

ARASTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ ESNEK SAÇILMASININ OPTİK MODEL İLE İNCELENMESİ*

Hüseyin Aytekin¹, M. Ertan Kürkcüoğlu², İsmail Boztosun³

ÖZ

Enerjik parçacıklar ile hedefteki bir çekirdeğin bombardıman edilmesiyle oluşturulan nükleer saçılmalar, nükleer yapı ve çekirdek reaksiyonlarının aydınlatılmasında önemli bir mekanizmadır. Hafif ağır çekirdeklerin esnek ve esnek olmayan saçılmaları, nükleer fiziğin ilgiyle incelemekte olduğu, halen tam olarak açıklanamamış güncel bir konudur. Hafif ağır-iyon reaksiyonlarını açıklayabilmek için geliştirilen optik model, bozunmuş-dalga Born yaklaşımı ve katlı-model gibi nükleer reaksiyon modelleriyle yürütülen çalışmalarda ana problemlerden birisi deneysel veriler ile en uyumlu potansiyel yapısının belirlenmesi işlemidir.

Optik modelin özellikle hafif ağır-iyon reaksiyonlarının esnek saçılmasını açıklamada oldukça başarılı olduğu bilinmektedir. Optik model, soğurma etkilerini göz önüne alarak ve soğurulan parçacıkların esnek kanallarda kaybolduğunu var sayarak esnek saçılmayı genel bir biçimde inceler. Son yıllarda değişik pek çok enerji değerlerinde yaygın olarak yapılan hassas esnek diferansiyel tesir-kesiti ölçümleri sonucunda, iki hafif ağır-iyon arasındaki optik model potansiyelinin yapısı ve anlaşılması hakkında önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

Bu çalışmada, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ esnek saçılmasının optik model çatısı altında farklı potansiyel formları kullanılarak incelenebilmesi için kullanılan yöntem tanıtılmakta, ELAB=75-124 MeV enerji aralığı için Fresco bilgisayar kodu ