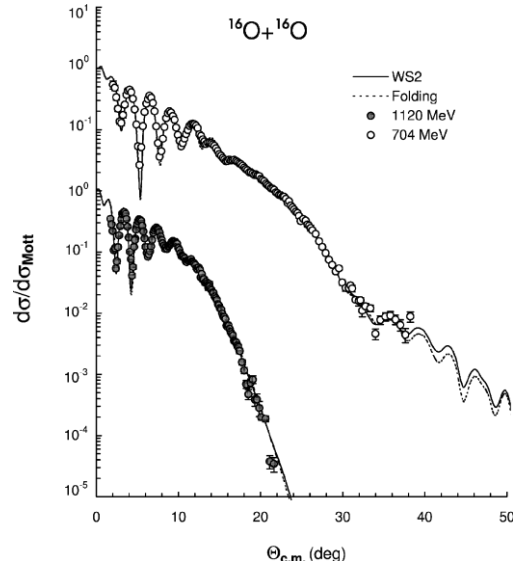
$E_{LAB}= 124, 145, 250, 350, 480, 704$ ve 1120 MeV enerjileri için $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılma açısıl dağılım verilerinin, OM çerçevesinde, fenomenolojik ve katlı potansiyeller ile yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3'te verilmektedir.



Şekil 2.1. $E_{LAB}=124, 145, 250$ MeV enerjileri için ölçülen $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılma açısıl dağılım verilerinin OM çatısı altında fenomenolojik (düz çizgi) ve katlı (kesikli çizgi) potansiyel fitleri ile karşılaştırılması. İlgili OM parametreleri Çizelge 2.1'de verilmiştir (Khoa vd., 2000).



Şekil 2.2. Şekil 2.1 ile aynıdır fakat bu grafikte $E_{LAB}=350$ ve 480 MeV enerjiler için sunulmaktadır (Khoa vd., 2000).

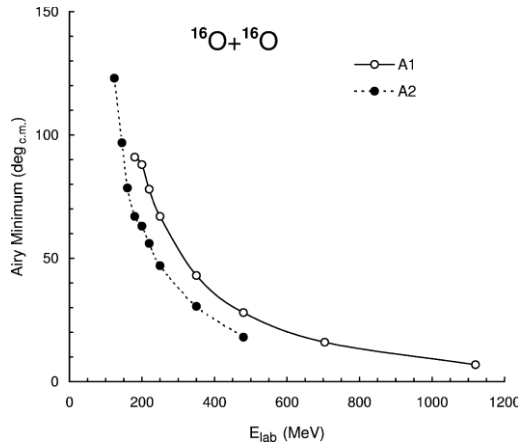


Şekil 2.3. Şekil 2.1 ile aynıdır fakat bu grafikte $E_{LAB}=704$ ve 1120 MeV enerjiler için sunulmaktadır (Khoa vd., 2000).

Daha önce, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması için $E_{LAB}=124$ ve 145 MeV de Airy yapıları Kondo ve arkadaşları tarafından farklı potansiyel ailesi gruplarıyla incelenmiştir (Kondo vd., 1996). Khoa ve arkadaşları da, bu önceki çalışmada verilen grup IV deki V_n potansiyel derinliği kullanarak uygun model parametreleri üzerinde bir araştırma yapmış ve Çizelge 2.1'de gösterilen bir WS2 potansiyel ailesi bulmuşlardır. Derin gerçel ve nispeten sığ sanal potansiyellerden oluşan bu ailenin Kondo ve arkadaşları tarafından daha önce önerilen IV-9 grubu ile oldukça uyumlu olduğu bildirilmiştir.

Kondo ve arkadaşları grup IV olarak isimlendirilen bu optik potansiyel ailesinin 124 MeV verisi için 90° civarında bir minimum ürettiğini (üçüncü derece Airy minimumu A3), bu yüzden en gerçekçi potansiyel seti olduğunu ileri sürmüşlerdir (Kondo vd., 1996).

Khoa ve arkadaşları artan enerji karşısında kırıcı yapının gelişimini inceledikleri çalışmalarında (Khoa vd., 2000), A_1 ve A_2 Airy minimumlarının pozisyonlarının enerji bağımlılığı bu 7 enerji için saptamış ve ilk Airy minimumu A_1 ile birlikte, en belirgin gökkuşağı desenine 350MeV verilerinde ulaştığını rapor etmişlerdir. Khoa ve arkadaşları yaptıkları OM analizinden hareketle elde ettikleri elastik (uzak taraf) $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ tesir-kesiti için birinci ve ikinci Airy minimumlarının pozisyonlarının enerji bağımlılığını gösteren bir sonuç elde etmişlerdir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Birinci (boş daireler) ve ikinci (dolu daireler) Airy minimumlarının açılal konumunun gelen enerjisine karşı gösterdiği davranış (Khoa vd., 2000).

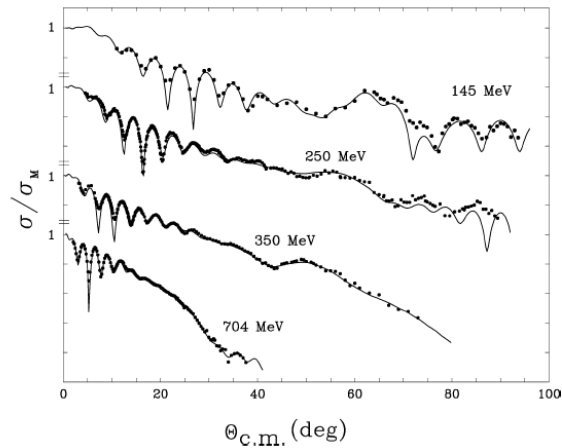
Başka bir araştırmada ise, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ reaksiyonu için potansiyelin enerjiye bağımlılığı $E_{LAB}=124-1120$ MeV enerji aralığında çalışılmıştır (Gonzalez ve Brandan, 2001). 10 MeV/nükleon ve daha yüksek enerjilerde fenomenolojik OM potansiyellerinin zayıf sanal bir kısım ile derin gerçel bir kısma sahip oldukları rapor edilmiştir. Potansiyellerin enerji bağımlılığı, hacim integralleri dikkate alınarak incelenmiş ve enerjinin düzgünce değişen bir fonksiyonu olarak ortaya konmuştur (enerji bağımlılığının fenomenolojik optik potansiyellerden kaynaklandığı bildirilmektedir).

Bu çalışmada fenomenolojik nükleer potansiyellerle yapılan OM hesaplamaları için WS2 formunda bir gerçel kısım ile WSD hacim artı WSD yüzey şeklinde bir sanal kısım kullanılmıştır (Gonzalez ve Brandan, 2001).

Sanal potansiyel için kullanılan parametreler Çizelge 2.2’de sunulmaktadır. $E_{LAB}=145, 250, 350$ ve 704 MeV için bu fenomenolojik potansiyelde gerçekleştirilen OM analizleri Şekil 2.5 de verilmektedir. $E_{LAB}=124-1120$ MeV enerji aralığında $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılması için potansiyelin enerjiye bağımlılığından hareketle sanal potansiyelin şeklinin araştırıldığı bu çalışmada, sanal kısmın sadece bir hacim teriminden oluştuğu basitleştirilmiş durum önerilmiştir (Gonzalez ve Brandan, 2001).

Çizelge 2.2. Sanal potansiyeller için OM parametreleri (Gonzalez ve Brandan, 2001).

E_{lab} (MeV)	W_0 (MeV)	R_W (fm)	a_W (fm)	W_D (MeV)	R_D (fm)	a_D (fm)	J_W (MeV fm ³)
124	16.0	6.86	0.970	0			62.9
145	16.8	6.80	0.883	0			65.2
250	34.2	6.05	1.13	0.40	6.86	0.600	89.2
350	29.7	6.27	1.02	7.63	4.62	0.321	98.2
480	40.5	5.90	1.10	3.74	4.91	0.257	102.5
704	42.0	5.94	0.990	2.48	4.64	0.222	107.1
1120	48.4	5.54	1.35	0			96.5



Şekil 2.5. Fenomonolojik potansiyeller ile yapılan hesaplamalar (düz çizgi) ile deneysel verilerin (daire) karşılaştırılması (Gonzalez ve Brandan, 2001).

350MeV enerjisinde yapılan deneyde gözlenen gökkuşağı yapısının enerji bağımlılığını göstermek amacıyla yapılan diğer bir çalışmada, 240-480 MeV

arasındaki enerjilerde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması incelenmiştir. Bu çalışmada, hesaplamalar için optik potansiyelin gerçel kısmı çift-katlı modelin genelleştirilmiş bir versiyonu ile elde edilmiştir (Khoa vd., 1991).

Bartnitzky ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalışmada, 250 ve 704 MeV aralığındaki 4 enerji de $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılma tesir-kesitleri ölçülmüş ve hesaplamalar için model-bağımsız bir analiz kullanılmıştır (Bartnitzky vd., 1996).

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması için 145 MeV ve üstü enerjilerde yapılan diğer çalışmalara da kısaca şu şekilde özetlenebilir: Kondo ve arkadaşları, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sistemindeki rezonans olgusunu araştırmışlar ve bu çalışmada derin iyon-iyon potansiyellerini kullanmışlardır (Kondo vd., 1989). Diğer bir çalışmada ise, nükleer gökkuşağı verileri yeniden analiz edilerek deneysel verilere eşit biçimde uyum sağlayan üç farklı optik potansiyel formu tanıtılmıştır (Kondo vd., 1990). Sugiyama ve arkadaşları, 350 MeV de gözlenen gökkuşağı saçılmasını 145 MeV de araştırmak için elastik saçılma açısal dağılımlarını deneysel olarak ölçmüşlerdir (Sugiyama vd., 1993). Bir başka çalışma da 350 MeV deki $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasının 2-basamaklı bir yöntem kullanılarak tersine analiz edilmesi üzerine olup, çalışma sadece düzgün potansiyeller elde edilecek biçimde kısıtlamıştır (Cooper ve Mackintosh, 1994).

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasının fenomenolojik potansiyellerle OM de incelendiği çalışmalara genel olarak bakıldığında kullanılacak nükleer potansiyelin yapısı; soğrulmadan sorumlu, zayıf bir sanal potansiyel kısmı ile katlı modelle uyumlu sonuçlar veren, WS2 formunda, çekici, derin bir gerçel potansiyel kısmının birleşimi şeklindedir (Kürkçüoğlu vd., 2006).

3.YÖNTEM

OM, nükleer saçılmaları tanımlamada kullanılan ve soğurmanın olması halinde elastik saçılmayı başarılı bir şekilde inceleyen temel bir modeldir.

Elastik saçılma işlemi, gelen parçacığın enerjisinde belirgin bir düşme olmadan Coulomb bariyerinden düşük enerjilerde oluşabilmektedir. Mermi ile hedefin etkileşimi sırasında gelen akının bir kısmı inelastik kanallara gitmektedir. Böylece etkileşim sonrası giden akı azalmaktadır. Bu durum, etkileşimin sadece gerçel kısımdan oluşan etkileşim potansiyeliyle tanımlanamayacağını göstermektedir (Aydın, 1997; Kürkçüoğlu, 2006; Cof, 2014). Bu durumu açıklamak için, karmaşık bir etkileşim potansiyelini kullanan OM ortaya atılmıştır. Bu potansiyel gerçel kısmın yanı sıra uyarılmış kanallarla etkileşimi gösteren sanal bir kısımdan oluşmaktadır. OM, yalnızca uyarılmış kanallara giden net akıyı ifade etmektedir. Bu nedenle OM hesaplamalarında elastik saçılma için, soğurulan parçacıkların esnek kanallarda kaybolduğu kabul edilmektedir (Satchler, 1980; Krane, 1988). Böylece, karmaşık etkileşim potansiyelinin gerçel kısmı elastik saçılmadan, sanal kısmı ise soğurulmadan (inelastik saçılmadan) sorumludur (Satchler 1980; Satchler, 1983). Bu karmaşık potansiyel, ışığın karmaşık kırılma indisli bir ortamda sergilediği yansıma, soğurulma ve kırınım özelliklerine benzerliğinden dolayı optik potansiyel olarak adlandırılır. Bu tanıma uyan literatürdeki ilk optik potansiyel

$$V(r) = \begin{cases} -(V_0 + iW) & r \leq r_0(A_p^{1/3} + A_t^{1/3}) \\ 0 & r \geq r_0(A_p^{1/3} + A_t^{1/3}) \end{cases} \quad (3.1)$$

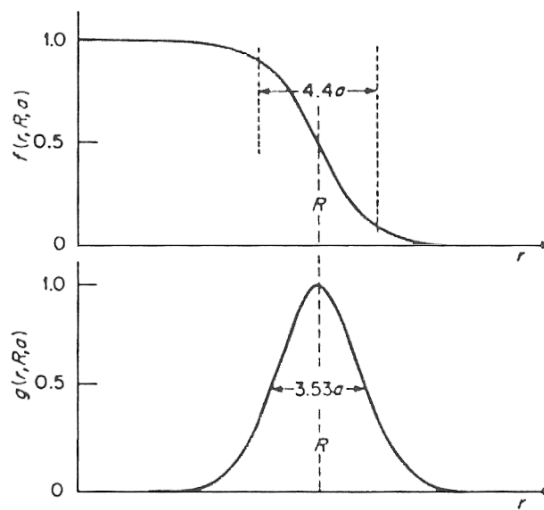
şeklinde olup Feshbach ve arkadaşları tarafından öne sürülmüştür (Feshbach vd., 1954). Eşitlik (3.1)'de V_0 , bu optik potansiyelin gerçel kısmının derinliği ve W ise sanal kısmın derinliğini ifade etmektedir. r , etkileşim yarıçapı ve r_0 , indirgenmiş yarıçaptır. A_p ve A_t sırasıyla mermi ve hedefin kütle numaralarıdır.

Optik modeli uygulayabilmek için ilk önce uygun bir potansiyel şeklin belirlenmesi gerekmektedir. Büyük uzaklıklarda, gelen parçacık ve hedef arasındaki nükleon-nükleon etkileşmesi üstel olarak azaldığından aranan optik potansiyelinde aynı

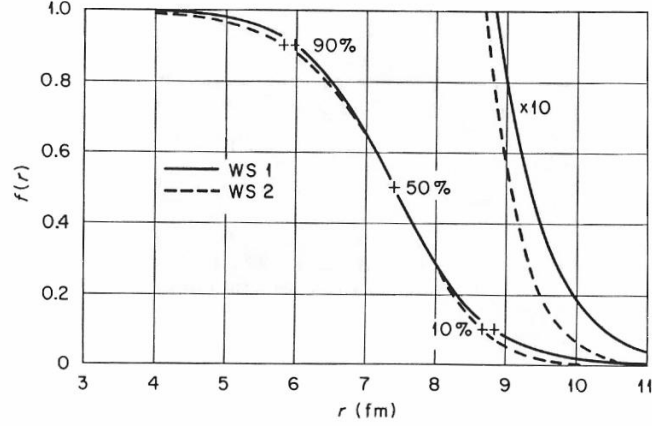
davranışı göstermesini beklemek doğaldır (Krane, 1988; Kürkçüoğlu, 2006). Woods-Saxon tarafından, optik potansiyel için en uygun şeklin, artan yarıçapla üstel olarak azalan ve çekirdek kuvvetlerinin doyum özelliğini sağlayacak şekilde sabit olan Woods-Saxon (WS) formunda olduğu öne sürülmüştür (Woods-Saxon, 1954). WS şekil çarpanının yapısı

$$f^n(r, r_i, a_i) = \frac{1}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - r_i (A_p^{1/3} + A_t^{1/3})}{a_i}\right)\right]^n} \quad (3.2)$$

formundadır. Bu eşitlikte, r , mermi ve hedef çekirdek merkezleri arasındaki uzaklık, r_i ise çekirdek potansiyelinin merkez değerinin yarısına düştüğü yarıçaptır (indirgenmiş yarıçap). Eşitlik (3.2)'de WS formu için $n=1$ ve Woods-Saxon kare (WS2) formu için $n=2$ alınmaktadır. a_i ise yaygınlık (difüzyon) parametresi olarak adlandırılmaktadır ve potansiyelin maksimum değerinin %90'undan %10'una düştüğü noktalar arasındaki uzaklıkla orantılıdır. $f(r, r_i, a_i)$ ve bunun türevi olan $g(r, r_i, a_i)$ fonksiyonlarının uzaklığa göre değişimleri Şekil 3.1'de gösterilmektedir. WS ve WS2 formlarının uzaklığın bir fonksiyonu olarak davranışları ise Şekil 3.2'de verilmektedir. Burada her iki potansiyel formu arasındaki fark daha iyi görülebilmesi için 10 kat büyütülerek ayrıca gösterilmektedir.



Şekil 3.1. WS şekil çarpanı ve diferansiyel formu (Satchler, 1980; Cof, 2014).



Şekil 3.2. WS (düz çizgi) ve WS2 (kesikli çizgi) formlarının r uzaklığına göre değişimlerinin karşılaştırılması (Satchler, 1983; Kürkçüoğlu, 2006).

3.1. Etkileşim Potansiyeli

Fenomenolojik potansiyellerin yer aldığı OM hesaplamaları için kullanılan etkileşim potansiyelinin yapısı

$$V(r) = V_C(r) + V_{NR}(r) + iV_{NI}(r) + \hbar^2 \{V_{SR}(r) + iV_{SI}(r)\}(\vec{S} \cdot \vec{L}) + V_\ell(r) \quad (3.3)$$

formundadır. $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ reaksiyonu için, $\vec{S} \cdot \vec{L} = 0$ olacağından spin-yörünge potansiyeli terimi düşmekte ve böylece OM hesaplamaları için kullanılacak etkileşim potansiyeli

$$V(r) = V_C(r) + V_N(r) + V_\ell(r) \quad (3.4)$$

formunu almaktadır. Bu eşitlik sırasıyla, Coulomb potansiyeli, nükleer potansiyel ($V_N(r) = V_{NR}(r) + iV_{NI}(r)$) ve merkezci potansiyelden oluşmaktadır. Eşitlik (3.4)'te Coulomb ve merkezci potansiyellerin yapıları iyi bilinirken, nükleer potansiyelin yapısının iyi bilinmemesi hafif-ağır iyon reaksiyonlarının incelenmesinde temel problemlerden birisidir.

Coulomb potansiyeli, R_C yarıçaplı bir kürenin potansiyeli olarak, yüklü parçacıkların etkileşimlerinde kullanılır ve

$$V_C(r) = \begin{cases} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_p Z_t e^2}{r}, & r \geq R_C \\ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_p Z_t e^2}{2R_C} \left(3 - \frac{r^2}{R_C^2} \right), & r < R_C \end{cases} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilir (Satchler, 1980; Kürkçüoğlu, 2006; Cof, 2014). $Z_p e$ ve $Z_t e$ sırasıyla gelen çekirdek ve hedef çekirdeğin yükünü temsil eder ve Eşitlik (3.5) da yer alan Coulomb yarıçapı $R_C = r_C (A_p^{1/3} + A_t^{1/3})$ şeklindedir. $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ reaksiyonu için, yapılan hesaplamalarda $r_C = 1,2 \text{ fm}$ olarak bulunmuştur (Brandan ve Satchler, 1997; Kürkçüoğlu, 2006; Cof, 2014).

Optik modelde, nükleer potansiyelin gerçel kısmı için fenomenolojik ve mikroskobik potansiyeller kullanılabilir. Bu çalışmada, $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ sistemi için, fenomenolojik potansiyeller kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Gerçel ve sanal kısımdan oluşan nükleer potansiyelin gerçel kısmı,

$$V_{NR}(r) = \frac{-V_0}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - r_0 (A_p^{1/3} + A_t^{1/3})}{a_0} \right) \right]^n} \quad (3.6)$$

şeklinde bir yapıya sahiptir. Optik potansiyelin sanal kısmı inelastik saçılmalara ilgili olduğu için gerçel potansiyele göre etkileşmenin ayrıntılarına daha duyarlıdır. Çekirdek yüzeyindeki soğurulma ile ilgili sanal yüzey potansiyeli (çekirdek yüzeyinde en büyük olacak biçimde) WS diferansiyel şekli ile ifade edilebilir (Kürkçüoğlu, 2006; Cof, 2014). Nükleer potansiyelin sanal kısmı ise

$$V_{NI}(r) = \frac{-W_v}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - r_v (A_p^{1/3} + A_t^{1/3})}{a_v} \right) \right]^n} \quad (3.7)$$

biçiminde gösterilebilir. Eşitlik (3.6) ve Eşitlik (3.7) de $n=1$ için WS veya $n=2$ için WS2 formu alınabilmektedir. Düşük enerjilerde hedef çekirdeğin gelen nükleonları

yüzeyde soğurması mümkündür. Yüksek enerjilerde ise çekirdek hacminde soğurulma gerçekleşir (Aydın, 1997; Kürkçüoğlu, 2006).

Son olarak, merkezci potansiyel ise açısal momentum kuantum sayısı ℓ 'ye bağlıdır. Mermi ve hedef çekirdeğin bağıl açısal momentumlarından oluşan merkezci potansiyel

$$V_{\ell}(r) = \frac{\hbar^2 \ell(\ell+1)}{2\mu r^2} \quad (3.8)$$

biçiminde verilmektedir. Bu eşitlikte μ , mermi ve hedef çekirdeğin indirgenmiş kütesini ifade etmektedir.

OM hesaplamalarında, nükleer potansiyellerin gerçel ve sanal kısımları WS , WS_2 , WS türev formunda ya da bunların kombinasyonları şeklinde alınabilmektedir. Sanal kısım soğurulmaya daha duyarlı olduğundan sanal kısım için hacim terimiyle birlikte Woods-Saxon derivatif (WSD) formunda bir yüzey terimi de kullanılabilir. WSD formundaki bu potansiyelin genel yapısı

$$WSD(r) = -4a_D V_D \left\{ \frac{d}{dr} \frac{1}{1 + \exp \left[\frac{r - r_D (A_p^{1/3} + A_t^{1/3})}{a_D} \right]} \right\} \quad (3.9)$$

şeklindedir. Analizlerde kullanılan ek-potansiyeller için Eşitlik (3.9) esas alınmıştır. Böylece, bu tezde yapılan elastik saçılmalara ait hesaplamalar, Eşitlik (3.10) ile verilen potansiyel formlarıyla ifade edilebilmektedir.

$$\begin{aligned}
T_1(r) &= WS2 + iWS2 \\
T_2(r) &= WS2 + iWS \\
S_1(r) &= (WS2 + WSD) + iWS2 \\
S_2(r) &= (WS2 + WSD) + iWS \\
S_3(r) &= WS2 + i(WS2 + WSD) \\
S_4(r) &= WS2 + i(WS + WSD) \\
D_1(r) &= (WS2 + WSD) + iWS2 \\
D_2(r) &= (WS2 + WSD) + iWS \\
D_3(r) &= WS2 + i(WS2 + WSD) \\
D_4(r) &= WS2 + i(WS + WSD)
\end{aligned} \tag{3.10}$$

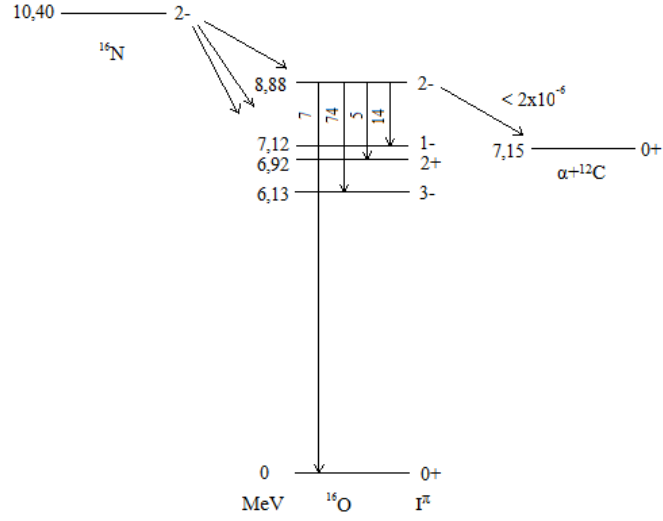
Burada T_1 ve T_2 , elastik saçılmaya ait temel potansiyel yapıları temsil etmektedir. S_1 ve S_2 gerçel kısma; S_3 ve S_4 sanal kısma eklenen sığ yapıdaki ek-potansiyelleri göstermektedir. D_1 ve D_2 formları gerçel kısma; D_3 ve D_4 formları sanal kısma eklenen derin yapıdaki ek-potansiyelleri ifade etmektedir. Gerçel veya sanal kısma eklenen sığ ek-potansiyeller, potansiyel derinliklerin %10'u alınarak; derin ek-potansiyeller ise potansiyel derinliklerin %80'i alınarak hesaplanmaktadır.

Ayrıca, Eşitlik (3.10)'da elastik saçılmalar için seçilen T_1 ve T_2 temel potansiyel yapılarında olduğu gibi, Eşitlik (3.11) ile verilen V_1 ve V_2 potansiyel formları da inelastik saçılmalara ait temel potansiyelleri göstermektedir.

$$\begin{aligned}
V_1(r) &= WS2 + iWS2 \\
V_2(r) &= WS2 + iWS
\end{aligned} \tag{3.11}$$

Çekirdekte bulunan nükleonlar, elektronları daha yüksek enerjili yörüngelere çıkararak elde edilen atomun uyarılmış durumlarına benzer şekilde nükleer reaksiyonlar ile uyarılabilir. Atomun uyarılmış durumlarında olduğu gibi, nükleer uyarılmış durumlar da kararsızdır ve hızla taban durumuna bozunurlar (Satchler, 1980). Nükleer reaksiyonlarda, gelen parçacığın enerjisine bağlı olarak sadece hedef veya sadece mermi yada her iki çekirdek birden uyarılabilir. Uyarılma, yüzeydeki değerlik nükleonlarından başlar. Yeterince yüksek enerjilerle, çekirdeğin iç kısmındaki nükleonlar da uyarılabilir. Örnek olarak, ^{16}O çekirdeğinin uyarılması sonucunda çekirdek 3^- , 2^+ , 1^- gibi uyarılmış durumlara sahip olur. Nükleonların dönme kinetik enerjisi ve enerji spektrumuna ait bağıntılar Kürkçüoğlu, 2006

kaynağında ayrıntılı olarak verilmektedir. Böylelikle, ^{16}O çekirdeğine ait nükleer düzey şeması Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. ^{16}O çekirdeğinin enerji düzeyleri (Bohr ve Mottelson, 1969 kaynağından uyarlanmıştır).

$^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ inelastik saçılmasına ait yapılan analizlerde, Şekil 3.3'te yer alan 2^+ uyarılmış durumu için enerji 6,92 MeV, 3^- uyarılmış durumu için enerji 6,13 MeV alınmıştır (Khoa vd., 2005). Mermi ve hedef çekirdeğin inelastik saçılması sonucu çekirdek küresel şekilden önemli ölçüde sapmalara sahip olabilir. Böyle derforme olmuş çekirdeklerin bir göstergesi olarak β ,

$$\beta = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{\pi}{5}} \frac{\Delta R}{r_0 A^{1/3}} \quad (3.12)$$

ile ifade edilir (Alder vd., 1956). Burada ΔR , elipsin büyük yarı eksen ile küçük yarı eksen arasındaki farktır. $\beta = 0$ olması durumunda çekirdek küresel şekildedir. $\beta > 0$ olduğunda çekirdek prolate, $\beta < 0$ olduğunda ise çekirdek oblate yapıdadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Oblate, Küresel ve Prolate çekirdek formları.

^{16}O çekirdeğinin 2^+ ve 3^- uyarılmış durumlarının deformasyon parametreleri sırasıyla 0,364 ve 0,728'dir (IAEA, 2015). Eşitlik (3.12) için deformasyon parametresinin r_0 değerine bağlı olduğunu söylemek mümkündür. Fresco kodundaki Coulomb potansiyeline ait deformasyon parametreleri herhangi bir değerde seçilerek deneme-yanılma yöntemi ile 2^+ uyarılmış durumu için 6,279, 3^- uyarılmış durumu için 38,098 bulunmuştur. Coulomb yarıçapı $r_C=1,2 \text{ fm}$ olarak sabit alındığı için Coulomb potansiyeline ait deformasyon parametreleri tüm inelastik hesaplamalarda sabit olarak alınmıştır. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ inelastik saçılmasına ait yapılmış olan hesaplamalarda bulunan r_0 değerlerine karşılık gelen β değerleri ise Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ inelastik saçılmasında kullanılan r_0 değerinin 2^+ ve 3^- uyarılmış durumları için elde edilen β değerleri.

r_0 (fm)	$\beta(2^+)$	$\beta(3^-)$
0,773	0,709	1,418
0,776	0,713	1,424
0,777	0,713	1,426
0,779	0,714	1,429

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sistemi için gerçekleştirilen diferansiyel tesir-kesiti hesaplamaları ile deneysel veriler arasındaki uyum, Eşitlik (3.13) ile verilen χ^2 hata hesabı kullanılarak belirlenmiştir.

$$\chi^2 = \frac{1}{N_\sigma} \sum_{i=1}^{N_\sigma} \frac{(\sigma_{th} - \sigma_{ex})^2}{(\Delta\sigma_{ex})^2} \quad (3.13)$$

Bu eşitlikteki, σ_{th} , σ_{ex} ve $\Delta\sigma_{ex}$ sırasıyla, teorik tesir-kesiti, deneysel tesir-kesiti ve deneysel tesir-kesitindeki hata oranını göstermektedir. N_σ ise ölçülen açılarının toplam sayısını temsil etmektedir. Hata hesaplamaları için, tüm deneysel verilerin %10'luk sabit bir deneysel hata değerine sahip olduğu kabul edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sistemi için açısız dağılım verilerine ait hesaplamalarımızın sunulduğu bu bölümde, 145, 250, 350, 480, 704 ve 1120 MeV gelme enerjileri için yapılan OM analizleri; elastik ve inelastik saçılma mekanizmaları açısından iki ana başlık altında incelenmektedir. Elastik saçılma için kullanılacak en uygun potansiyel yapısının belirlenebilmesi amacıyla yapılan analizler, kendi içinde üç kısma ayrılmıştır:

1. Bölüm 3'te Eşitlik (3.10) ile verilen T_1 ve T_2 temel potansiyel setleri kullanılarak $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması incelenmiştir.
2. Temel potansiyellerin gerçel veya sanal bileşenlerine, WSD şekline sahip sığ yapıda ek-potansiyeller eklenmesiyle oluşturulan S_1 , S_2 , S_3 ve S_4 formları ile $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sistemi incelenmiştir.
3. İkinci adıma benzer bir yaklaşımla, temel potansiyel setlerine derin yapıdaki ek-potansiyellerin eklenmesiyle D_1 , D_2 , D_3 ve D_4 potansiyel setleri oluşturularak OM analizleri gerçekleştirilmiştir.

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması için yapılan bu üç yaklaşıma ait analizler, izleyen bölümlerde ayrıntılı bir şekilde verilmektedir. Sistemin inelastik saçılma açısından ele alındığı analizler, Eşitlik (3.11) ile verilen V_1 ve V_2 potansiyel yapılarının, ilgili dinamik ve geometri parametrelerinin yanı sıra deformasyon parametrelerinin de hesaplamalara dahil edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sisteminin inelastik saçılma bakımından ele alındığı analizlere ait hesaplamalar, Bölüm 4.2'de sunulmaktadır. Bu tezde yapılan tüm analizlerin değerlendirilmesinde, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılmasına ait deneysel diferansiyel tesir-kesiti verileri ($E_{LAB}=145$ MeV TANDEM, $E_{LAB}=250, 350$ ve 480 MeV için HMI, ve $E_{LAB}=704$ ile 1120 MeV için GANIL ölçümleri) esas alınmıştır (Sugiyama vd.,1993; Khoa vd., 2000).

4.1.Elastik Saçılma Analizleri

4.1.1. Temel potansiyeller ile yapılan analizler

Çalışmamızın ilk adımında, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasının diferansiyel tesir-kesiti ölçümlerini açıklamak üzere, iki temel potansiyel seti ile tesir-kesiti hesaplamaları

yapılmıştır. Nükleer potansiyelin gerçel kısmı için WS2 formu, sanal kısmı için de WS2 veya WS hacim formu seçilmiştir;

$$\begin{aligned} T_1(r) &= WS2 + iWS2 \\ T_2(r) &= WS2 + iWS \end{aligned} \quad (4.1)$$

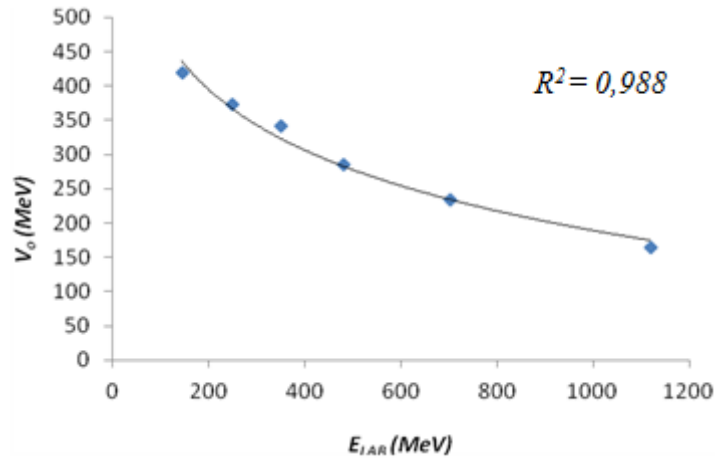
T_1 ve T_2 temel potansiyel formları ile yapılan elastik saçılma analizleri için kullanılan parametre değerleri (gerçel kısım için (V_0 , r_0 , a_0) ve sanal kısım için (W_V , r_V , a_V)) Çizelge 4.1’de verilmektedir. Çizelge 4.1’de ayrıca, temel potansiyeller kullanılarak gerçekleştirilen elastik saçılma analizlerinin deneysel verilerle uyumunu gösteren χ^2 değerleri de sunulmaktadır.

Çizelge 4.1. Temel potansiyellerle yapılan analizlerde kullanılan parametreler ve χ^2 değerleri.

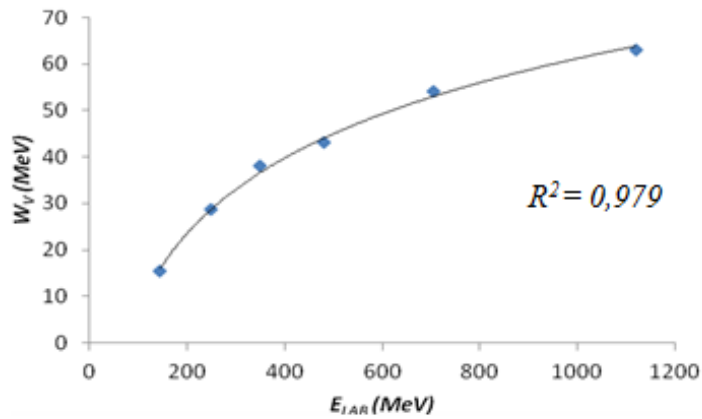
Enerji (MeV)	V_0 (MeV)	r_0 (fm)	a_0 (fm)	Potansiyel form	W_V (MeV)	r_V (fm)	a_V (fm)	χ^2
145	420,00	0,777	1,54	T_1	15,50	1,363	0,78	15,8
				T_2		1,223	0,61	16,0
250	373,00	0,779	1,50	T_1	28,60	1,266	1,04	12,4
				T_2		1,095	0,79	15,8
350	341,00	0,776	1,57	T_1	38,00	1,191	1,04	8,7
				T_2		1,013	0,77	9,9
480	285,00	0,773	1,32	T_1	43,00	1,130	1,03	46,4
				T_2		0,941	0,66	51,9
704 (a)	234,00	0,666	1,16	T_1	54,00	1,145	0,72	183,6
				T_2		1,043	0,45	238,5
704 (b)	234,00	0,779	1,01	T_1	54,00	1,190	0,65	153,2
				T_2		1,048	0,45	222,0
1120 (a)	164,00	0,573	0,95	T_1	63,00	0,716	0,81	276,1
				T_2		0,592	0,63	271,4
1120 (b)	164,00	0,770	0,80	T_1	63,00	0,926	0,62	1535,8
				T_2		0,821	0,51	1419,1

Literatürdeki 6-parametrelili potansiyellerle yapılan OM analizleri genelde, deneysel saçılma desenini yeterince başarılı bir biçimde üretebilen ve en küçük χ^2 'yi

hedefleyen fitlerin elde edilmesi üzerine kurulmuştur. T_1 ve T_2 temel potansiyellerinin kullanıldığı analizlerimizde, bu kriterlerin yanı sıra, potansiyel şekillerinin oluşturulmasında kullanılan parametreler ile gelme enerjisi arasında bir ilişki tesis edilerek global bir analiz arayışına girilmiştir. Hem T_1 hem de T_2 formuyla yapılan analizler için aynı dinamik parametreler kullanılmış ayrıca V_0 ve W_V dinamik parametrelerinin alacağı değerler serbest bırakılmamış, gelme enerjisine bağlı olarak değişmesi sağlanmıştır (Çizelge 4.1). Böylelikle, gelme enerjisi arttıkça, temel potansiyellerimizin gerçel kısma ait V_0 potansiyel derinliği için düzgün bir azalış ve sanal kısma ait W_V potansiyel derinliği için ise düzgün bir artış öngörülerek sistematik bir yaklaşım yapılmıştır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Dinamik parametrelerdeki enerjiye bağlı bu değişim, gelme enerjisi arttıkça inelastik saçılma mekanizmasının baskın olmasıyla açıklanabilir.



Şekil 4.1. Gerçel kısma ait potansiyel derinliği ile gelme enerjisi arasındaki ilişki.



Şekil 4.2. Sanal kısma ait potansiyel derinliğinin gelme enerjisine göre değişimi. 145-1120 MeV enerji aralığında $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasının, Eşitlik (4.1) ile verilen temel potansiyellerle yapılacak OM hesaplamalarında kullanılacak dinamik parametreler için gelme enerjisine bağlı ampirik ifadeler türetmek mümkündür. Gerçel kısma ait potansiyel derinliği,

$$V_0 = -127 \ln(E_{LAB}) + 1071 \quad (4.2)$$

ifadesiyle bombardıman enerjisiyle ilişkilendirilebilir (Şekil 4.1'deki fit bu bağıntıya göre çizilmiştir). Sanal kısma ait potansiyel derinliği, W_V için kullanılacak bağıntı ise,

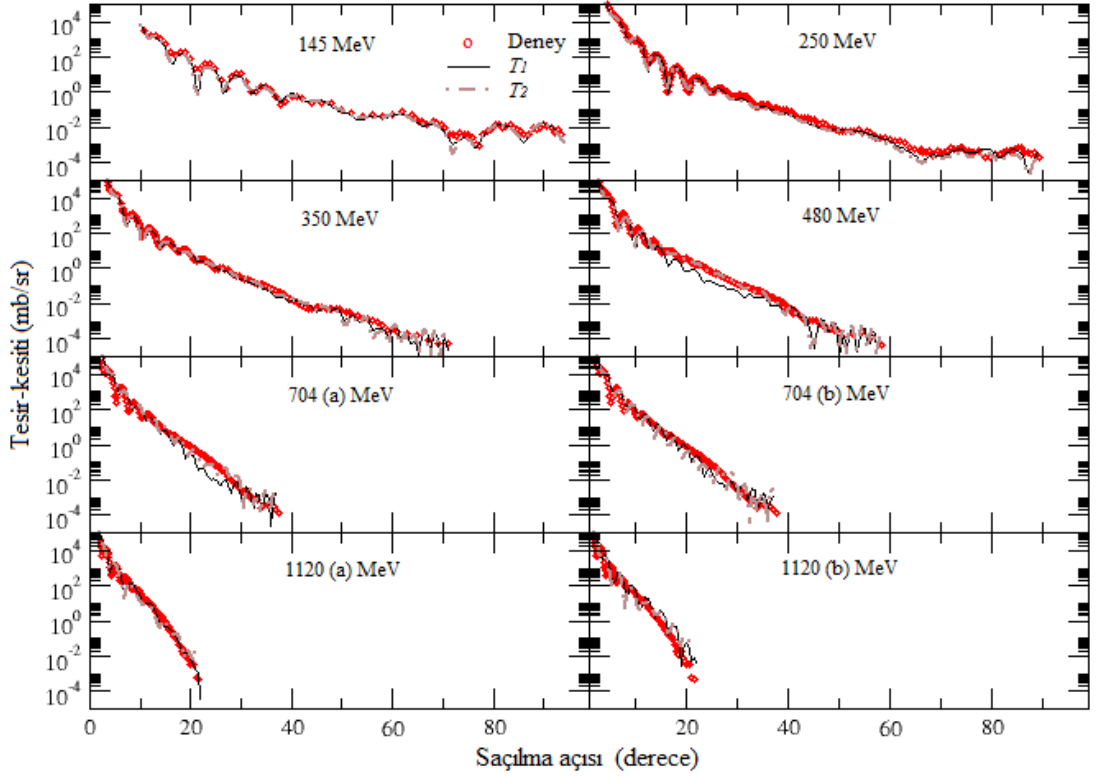
$$W_V = 23,37 \ln(E_{LAB}) - 100,3 \quad (4.3)$$

biçiminde gösterilebilir (Şekil 4.2'deki fit).

İlgili enerji aralığında analizlere global bir yaklaşım getirebilmek amacıyla, OM hesaplamaları için temel potansiyel setlerinin WS2 formundaki gerçel kısımlarında kullanılan geometri parametreleri de ortak alınmıştır (Çizelge 4.1). T_1 ve T_2 formundaki potansiyellerle yapılan analizler için indirgenmiş yarıçap değerleri, 0,770-0,779 fm arasında neredeyse sabitlenmiştir (Ayrıca Çizelge 4.1'deki 704(a) ve 1120(a) analizleriyle, 704 ve 1120 MeV enerjileri için r_0 yarıçapının 0,7 fermiden daha düşük alındığı iki hesaplama daha yapılarak χ^2 hata oranı düşürülmeye çalışılmıştır. 1120 MeV için χ^2 değerinde istenilen iyileşme elde edilirken, 704 MeV için daha küçük indirgenmiş yarıçap değeriyle aynı sonuca ulaşılamamıştır). Difüzyon parametresi ise 0,80 ile 1,57 fm aralığında değerlere sahip olup genel olarak, artan gelme enerjisi ile artma eğilimindedir (sadece 350 MeV enerjisine ait analiz bu durumu bozmaktadır). Deneysel ölçümlerle daha uyumlu analizler elde edebilmek amacıyla, her iki temel potansiyel setinde de sanal kısma ait geometri parametreleri serbest bırakılmıştır (Çizelge 4.1). Sanal kısma ait indirgenmiş yarıçap parametresi r_v , her iki potansiyel formu için artan gelme enerjisi ile azalma eğilimi sergilemektedir. a_v difüzyon parametresi içinse bir dalgalanma söz konusudur. Genel olarak, T_1 formu için sanal kısımda kullanılan geometri parametrelerinin, T_2

formu için kullanılanlardan daha büyük olduğu söylenebilir (r_v için $\%15\pm3$ ve a_v için $\%36\pm12$ civarında bir artış).

145 MeV ve üzeri enerjiler için daha önce yapılan analizlerde, genelde T_1 formundaki potansiyel kullanılmıştır (Kondo vd., 1989; Sugiyama vd., 1993; Cooper ve Mackintosh, 1994; Bartnitzky vd., 1996; Kondo vd., 1996; Khoa vd., 2000; Gonzalez ve Brandan, 2001; Khoa vd., 2005). Temel potansiyel formlarının karşılaştırıldığı analizlerimiz için T_1 ve T_2 formlarının birbirlerine yakın χ^2 sonuçları ürettiği görülmüştür (Çizelge 4.1). Bu da, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması için T_2 temel potansiyel formu ile yapılan hesaplamalarla, T_1 formuyla ulaşılan sonuçlara yakın, başarılı analizler elde edilebileceğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, iki analizden elde edilen fitlerin, deneysel saçılma ölçümlerini üretebilmede ne derece başarılı olduklarını belirleyebilmek için ilgili enerjilere ait hesaplama sonuçları, deneysel verilerle karşılaştırmalı bir biçimde sergilenmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerinde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasına ait deneysel tesir-kesiti ölçümlerinin, temel potansiyel formlarının kullanıldığı yeni OM analizleriyle karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, siyah düz çizgi T_1 formuyla ve kahverengi noktalı çizgi ise T_2 formuyla elde edilen sonuçları temsil etmektedir.

Şekil 4.3 incelendiğinde, 480 MeV enerjisine ait analiz haricindeki analizler için T_1 temel potansiyel formuyla elde edilen fitlerin (T_2 formundan elde edilen sonuçlara göre) deneysel verilere ait maksimum ve minimumları daha başarılı bir biçimde ürettiği söylenebilir. Her iki potansiyel setine ait analizlerin deneyle uyum derecesi, χ^2 hata hesabı açısından 480 MeV enerjisi için değerlendirildiğinde ise; T_1 formunun yer aldığı hesaplama 46,4 değerinde bir hata değeriyle sonuçlanırken, T_2 formunda 51,9'luk bir hata mevcuttur. Buna rağmen elde edilen fitlerin deneysel ölçümlerle olan karşılaştırılmasında T_2 formu, T_1 formuna göre daha uyumlu gözükmektedir (Şekil 4.3). Bu durum, logaritmik ölçekte çizilen grafikler için yüksek tesir-kesiti verileri ile hesaplamalar arasındaki uyumsuzlukların hata hesabına daha fazla etki etmesiyle açıklanabilir. Yani, 480 MeV saçılma ölçümleri için yaklaşık 5° civarında, T_2 analizinde gözlenen faz dışlılığın bu sonucu doğurduğu söylenebilir. Diğer 5 enerji için, Şekil 4.3'deki temel potansiyellerle yapılan tesir-kesiti analizlerine ait

fitlerin deneysel ölçümlerle karşılaştırılması, Çizelge 4.1’de verilen χ^2 değerleri ile tutarlıdır.

Bu bölümde sunulan analizlerimiz için T_1 formunun T_2 ’ye göre deneysel verilerle daha uyumlu sonuçlar ürettiği söylenebilir. Bununla birlikte, 480 MeV ve üzeri enerjiler için elde edilen fitlerin her iki potansiyel durumunda da deneysel verilere ait saçılma desenini yeterince iyi takip edemediği ve faz dışlılık sergilediği bariz bir şekilde görülmektedir (Şekil 4.3). Bunun nedeni, enerji arttıkça inelastik saçılmanın daha baskın olması ve sanal kısmın soğurulmaya daha duyarlı hale gelmesiyle açıklanabilir.

Genel olarak, Çizelge 4.1’de yer alan χ^2 değerleri ve Şekil 4.3’deki tesir-kesiti analizlerine ait bulguların karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi sonucunda, T_1 temel potansiyeli ile oluşturulacak,

$$V_N(r) = \frac{-V_0}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - r_0(A_p^{1/3} + A_t^{1/3})}{a_0}\right)\right]^2} + i \frac{-W_v}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - r_v(A_p^{1/3} + A_t^{1/3})}{a_v}\right)\right]^2} \quad (4.4)$$

formuna sahip bir nükleer potansiyelin $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması için OM hesaplamalarında kullanılmasının daha uygun olacağı söylenebilir.

4.1.2. Sığ ek-potansiyeller ile yapılan analizler

Çalışmamızın ikinci adımında, nükleon başına 10 MeV ve üzeri enerjilerde T_1 ve T_2 temel potansiyel setlerine eklenen WSD şekline sahip sığ yapıdaki ek-potansiyellerin diferansiyel tesir-kesiti analizleri üzerindeki etkisi, deneysel ölçümler baz alınarak incelenmiştir. T_1 temel potansiyelinin gerçel veya sanal kısmına sığ yapıda ek-potansiyeller eklenerek oluşturulan potansiyellerin yapısı;

$$\begin{aligned} S_1(r) &= (WS2 + WSD) + iWS2 \\ S_3(r) &= WS2 + i(WS2 + WSD) \end{aligned} \quad (4.5)$$

şeklinde seçilirken, T_2 temel nükleer potansiyel yapısına sığ ek-potansiyeller eklenerek oluşturulan potansiyeller,

$$\begin{aligned} S_2(r) &= (WS2 + WSD) + iWS \\ S_4(r) &= WS2 + i(WS + WSD) \end{aligned} \quad (4.6)$$

formunda seçilmiştir. Sığ ek-potansiyellerin oluşturulmasında kullanılan V_D potansiyel derinlikleri, Çizelge 4.1'de verilmiş olan V_0 ve W_V derinliklerinin %10'u alınarak elde edilmiştir (Çizelge 4.2, 4.3). Sığ ek-potansiyellere ait geometri parametreleri (a_D , r_D) ise deneysel verilere en uyumlu analizlerin elde edilebilmesi için serbest bırakılmıştır.

Çizelge 4.2. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerindeki OM analizleri için Eşitlik (4.5) ile verilen S_1 ve S_3 tipindeki nükleer potansiyellerin oluşturulmasında kullanılan sığ ek-potansiyellere ait parametreler ve bu analizlerin χ^2 değerleri (Hesaplamalarda T_1 temel potansiyeli için Çizelge 4.1'de verilen parametreler kullanılmıştır).

Enerji (MeV)	Potansiyel form	V_D (MeV)	r_D (fm)	a_D (fm)	χ^2
145	T_1	-	-	-	15,8
	S_1	42,00	0,250	0,30	70,3
	S_3	1,55	0,268	0,47	16,3
250	T_1	-	-	-	12,4
	S_1	37,30	0,285	0,52	18,5
	S_3	2,86	0,309	0,58	11,4
350	T_1	-	-	-	8,7
	S_1	34,10	0,282	0,47	11,9
	S_3	3,80	0,278	0,50	8,8
480	T_1	-	-	-	46,4
	S_1	28,50	0,274	0,50	60,5
	S_3	4,30	0,294	0,59	46,7
704 (a)	T_1	-	-	-	183,6
	S_1	23,40	0,317	0,56	184,0
	S_3	5,40	0,376	0,55	183,5
704 (b)	T_1	-	-	-	153,2
	S_1	23,40	0,348	0,57	153,4
	S_3	5,40	0,349	0,53	153,0
1120 (a)	T_1	-	-	-	276,1
	S_1	16,40	0,254	0,50	370,9
	S_3	6,30	0,260	0,59	277,9
1120 (b)	T_1	-	-	-	1535,8
	S_1	16,40	0,269	0,45	1601,0
	S_3	6,30	0,279	0,48	1574,3

Sanal kısma eklenen %10'luk ek-potansiyeller ile yapılan analizler (S_3), T_1 temel potansiyeli ile yapılan analizlere oldukça yakın χ^2 sonuçları üretmiştir (Çizelge 4.2). Düşük enerjilerde, T_1 ve S_3 potansiyel setlerine ait analiz sonuçları neredeyse aynı, hatta 250 ve 704 MeV'de S_3 için çok az daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Gelme enerjisi arttıkça, özellikle 704 MeV ve 1120 MeV enerjilerinde gerçel kısma eklenen sıg ek-potansiyeller ile yapılan analizler (S_1), S_3 analizlerine yaklaşılmaya başlamıştır. T_1 , S_1 ve S_3 potansiyel setleri arasında bir seçim yapmak gerekirse, T_1 formunun en iyi analiz sonuçlarını veren yapı olduğu söylenebilir.

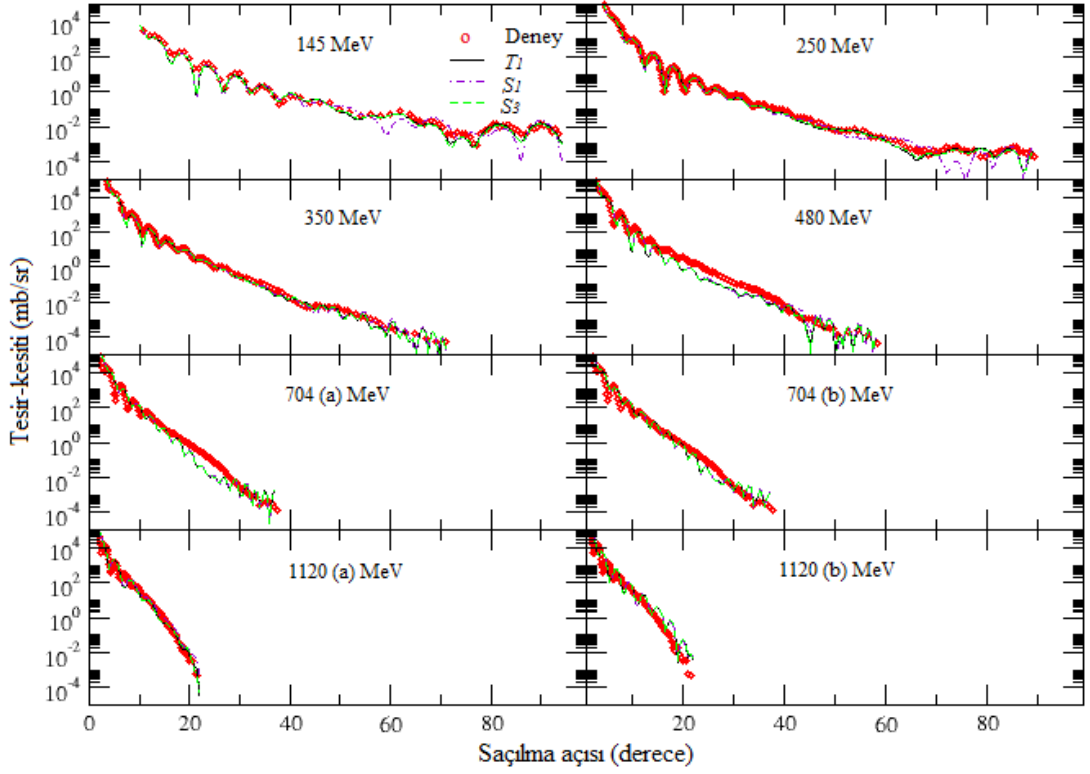
145, 250 ve 350 MeV enerjiler için, Khoa ve arkadaşlarının T_1 temel potansiyel setine *WSD* yüzey terimi ekleyerek yapmış oldukları analiz sonuçları (Khoa vd., 2000) ile S_3 potansiyel seti ile yapılan analiz sonuçları karşılaştırıldığında, bizim analizlerimizin yaklaşık 1,5 kat daha büyük hata ile sonuçlandığı görülmektedir. Bunun nedeni, Khoa ve arkadaşlarının hesaplamalarında, parametrelerini serbest bırakarak global analizler yerine en küçük χ^2 'yi hedefleyen analizleri amaçlamalarıdır (Çizelge 2.1 ve Çizelge 4.2).

Çizelge 4.3. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerindeki OM analizleri için S_2 ve S_4 tipindeki nükleer potansiyellerin oluşturulmasında kullanılan sığ ek-potansiyellere ait parametreler ve bu analizlerin χ^2 değerleri.

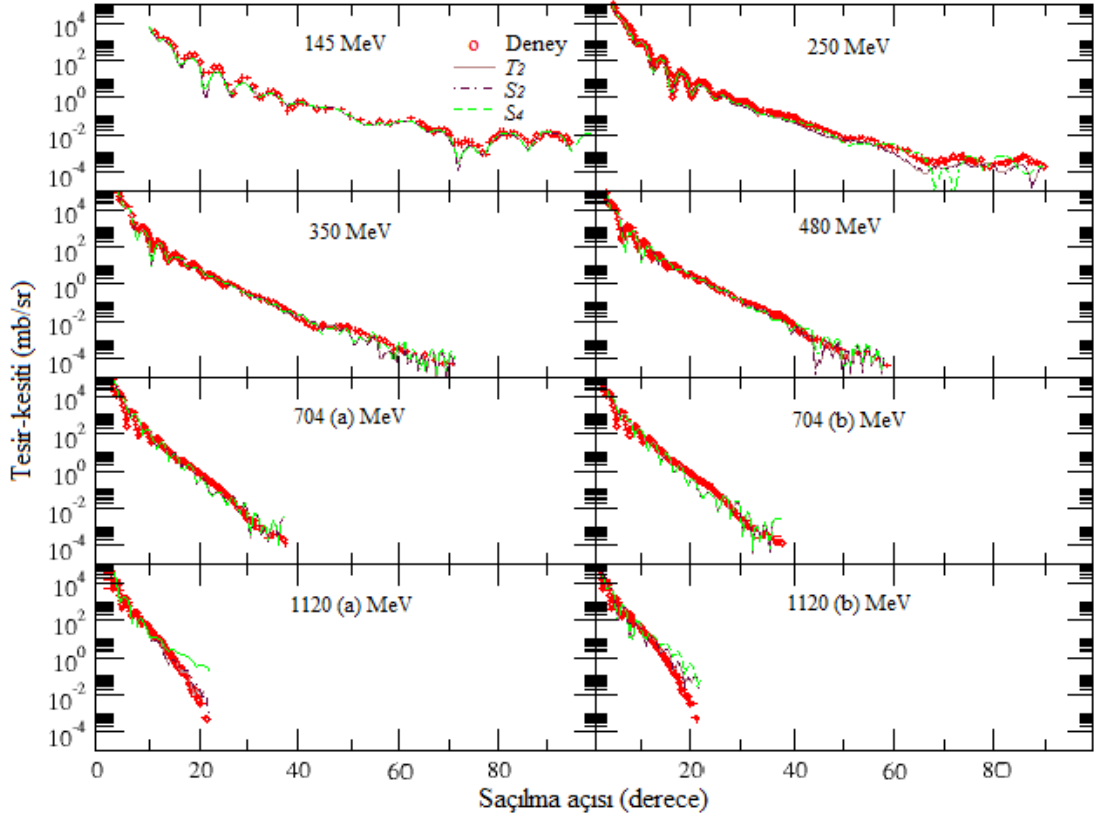
Enerji (MeV)	Potansiyel form	V_D (MeV)	r_D (fm)	a_D (fm)	χ^2
145	T_2	-	-	-	16,0
	S_2	42,00	0,250	0,30	67,5
	S_4	1,55	0,300	0,30	16,6
250	T_2	-	-	-	15,8
	S_2	37,30	0,310	0,47	17,0
	S_4	2,86	0,318	0,47	16,0
350	T_2	-	-	-	9,9
	S_2	34,10	0,309	0,44	11,6
	S_4	3,80	0,316	0,46	10,1
480	T_2	-	-	-	51,9
	S_2	28,50	0,303	0,38	54,2
	S_4	4,30	0,317	0,51	52,1
704 (a)	T_2	-	-	-	238,5
	S_2	23,40	0,349	0,49	239,1
	S_4	5,40	0,323	0,50	238,4
704 (b)	T_2	-	-	-	222,0
	S_2	23,40	0,316	0,44	223,7
	S_4	5,40	0,329	0,52	222,4
1120 (a)	T_2	-	-	-	271,4
	S_2	16,40	0,356	0,59	1650,7
	S_4	6,30	0,436	0,40	555,7
1120 (b)	T_2	-	-	-	1419,1
	S_2	16,40	0,300	0,30	41519,8
	S_4	6,30	0,448	0,52	37779,5

T_2 temel potansiyeline eklenen sığ ek-potansiyelli analizler, T_1 potansiyeline eklenen sığ ek-potansiyelli analizlere benzer şekilde, sanal kısma eklenen ek-potansiyeller ile yapılan analizlerde (S_4), T_2 potansiyeli ile birbirine yakın χ^2 sonuçları elde edilmiştir. Gerçel kısma eklenen ek-potansiyeller ile yapılan analizler (S_2), temel potansiyeller ile elde edilen analizleri iyileştirme yönünde bir gelişim göstermemekle birlikte, özellikle 1120 MeV enerjisi için oldukça büyük hata sonucu sergilemektedir (Çizelge 4.3). $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılması için sığ ek-potansiyellere ait analiz sonuçları ile deneysel ölçümlerin karşılaştırılması, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmektedir. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te yer alan dinamik ve geometri parametrelerine ait χ^2 değerlerini destekleyen sonuçlar, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de verilmektedir. 145, 250, ve 350 MeV enerjilerinde her iki şekil için sanal kısma eklenen ek-potansiyelli analizlerin, deneysel ölçümlerin sergilediği deseni doğru bir biçimde takip ettiği görülürken, S_1

ve S_2 formları kullanılarak yapılan analizlerin 50° civarına kadar deneyle uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 4.4, 4.5).



Şekil 4.4. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerinde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasına ait deneysel tesir-kesiti ölçümlerinin, T_1 temel potansiyeli kullanan analizle ve S_1 ve S_3 sığ ek-potansiyellerin kullanıldığı yeni OM analizleriyle karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, siyah düz çizgi T_1 temel potansiyeli, mor noktalı çizgi gerçel kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (S_1) ve yeşil kesikli çizgiler ise sanal kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (S_3) kullanarak elde edilen tesir-kesiti hesaplamalarını göstermektedir.



Şekil 4.5. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerinde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasına ait deneysel tesir-kesiti ölçümlerinin, T_2 temel potansiyeli kullanan analizle ve S_2 ve S_4 sığ ek-potansiyellerin kullanıldığı yeni OM analizleriyle karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, kahverengi düz çizgi T_2 temel potansiyeli, mor noktalı çizgi gerçel kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (S_2) ve yeşil kesikli çizgiler ise sanal kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (S_4) kullanarak elde edilen tesir-kesiti hesaplamalarını göstermektedir.

Şekil 4.4 için T_1 temel potansiyel yapısının, Şekil 4.5 için de T_2 temel potansiyel yapısının sığ ek-potansiyelli analizlere göre daha başarılı olduğu söylenebilir. Fakat, her iki şekil genel olarak değerlendirildiğinde, T_1 temel potansiyel yapısının diğer analizlere göre daha başarılı olduğu görülmektedir. S_3 potansiyel setinin ise T_2 potansiyelinden daha başarılı olduğunu söylemek mümkündür.

4.1.3. Derin ek-potansiyeller ile yapılan analizler

Elastik saçılmalara ait çalışmamızın son adımında ise 145-1120 MeV arası enerjiler için Eşitlik (4.1) ile verilen temel potansiyel setlerine WSD şekline sahip derin yapıda ek-potansiyeller eklenerek yapılan analizler ile deneysel ölçümlerin karşılaştırılarak incelenmesi sunulmaktadır. Hesaplamalarda, T_1 ve T_2 temel potansiyelleri için Çizelge 4.1'deki parametreler kullanılmış ve derin ek-potansiyellerin hesaplamalara dahil edilmesiyle yeni analizler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.4, 4.5). T_1 temel potansiyel setinin gerçel veya sanal kısmına, derin ek-potansiyeller eklenerek elde edilen potansiyellerin yapısı,

$$\begin{aligned} D_1(r) &= (WS2 + WSD) + iWS2 \\ D_3(r) &= WS2 + i(WS2 + WSD) \end{aligned} \quad (4.7)$$

formunda seçilmiştir. T_2 potansiyel formunun gerçel veya sanal kısmına üç parametrelili derin ek-potansiyeller eklenmesiyle oluşturulan potansiyellerin yapısı ise,

$$\begin{aligned} D_2(r) &= (WS2 + WSD) + iWS \\ D_4(r) &= WS2 + i(WS + WSD) \end{aligned} \quad (4.8)$$

formunda alınmıştır. T_1 ve T_2 setleri için Çizelge 4.1'de verilen potansiyel derinliklerin %80'i alınarak, derin ek-potansiyellere ait potansiyel derinlikleri oluşturulmuştur (Çizelge 4.4, 4.5). Derin ek-potansiyelli yapılan tüm analizler için ölçümlerle en uyumlu sonuçları elde edebilmek amacıyla, hesaplamalarda kullanılan geometri parametreleri serbest bırakılmıştır.

Çizelge 4.4. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerindeki OM analizleri için D_1 ve D_3 tipindeki nükleer potansiyellerin oluşturulmasında kullanılan derin ek-potansiyellere ait parametreler ve bu analizlerin χ^2 değerleri (Hesaplamalarda T_1 temel potansiyelleri için Çizelge 4.1'deki parametreler kullanılmıştır).

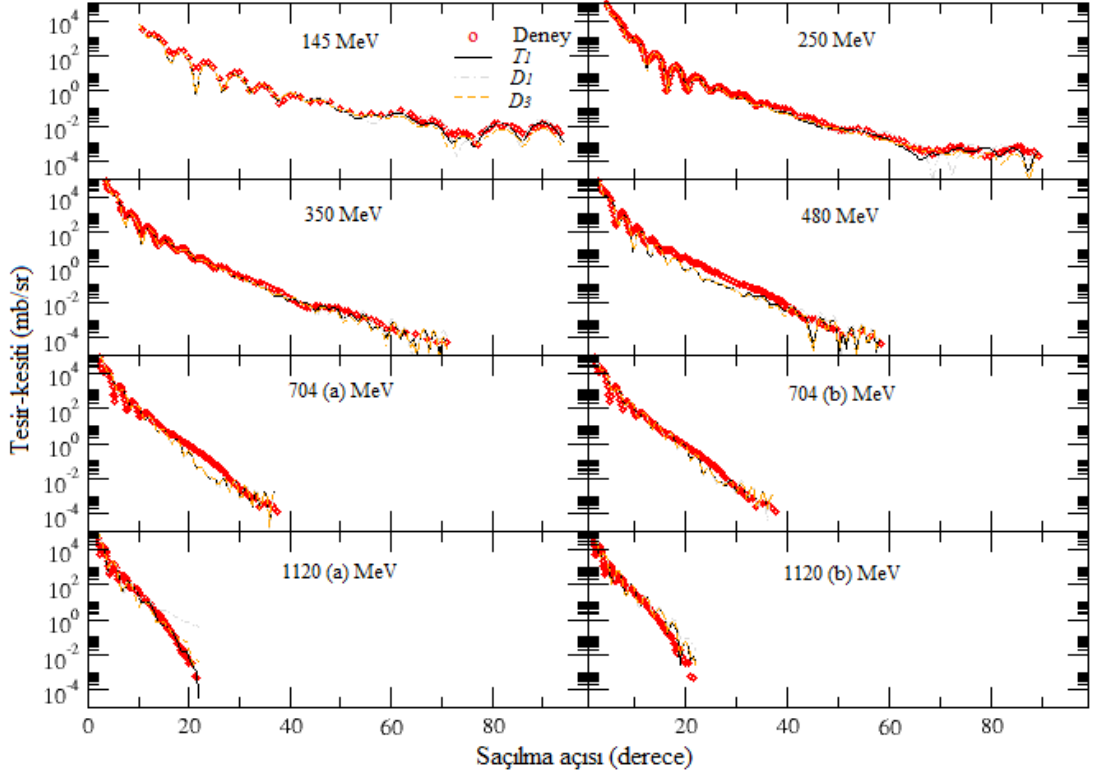
Enerji (MeV)	Potansiyel form	V_D (MeV)	r_D (fm)	a_D (fm)	χ^2
145	T_1	-	-	-	15,8
	D_1	336,0	0,295	0,43	39,8
	D_3	12,40	0,301	0,31	23,9
250	T_1	-	-	-	12,4
	D_1	299,0	0,356	0,46	15,6
	D_3	22,88	0,363	0,49	11,5
350	T_1	-	-	-	8,7
	D_1	273,0	0,322	0,40	13,5
	D_3	30,40	0,333	0,45	9,6
480	T_1	-	-	-	46,4
	D_1	228,0	0,300	0,30	76,7
	D_3	34,40	0,330	0,44	48,8
704 (a)	T_1	-	-	-	183,6
	D_1	188,0	0,332	0,42	184,2
	D_3	43,20	0,344	0,48	183,4
704 (b)	T_1	-	-	-	153,2
	D_1	188,0	0,393	0,49	154,5
	D_3	43,20	0,357	0,43	152,3
1120 (a)	T_1	-	-	-	276,1
	D_1	132,0	0,315	0,40	11739692,3
	D_3	50,40	0,303	0,58	468,1
1120 (b)	T_1	-	-	-	1535,8
	D_1	132,0	0,318	0,41	16191,5
	D_3	50,40	0,308	0,40	1812,4

Sanal kısma derin ek-potansiyel eklenerek oluşturulan D_3 potansiyel formunun gerçel kısma derin yapıda ek-potansiyel eklenerek oluşturulan D_1 formuna göre daha başarılı sonuçlar ürettiği söylenebilir (Çizelge 4.4). Hatta 250 ve 704 (a) MeV enerjilerinde, D_3 potansiyel formunun T_1 'den çok az daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur. 1120 MeV hariç diğer enerjilerde, D_3 potansiyel formunun T_1 potansiyel formuna yakın χ^2 sonuçları ürettiği Çizelge 4.4'de görülmektedir.

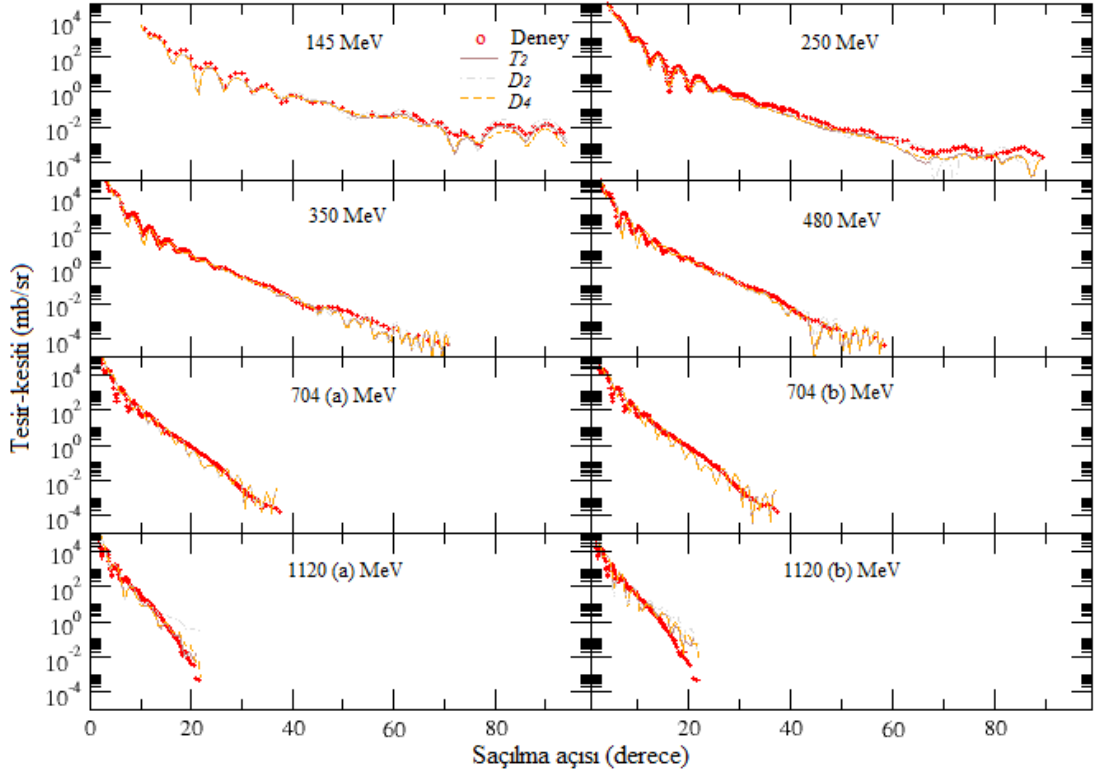
Çizelge 4.5. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerindeki OM analizleri için D_2 ve D_4 tipindeki nükleer potansiyellerin oluşturulmasında kullanılan derin ek-potansiyellere ait parametreler ve bu analizlerin χ^2 değerleri.

Enerji (MeV)	Potansiyel form	V_D (MeV)	r_D (fm)	a_D (fm)	χ^2
145	T_2	-	-	-	16,0
	D_2	336,0	0,337	0,55	51,5
	D_4	12,40	0,271	0,36	23,2
250	T_2	-	-	-	15,8
	D_2	299,0	0,318	0,54	16,0
	D_4	22,88	0,268	0,35	16,0
350	T_2	-	-	-	9,9
	D_2	273,0	0,325	0,40	12,6
	D_4	30,40	0,289	0,41	10,5
480	T_2	-	-	-	51,9
	D_2	228,0	0,300	0,31	69,0
	D_4	34,40	0,277	0,37	52,5
704 (a)	T_2	-	-	-	238,5
	D_2	188,0	0,323	0,51	234,9
	D_4	43,20	0,330	0,48	238,2
704 (b)	T_2	-	-	-	222,0
	D_2	188,0	0,304	0,33	225,4
	D_4	43,20	0,285	0,35	222,9
1120 (a)	T_2	-	-	-	271,4
	D_2	132,0	0,300	0,30	540029,2
	D_4	50,40	0,280	0,48	538,6
1120 (b)	T_2	-	-	-	1419,1
	D_2	132,0	0,318	0,58	77329,1
	D_4	50,40	0,495	0,43	15434,8

T_2 temel potansiyel setinin sanal kısmına eklenen derin ek-potansiyel seti (D_4) ile yapılan analizler, gerçel kısma eklenen derin ek-potansiyel (D_2) analizlere göre daha iyi χ^2 sonuçları üretmektedir (Çizelge 4.5). 1120 MeV enerjisinde önceki analizlerde de gözlemlenen büyük χ^2 değerleri sorunu burada da gözlemlenmektedir. Çizelge 4.5'te, T_2 , D_2 ve D_4 potansiyel formları karşılaştırıldığında, T_2 en iyi potansiyel yapı olarak görülmektedir. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de, deneysel ölçümler ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması verilmektedir.



Şekil 4.6. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerinde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasına ait deneysel tesir-kesiti ölçümlerinin, T_1 temel potansiyeli kullanan analizle ve D_1 ve D_3 derin ek-potansiyellerin kullanıldığı yeni OM analizleriyle karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, siyah düz çizgi T_1 temel potansiyeli, gri noktalı çizgi gerçel kısma eklenen derin ek-potansiyelleri (D_1) ve turuncu kesikli çizgiler ise sanal kısma eklenen derin ek-potansiyelleri (D_3) kullanarak elde edilen tesir-kesiti hesaplamalarını göstermektedir.



Şekil 4.7. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjilerinde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastik saçılmasına ait deneysel tesir-kesiti ölçümlerinin, T_2 temel potansiyeli kullanan analizle ve D_2 ve D_4 sığ ek-potansiyellerin kullanıldığı yeni OM analizleriyle karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, kahverengi düz çizgi T_2 temel potansiyeli, mor noktalı çizgi gerçel kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (D_2) ve turuncu kesikli çizgiler ise sanal kısma eklenen sığ ek-potansiyelleri (D_4) kullanarak elde edilen tesir-kesiti hesaplamalarını göstermektedir.

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de 145 MeV için analizlerin yaklaşık 15° civarına kadar, deneysel ölçümlerin sergilediği deseni doğru bir biçimde üretebildiği görülmektedir. Bu da, yapılan analizlerin 15° civarında gösterdiği faz dışılıktan kaynaklanmaktadır. 250 MeV verisi için 50° , 350 MeV verisi için ise 35° civarına kadar, deneysel ölçümlerin sergilediği desene ait maksimum ve minimumlar uyumlu bir şekilde takip edilmektedir (Şekil 4.6, 4.7). 480 MeV de deneysel ölçümlerle genel olarak uyum görülsede yüksek tesir-kesiti değerlerindeki küçük açılarda gözlenen uyumsuzluk bu durumu bozmaktadır. 704 ve 1120 MeV enerjilerinde ise yapılan analizlerle deneysel veriler arasında genel bir uyum görülmemektedir. Bunun nedeni, yüksek enerjilere çıkıldıkça inelastik saçılmanın baskın olmasıdır.

4.2 İnelastik Saçılma Analizleri

Bu bölümde, ^{16}O çekirdeğinin uyarılmış durumları dikkate alınarak $E_{LAB}=145, 250, 350, 480, 704$ ve 1120 MeV gelme enerjilerinde, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sistemine ait inelastik saçılma açısal dağılımlarını açıklamak için yapılan OM analizleri sunulmaktadır. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ inelastik saçılmasına ait teorik hesaplamalar, gerçel kısmın $WS2$ olarak seçildiği ve sanal kısmın ise $WS2$ veya WS formunda alınmasıyla oluşturulan,

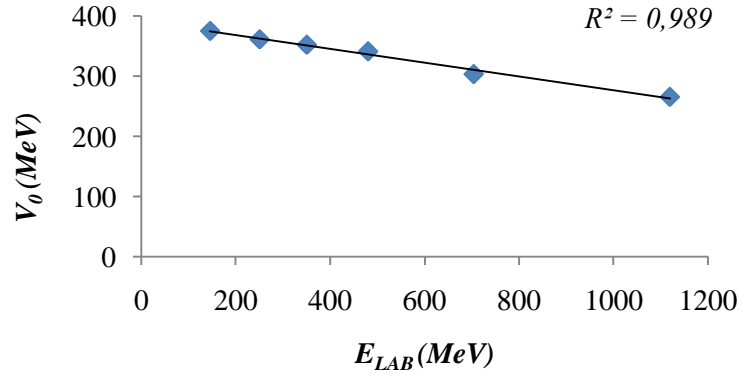
$$\begin{aligned} V_1(r) &= WS2 + iWS2 \\ V_2(r) &= WS2 + iWS \end{aligned} \quad (4.9)$$

potansiyel setleri ile gerçekleştirilmiştir. İnelastik saçılma hesaplamalarımızda kullanılan V_1 veya V_2 formuna sahip temel potansiyel setlerinin yapılandırılması için seçilen parametreler ve $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sisteminin uyarılmış durumlarda aldığı χ^2 değerleri Çizelge 4.6'da verilmektedir (analizler için Bölüm 3'te ayrıntılı olarak açıklanan deformasyon parametreleri de hesaplamalara dahil edilmiştir).

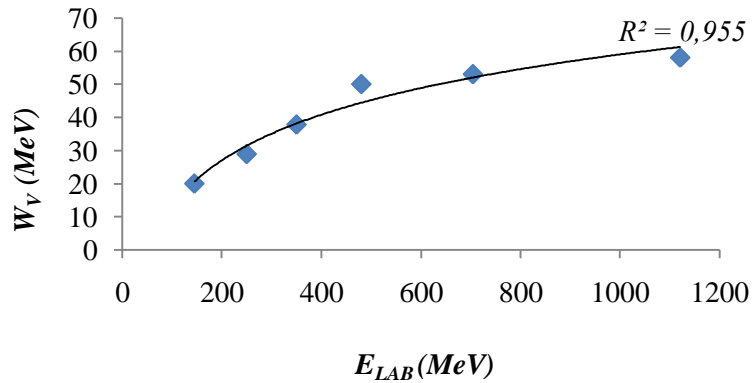
Çizelge 4.6. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ inelastik saçılmasının OM analizleri için kullanılan temel potansiyel setlerine ait dinamik ve geometrik parametreler. Analizler, sadece 2^+ uyarılmış durumu için ve 2^+ ile 3^- uyarılmış durumları için gerçekleştirilerek, teorik hesaplamaların diferansiyel tesir-kesiti ölçümleriyle olan uyumları χ^2 hata hesaplarıyla ayrıca değerlendirilmiştir.

Enerji (MeV)	V_0 (MeV)	r_0 (fm)	a_0 (fm)	Potansiyel form	W_V (MeV)	r_V (fm)	a_V (fm)	χ^2 (2^+)	χ^2 ($2^+, 3^-$)
145	375,0	0,777	1,480	V_1	20,00	1,390	0,70	1,8	1,7
				V_2		1,282	0,50	3,5	3,4
250	361,0	0,773	1,480	V_1	28,90	1,275	1,04	19,9	5,9
				V_2		1,200	0,53	22,2	10,2
350	352,0	0,777	1,579	V_1	37,80	1,194	1,04	26,9	7,0
				V_2		1,120	0,55	27,6	8,0
480	341,0	0,776	1,550	V_1	50,00	1,150	1,02	34,1	7,8
				V_2		1,100	0,51	34,8	8,5
704	303,0	0,779	1,610	V_1	53,00	1,140	1,00	44,0	5,8
				V_2		1,090	0,51	45,6	6,1
1120	265,0	0,779	1,670	V_1	58,00	1,120	1,01	53,8	6,0
				V_2		1,030	0,57	54,9	6,2

İnelastik saçılma hesaplamalarımız için Bölüm 4.1.1’de sunulan elastik saçılmaya ait temel potansiyel analizlerindeki benzer bir izlenmiştir. Yani, V_1 ve V_2 temel potansiyellerinin oluşturulmasında kullanılan parametreler ile gelme enerjisi arasında bir ilişki kurulabilmesine mümkün olduğunca özen gösterilmiştir. Her iki potansiyel setinin gerçel kısımlardaki parametreler (Çizelge 4.6’daki V_0 , r_0 ve a_0 parametreleri) aynı değerlerde seçilmiş ve sanal kısımların potansiyel derinlikleri (W_V) de gelme enerjisine bağlı olarak ortak değerlerde alınmıştır (Çizelge 4.6). Böylece, V_1 ve V_2 setlerinin gerçel kısımlarına ait potansiyel derinliği V_0 için artan enerjiyle düzgün olarak azalan, sanal kısımlarına ait potansiyel derinliği W_V içinse logaritmik olarak artan bir ilişki kurularak global bir analiz elde edilmesi amaçlanmıştır (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).



Şekil 4.8. Gerçel kısma ait potansiyel derinliklerinin gelme enerjisine göre lineer değişimi.



Şekil 4.9. Sanal potansiyel derinlikleri ile gelme enerjileri arasındaki logaritmik ilişki.

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'daki V_0 ve W_V potansiyel derinliklerinin sergiledikleri bu davranışlar, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılmasının OM analizlerinde 145-1120 MeV enerji aralığı için genelleştirilerek gelme enerjisine bağlı bir şekilde formülize edilebilir. Temel potansiyellerimize ait dinamik parametrelerden V_0 derinliği, gelme enerjisine göre

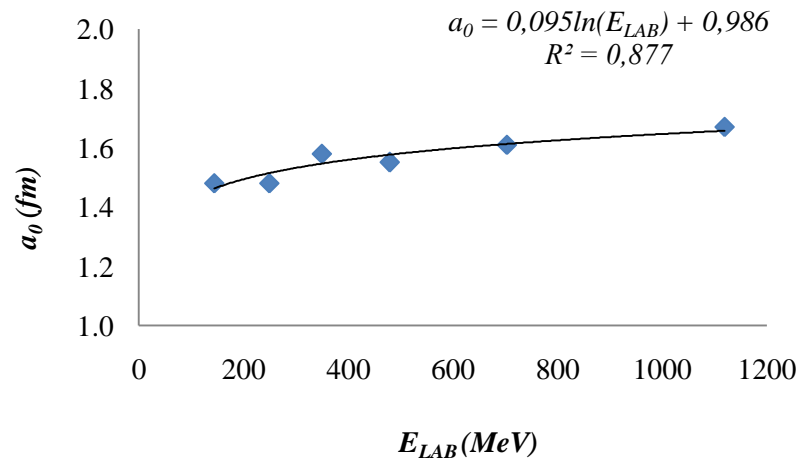
$$V_0 = -0,114E_{LAB} + 391,2 \quad (4.10)$$

biçiminde ifade edilebilir. Sanal kısmın potansiyel derinliği W_V ile gelme enerjisi arasındaki ilişki ise,

$$W_V = 19,912\ln(E_{LAB}) - 78,546 \quad (4.11)$$

şeklinde gösterilebilir.

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ inelastik saçılmasına ait global bir OM analizi elde edebilmek için her iki temel potansiyel setinin gerçel kısımlarına ait geometri parametreleri de ortak değerlerde alınmıştır (Çizelge 4.6). V_1 ve V_2 potansiyel setleriyle yapılan hesaplamalarımız için r_0 değerleri, 0,77-0,78 fm aralığında sabitlenmiştir (Çizelge 4.6). 1,48 fm ile 1,67 fm arasında değerler alan difüzyon parametresi, a_0 ise artan enerji ile artma eğilimi göstermektedir (Şekil 4.10).

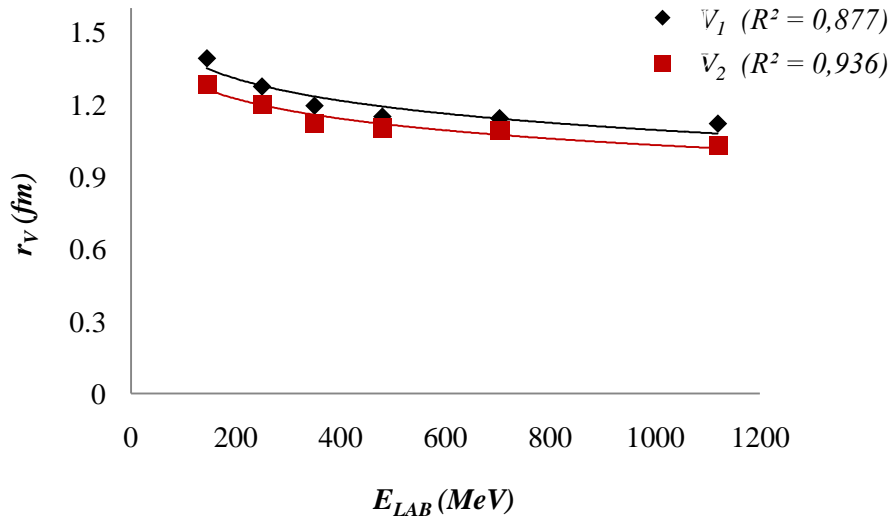


Şekil 4.10. Temel potansiyellerin gerçel kısımları için kullanılan difüzyon parametresinin gelme enerjine bağlı değişimi.

Analizlerimizin diferansiyel tesir-kesiti ölçümleri ile en uyumlu şekilde sonuçlanabilmesi için her iki temel potansiyel setinin sanal kısımlarındaki geometri parametreleri (r_V ve a_V) serbest bırakılmıştır. Sanal kısma ait indirgenmiş yarıçap parametresinin, hem V_1 hem de V_2 formu için artan gelme enerjisiyle logaritmik olarak

$$\begin{aligned} r_V &= -0,13 \ln(E_{LAB}) + 2,008 & (V_1 \text{ formu için}) \\ r_V &= -0,11 \ln(E_{LAB}) + 1,851 & (V_2 \text{ formu için}) \end{aligned} \quad (4.12)$$

bağıntıları uyarınca yavaşça azalma eğiliminde olduğu söylenebilir (Şekil 4.11). a_V difüzyon parametresi ise; V_1 potansiyel seti için (145 MeV analizi haricinde) 1 fm civarında değerler alırken, V_2 potansiyel seti için de 0,50-0,57 fm arasında sabitlenmiştir. 145 MeV harici enerjilerde, WS2 formuna sahip sanal potansiyellerin yer aldığı analizlere ait difüzyon parametrelerinin, WS yapısındaki sanal bileşenli V_2 formu için kullanılan a_V parametrelerinin yaklaşık 2 katı daha büyük olması da ayrıca dikkat çekicidir (Çizelge 4.6).

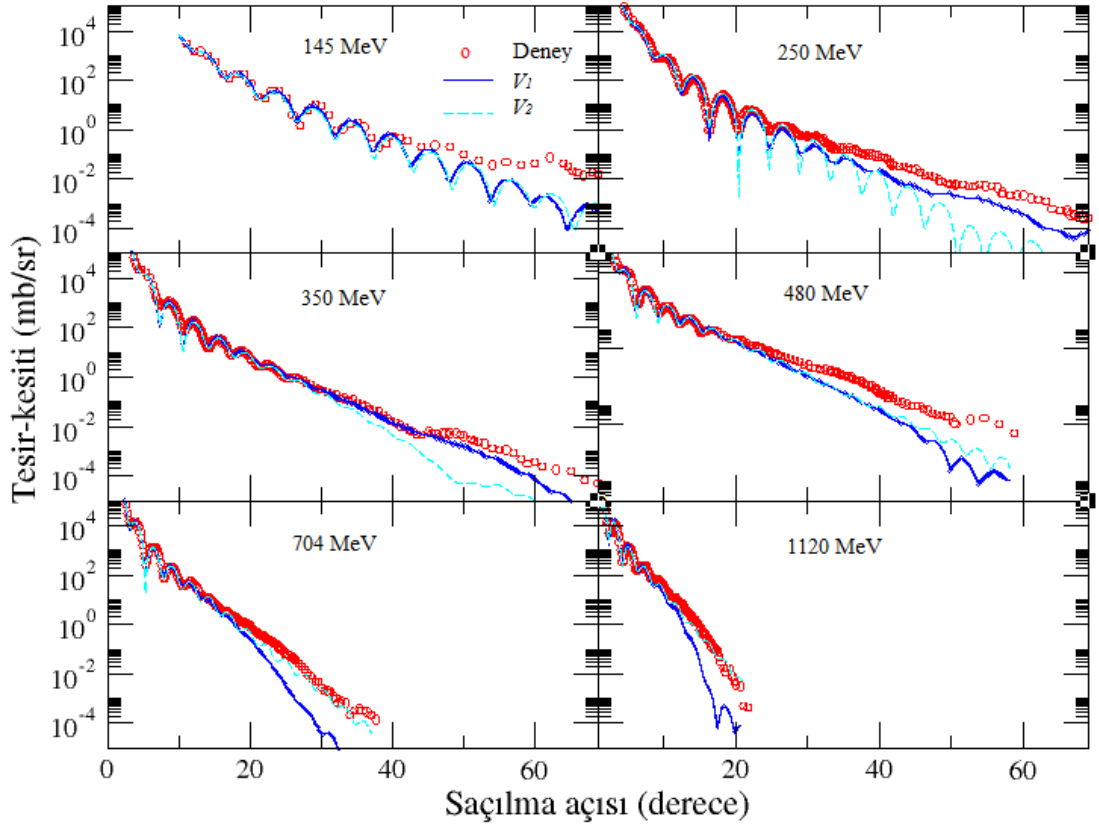


Şekil 4.11. İnelastik saçılma hesaplamaları için sanal kısımda kullanılan indirgenmiş yarıçap parametrelerinin gelme enerjine bağlı değişimi.

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ inelastik saçılmasına ait bu çalışma, ^{16}O çekirdeği için 2^+ ve 3^- uyarılmış durumları esas alınarak yapılmıştır. Fakat, V_1 temel potansiyeline ait parametreler ve

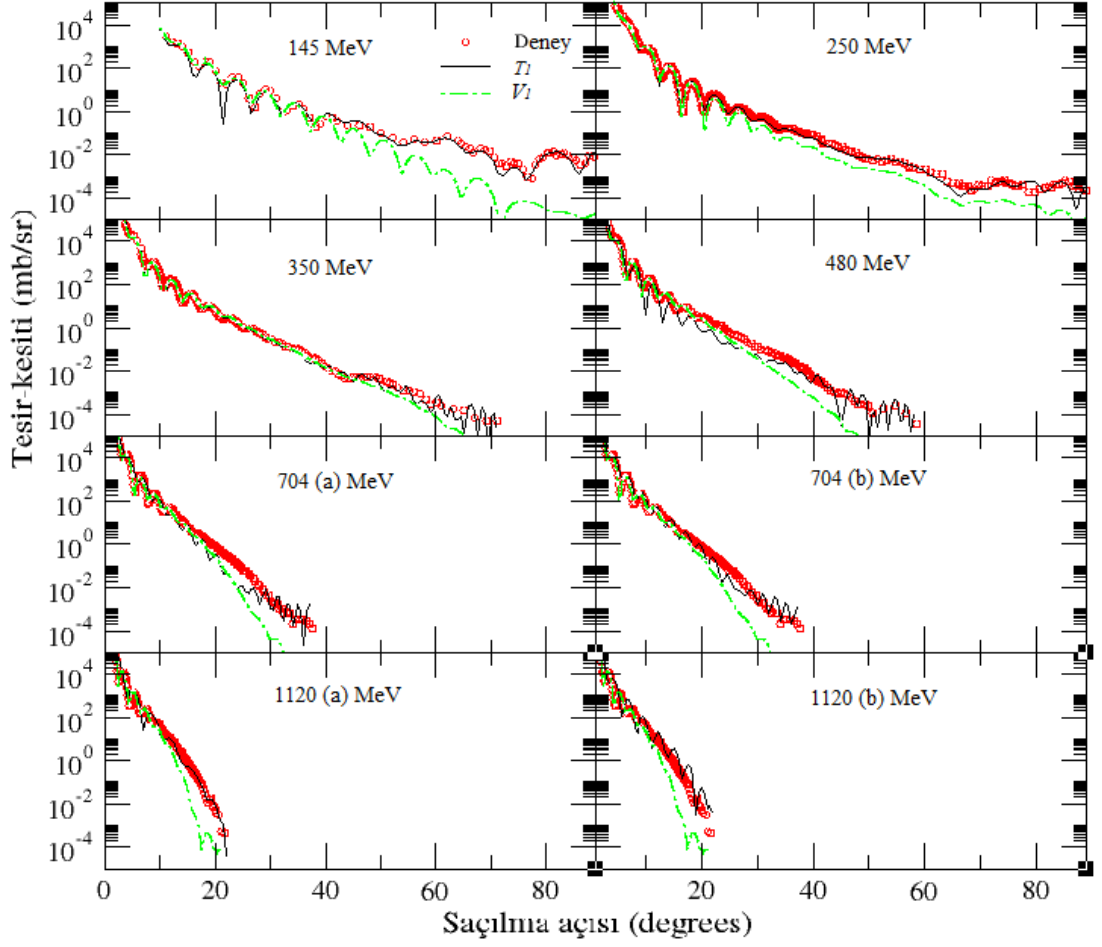
V_2 temel potansiyel setine ait parametre değerleri kullanılarak 2^+ uyarılmış durumu için de χ^2 hesabı yapılarak 2^+ durumu ve 2^+ ile 3^- uyarılmış durumları arasındaki farka bakılmıştır. Hesaplamalara ne kadar çok uyarılmış kanal dahil edilirse analiz sonuçlarının o denli iyileşeceği görülmektedir (Çizelge 4.6).

2^+ ve 3^- uyarılmış durumları için yapılan analizde, 145 MeV ve 250 MeV enerjileri için V_2 potansiyel formuna ait hata değeri, V_1 potansiyel setine ait hata değerinin yaklaşık iki katı büyüklükte bulunmuş olsa da, özellikle 350 MeV ve sonrası enerjilerde iki temel potansiyel formunun da birbirine yakın χ^2 sonuçları ürettiği söylenebilir. V_1 ve V_2 temel potansiyel setleri χ^2 açısından kıyaslandığında, V_1 en iyi potansiyel yapı olarak açıkça görülmektedir (Çizelge 4.6). İki temel potansiyel setiyle yapılan analizlerden elde edilen fitler ile deneysel ölçümlerin karşılaştırılması Şekil 4.12'de verilmektedir.



Şekil 4.12. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ inelastik saçılmasının 2^+ ile 3^- uyarılmış durumları için temel potansiyel setlerle yapılan analiz sonuçları ile deneysel ölçümlerin karşılaştırılması (grafiklerde, x-ekseni derece cinsinden saçılma açısını ve y-ekseni ise logaritmik skalada Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini göstermektedir). 6-enerji için saçılma desenini daha iyi inceleyebilmek amacıyla saçılma açısı 70° 'ye kadar alınmıştır. Panellerdeki kırmızı yuvarlak daireler deneysel ölçümleri, koyu mavi düz çizgi V_1 temel potansiyeli ve açık mavi kesik çizgi ise V_2 temel potansiyeli temsil etmektedir.

İlk bakışta, 480 ve üstü enerjilerde V_2 temel potansiyel seti ile yapılan analizler, deneysel verilere ait maksimum ve minimumları daha uyumlu bir şekilde takip ediyormuş gibi algılanabilir (Şekil 4.12). Fakat, logaritmik olan bu grafiklerde, yüksek tesir-kesiti değerlerindeki uyumun hata hesabına katkısı çok çok daha önemlidir. Yani, 480, 704 ve 1120 MeV enerjilerinde yaklaşık 5° civarında V_2 potansiyel seti ile yapılan analizlerde gözlemlenen faz dışılık yüksek hataya neden olmaktadır. Böylece, 6 enerji için deneysel verileri açıklamada daha başarılı yapı olarak V_1 temel potansiyel seti seçilebilir. Elastik ve inelastik saçılmalara ait deneysel verileri açıklamada öne çıkan T_1 ve V_1 potansiyel setlerinin karşılaştırılması Şekil 4.13'de verilmektedir.



Şekil 4.13. $E_{LAB}=145-1120$ MeV enerjileri için elastik ve inelastik saçılmalara ait seçilen temel potansiyel formlarının birbirleriyle ve deneysel ölçümlerle karşılaştırılması.

145 MeV de, V_I potansiyel seti yaklaşık 40° civarına kadar deneyle uyum gösterirken, $40^\circ-90^\circ$ arasında ise T_I potansiyel seti deneysel ölçümleri daha uyum içinde takip etmektedir (Şekil 4.13). 250 MeV 30° , 350 MeV 35° , 480 ve 704 MeV 20° ve 1120 MeV ise 10° civarına kadar deneysel verilere ait maksimum ve minimumları V_I potansiyel setinin daha iyi ürettiği görülmektedir (Şekil 4.13).

Genel olarak bakıldığında, inelastik saçılma hesaplamaları küçük açılarda deneyle daha uyumlu sonuçlar üretirken, elastik saçılma analizleri yüksek saçılma açılarında deneysel verilere daha iyi uyum göstermektedir. Bu yüzden, χ^2 hata hesabı açısından değerlendirildiğinde inelastik analizlerin χ^2 değerleri elastik analizlere göre çok daha azdır. Yapılan tüm hesaplamalardan yola çıkılarak en başarılı potansiyel yapı olarak V_I potansiyel seti önerilebilir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Nükleer fizikte, farklı mermi ve hedeflerin yer aldığı pek çok saçılma reaksiyonu deneysel olarak çalışılmış ve elde edilen ölçüm sonuçlarını açıklamak üzere çeşitli modeller geliştirilmiştir. Fakat, spesifik bir nükleer reaksiyon için tüm deneysel sonuçları, tek başına açıklayabilen bir model henüz kurulamamıştır. Buna rağmen optik model, saçılma reaksiyonları için yaygın olarak kullanılan, oldukça başarılı bir yöntemdir. Dinamik modellere dayalı yarı-mikroskobik potansiyellerle veya tamamıyla fenomenolojik potansiyellerle çalışılabilen optik modeldeki başlıca problem, deneysel veriler ile en uyumlu nükleer potansiyel formunun belirlenmesi işlemidir.

Literatürde, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılmasına ait deneysel veriler, çeşitli teorik yaklaşımlarla (özellikle, OM ve çiftlenmiş-kanallar metotlarıyla) detaylı bir biçimde çalışılmış, deneysel ölçümlerle uyumlu analizler elde edilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, OM potansiyelinin yapısı hakkında önemli gelişmeler kaydedilmiş olmakla birlikte, hala aşılması gereken bazı problemler mevcuttur.

Bu tezde; OM formalizmi kullanılarak $E_{LAB}=145, 250, 350, 480, 704, \text{ ve } 1120$ MeV enerjileri için $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılmasına ait diferansiyel tesir-kesiti analizleri yapılmış, teorik hesaplamalar ve deneysel ölçümler arasındaki uyumu sağlamada en başarılı fenomenolojik potansiyel yapısı araştırılmıştır. Bunun için, gerçel kısımları WS2 formunda ve sanal kısımları sadece hacim bileşeninden oluşan (WS2 veya WS formunda seçilmiş) iki temel nükleer potansiyel seti üzerinde sistematik bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızın ilk kısmında, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sistemine ait elastik açısal dağılım verilerinin açıklanabilmesi amacıyla oluşturulan 6-parametrelili $T_1(WS2+iWS2)$ ve $T_2(WS2+iWS)$ formundaki temel potansiyel setlerinden elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır. Global bir OM analizinin elde edilmesini hedefleyen hesaplamalarımız için nükleer potansiyellere ait parametrelerin gelme enerjilerine bağlı olarak değişmesine ekstra özen gösterilmiştir. Böylelikle, her iki temel potansiyelde kullanılan dinamik parametreler ile gelme enerjileri ilişkilendirilebilmiş ve ayrıca temel potansiyellerin gerçel kısımlarında kullanılan parametreler için aynı

değerlerin kullanıldığı global analizlere ulaşılmıştır. Teori ve deney arasındaki uyum; diferansiyel tesir-kesiti hesaplamalarından elde edilen fitlerin deneysel ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmasıyla ve her bir enerji için χ^2 hata hesaplarının değerlendirilmesiyle belirlenmiştir. Çalışma sınırları dahilinde, T_1 ve T_2 temel potansiyelleriyle yapılan analizlerin birbirine yakın ve deneysel veriler ile uyumlu sonuçlar ürettiği bulunmuştur. İki temel potansiyel seti arasında, T_1 potansiyel formu kullanılarak yapılan analizlerin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Daha sonra, temel potansiyellerin gerçel veya sanal kısımlarına eklenen WSD şekline sahip derin (D_1, D_2, D_3 ve D_4) veya sıg (S_1, S_2, S_3 ve S_4) yapıdaki ek-potansiyellerin, elastik saçılma analizlerini bir adım daha ileriye götürüp götürmediği incelenmiştir. Bu araştırma için kullanılan ek-potansiyel derinlikleri (Cof G., 2014 kaynağı takip edilerek), sıg ek-potansiyeller için dinamik parametrelerin %10'u büyüklüğünde alınmış ve derin ek-potansiyeller için bu değer %80 olarak seçilmiştir. Sanal kısımda ek-potansiyellerin kullanıldığı analizlerin, gerçel kısma eklenen ek-potansiyelli analizlere göre daha başarılı olduğu ancak T_1 formu ile yapılmış analizlerden daha iyi sonuçlar üretmediği tespit edilmiştir. Elastik OM formalizmi altında gerçekleştirilen analizler 145-1120 MeV enerji aralığı için genel olarak değerlendirildiğinde, en başarılı sonuca, nükleer potansiyel yapısının hem gerçel hem de sanal kısmının $WS2$ formunda seçildiği T_1 temel potansiyel formu durumunda ulaşıldığı söylenebilir. İncelenen fenomenolojik potansiyel formları ile ulaşılan analiz başarıları, büyükten küçüğe; $T_1 > S_3 > D_3 > T_2 > S_4 > D_4 > S_1 > D_1 > S_2 > D_2$ şeklinde sıralanabilir. Literatürde, OM çatısı altında $^{16}O+^{16}O$ sistemi için farklı fenomenolojik yapıların kullanıldığı teorik hesaplamalar mevcut olsa da, bu tezde sunulan ek-potansiyelli analizlerin sistematik olarak bir arada incelendiği bir çalışma daha önce gerçekleştirilmemiştir.

Tez çalışmasında son olarak, 145-1120 MeV enerji aralığında ^{16}O çekirdeğinin 2^+ ve 3^- uyarılmış durumları için $^{16}O+^{16}O$ inelastik saçılmasına ait analizler yapılarak, inelastik saçılma yaklaşımının elastik yaklaşıma göre ne derece etkili olduğu araştırılmıştır. Ayrıca, V_1 ve V_2 olarak etiketlediğimiz $WS2+iWS2$ ve $WS2+iWS$ formundaki potansiyel setlerine ait dinamik ve geometri parametrelerinin kullanılmasıyla 2^+ uyarılmış durum için de hesaplama yapılmış ve artan uyarılmış kanal sayısının hesaplamalar üzerindeki etkisi incelenmiştir. 2^+ durumu ve 2^+ ile 3^- uyarılmış durumları için yapılan analizler karşılaştırıldığında, uyarılmış seviyelerin

artması ile analizlerde bariz bir iyileşme olduğu görülmüştür. Analizler, 2^+ uyarılmış durumu için 0,364 ve 3^- uyarılmış durumu için 0,728 değerlerindeki deformasyon parametrelerinin hesaplamalara dahil edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. İnelastik saçılma için, V_1 ve V_2 potansiyel setleriyle elde edilen analiz sonuçlarına ait fitler, deneysel ölçümler ile karşılaştırılarak incelenmiştir. 2^+ ve 3^- uyarılmış durumları için yapılan analizlerde, birbirine yakın sonuçlar elde edildiği ancak deneysel verileri açıklamada en başarılı yapının V_1 potansiyel seti olduğu bulunmuştur. Daha sonra, elastik saçılma analizlerine ait en başarılı yapı olan T_1 ile inelastik saçılmaya ait en başarılı yapı V_1 ; birbirleriyle ve deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Böylece deneysel verileri açıklamada; küçük saçılma açılarında V_1 , büyük saçılma açılarında ise T_1 potansiyelinin daha başarılı olduğu görülmüştür. Genel olarak incelendiğinde ise yapılan χ^2 analizleri de göz önünde bulundurularak deneysel verileri en başarılı açıklayan yapının V_1 potansiyel seti olduğu saptanmıştır.

İlerideki çalışmalarda, elastik analizler için en uygun ek-potansiyel derinliğinin belirlenmesine yönelik bir araştırma yapılabilir. Yine elastik OM formalizmi altında, nükleer potansiyel için sanal kısımdaki hacim terimi yanında yüzey teriminin de kullanıldığı potansiyel setleri oluşturularak en başarılı analiz araştırılabilir. Ayrıca, inelastik saçılma durumu için bu tezde kullanılan temel potansiyellere ek-potansiyeller eklenerek hesaplama sonuçlarının deneysel ölçümleri açıklamada ne derece etkili olacağı incelenebilir veya mikroskobik potansiyeller kullanılarak yeni OM analizleri gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Alder, K., Bohr, A., Huus, T., Mottleson, B. and Winther, A., 1956. Study of Nuclear Structure by Electromagnetic Excitation with Accelerated Ions. 432, Kopenhag.
- Aydın, A., 1997. $^{40}\text{Ar}(p,p)^{40}\text{Ar}$ Esnek Saçılmasının 22.6, 27.5, 30.0 ve 36.7 MeV Proton Enerjilerinde Optiksel Model Analizi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 83, Samsun.
- Bartnitzky, G., Blazenik, A. and Bohlen, H.G., 1996. Model-Unrestricted Nucleus-Nucleus Scattering Potentials from Measurement and Analysis of $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Scattering. Phys. Lett. B, 365 (1-4), 23-28.
- Bayrak, O., 2004. Hafif-Ağır İyon Reaksiyonlarının Yeni Bir Potansiyel Yaklaşımı İle İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62, Kayseri.
- Bohr, A., and Mottelson B.R., 1969. Nuclear Structure Single-Particle Motion. World Scientific Publishing Co., 22, Singapore.
- Brandan, M.E. and Satchler, G.R. 1991. Optical Potential Ambiguities and $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ at 350MeV. Phys. Lett. B, 256, 311-315.
- Brandan, M.E., Satchler, G.R., 1997. The Interaction Between Light Heavy-Ions and What it Tells us. Physics Review, 285 (4-5), 143-243.
- Cockcroft, J.D. and Walton, E.T.S., 1932. Experiments with High Velocity Positive Ions Further Developments in the Method of Obtaining High Velocity Positive Ions, Proceedings of the Royal Society A, 136(1), 619–630.
- Cof, G., 2014. $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ Esnek Saçılmasının Optik Model Analizleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73, Isparta.
- Cooper, S.G., Mackintosh, R.S., 1994. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Elastic Scattering at 350 MeV Studied by Inversion. Nucl. Phys. A., 576 (2), 308-316.
- Feshbach, H., Porter, C.E., Weisskopf, V.F., 1954. Model for Nuclear Reactions with Neutrons. Physics Review, 96 (2), 448.
- Gonzalez, M.M., and Brandan, M.E., 2001. The Dispersion Relation Applied to the Radial Shape and Energy Dependence of the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Potential at Intermediate Energies. Nucl. Phys. A, Vol., 693 (3-4), 603-615.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 2015. www-nds.iaea.org/RIPL-3
- Khoa, D.T., von Ortezen, W., Faessler, A., 1991. Pauli Exchange Effects in the Elastic Scattering of $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$. Phys. Lett. B, 260 (3-4), 278-284.

- Khoa, D.T., von Ortezén, W., Bohlen H.G., and Nuoffer F., 2000. Study of Diffractive and Refractive Structure in the Elastic $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Scattering at Incident Energies Ranging from 124 to 1120MeV. Nucl. Phys. A, 672 (1-4), 387-416.
- Khoa, D.T., Bohlen, H.G., von Ortezén, W., Bartnitzky, G., Blazevic, A., Nuoffer, F., Gebauer, B., Mitting, W., and Roussel-Chomaz, P., 2005. Study of Reactive Structure in the Inelastic $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Scattering at the Incident Energies of 250 to 1120 MeV. Nucl. Phys. A, 759 (1-2), 3-22.
- Kondo, Y., Robson B.A., and Smith, R., 1989. A Deep Potential Description of the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ System. Phys. Lett. B, 227 (3-4), 310-314.
- Kondo, Y., Michel, F., Reidemeister, G., 1990. A Unique Deep Potential for the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ System. Phys. Lett. B, 242 (3-4), 340-344.
- Kondo, Y., Sugiyama, Y., Tomita, Y., Yamamuchi, Y., Ikeoze, H., Idenio, K., Hamada, S., Sugimutsu, T., Hijjya, M., and Fujita, H., 1996. Airy Minimum Crossing $\theta_{\text{cm}}=90^\circ$ at $E_{\text{LAB}}=124\text{MeV}$ for the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ System. Phys. Lett. B, 365 (1-4), 17-22.
- Krane, K.S. (1988) Introductory Nuclear Physics. John Wiley and Sons, 378-431, New York.
- Kürkçüoğlu, M.E., 2006. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Esnek Saçılmasının Fenomenolojik ve Mikroskopik Potansiyeller ile Optik Model Analizleri. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 227, Zonguldak.
- Kürkçüoğlu M.E., Aytekin H., Boztosun İ., 2006. Optical Model Analysis of the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Nuclear Scattering Reaction Around $E_{\text{LAB}}=5$ MeV/nucleon, Gazi Üniversitesi Journal of Science, (19), 105-112.
- Kürkçüoğlu, M.E., Coş, G., Aytekin, H., Boztosun, İ., 2013. Introducing A Global Optical Model Approach for Analysing $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Elastic Scattering At 5-10mev/Nucleon Region. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi (e-dergi), 8 (1), 71.
- Macfarlane, M.H., Rhoades-Brown, M., and Pieper S.C.,1980. Techniques for Heavy-Ion Coupled-Channels Calculations. I. long-Range Coulomb Coupling. Phys. Rev. C, 21, 2417–2426.
- Maher, J.V., Sachs, R.H., Siemssen, R.H., Weildinger, A., and Bromley, D.A., 1969. Nuclear Interaction of Oxygen with Oxygen. Phys. Rev., 188 (4), 1665-1682.
- Nicoli, M.P., Freeman, F., Aissaou, R.M., Beck, N., Elanigue, E., Noucier, A., Morsad, R., Szilner, A., Basrak, S., Brandan, M.E., 1999. Refractive Effects in the Elastic Scattering of Light Heavy Ions Between 5 and 10MeV/n. The $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Reaction. Nuclear Physics A, 654 (1), 882-887.
- Satchler, G.R., 1980. Introduction to Nuclear Reactions. Mc Millan Press Ltd.,153-210, London.

- Satchler, G.R., 1983. Direct Nuclear Reactions. Oxford University Press, 392-680, New York.
- Sugiyama, Y., Tomita, Y., Ikeo, H., Yamamuchi, Y., Ideno, K., Hamada, S., Sugimatsu, T., Hijiya M., and Kondo Y., 1993. Observation of Airy Oscillation for the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ System at $E_{LAB}=145\text{MeV}$. Phys. Lett. B, 312 (1-2), 35-39.
- Taşan, M., 2001. $^{40}\text{Ar}(p,p)^{40}\text{Ar}$ İnelastik Saçılmasının 25.1 MeV ve 32.5 MeV Enerjilerde Çiftlenmiş Kanal (CC) Analizi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 103, Samsun.
- Thompson, I.J., 1997. A Coupled-Channels Code (unpublished), FRESKO, England.
- Woods, R.D., Saxon, D.S., 1954. Diffuse Surface Optical Model for Nucleon-Nuclei Scattering. Physics Review, 95 (2), 577.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve TÜLÜLER

Doğum Yeri / Yılı : Antalya, 1990

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : mervetululer@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Antalya Gazi Lisesi, 2007

Lisans : SDÜ, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 2012

Mesleki Deneyim

GETUP Zihin Geliştirme Merkezi 2013-2014

Yayınları

SCI, SSCI ve AHCI dışındaki indeks ve özetler tarafından taranan dergilerde yayımlanan teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve özet türünden yayınlar dışındaki makale

Kürkçüoğlu, M.E., Tülüler M., 2015. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Esnek Saçılmasının 5 MeV/n Civarında Sığ Ek-Potansiyeller Kullanılarak Tek-Kanal Optik Model Analizleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi. 85-94.

Ulusal toplantıda poster, sözlü sunum ve gösterim

Kürkçüoğlu M.E., G. Cof, C. Gardiyan ve M. Tülüler, " $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Sisteminin 5 MeV/nükleon Civarında Sığ Ek Potansiyellerle Optik Model Analizleri" ADIM Fizik Günleri-II, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 25-27 Nisan 2012, Bildiri Özetleri Kitabı, 113.

Karakılıç, V., Cof, G., Gardiyan C., Tülüler, M., 2012. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Sisteminin 5 MeV/nükleon Civarında Sığ Ek Potansiyellerle Optik Model Analizleri. ADIM Fizik Günleri-II(Pamukkale Üniversitesi), 25-27 Nisan, Denizli-Türkiye, 113.

Kürkçüoğlu M.E. ve Tülüler M., "Yüksek Enerjilerde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Esnek Saçılması için Optik Model Analizlerinde Kullanılabilecek İki Fenomenolojik Potansiyel Formunun Karşılaştırılması" ADIM Fizik Günleri-III, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 17-18 Nisan 2014, Bildiri Özetleri Kitabı, 120.

Tülüler M. ve Kürkçüoğlu M.E., "145-1120 MeV Enerji Aralığındaki $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Esnek Saçılmasında Nükleer Potansiyele Eklenen Derin Ek-Potansiyelin Optik Model Analizlerine Etkisi" ADIM Fizik Günleri-III, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 17-18 Nisan 2014, Bildiri Özetleri Kitabı, 121.

Uluslararası toplantıda poster, sözlü sunum ile gösterimleri

Karakılıç, V., Cof, G., Tozun, F., Cine, A., Güdücü, M., Tülüler, M., 2011. CR-39 Dedektörleri ile Yapılan Atmosferik Radon Konsantrasyonu Ölçümlerindeki Hata. Türk Fizik Derneği 28. Uluslararası Fizik Kongresi, 06-09 Eylül, Bodrum-Türkiye, 589-590.

Cof, G., Kürkçüoğlu, M.E., Tülüler, M., Gardiyan, C., 2012. 5 MeV/Nükleon Civarında $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Reaksiyonunun Optik Modelde Derin Ek Potansiyellerle İncelenmesi. Türk Fizik Derneği 29. Uluslararası Fizik Kongresi, 05-08 Eylül, Bodrum-Türkiye, 682.

Tülüler M., Cof G. ve Kürkçüoğlu M.E., $E_{LAB}=94, 100$ ve 115 ve 124 MeV Enerjilerinde $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ Esnek Saçılması İçin Kullanılan Fenomenolojik Nükleer Potansiyel Parametrelerin Davranışlarının İncelenmesi, Türk Fizik Derneği 30. Uluslararası Fizik Kongresi 02-05 Eylül 2013, İstanbul-Türkiye, Bildiri Özetleri Kitabı, 617.

Tülüler M. ve Kürkçüoğlu M.E., $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Saçılmasının $E_{LAB}= 145- 1120$ MeV Enerji Aralığında Fenomenolojik Optik Model Analizleri, Türk Fizik Derneği 30. Uluslararası Fizik Kongresi 02-05 Eylül 2013, İstanbul-Türkiye, Bildiri Özetleri Kitabı, 618.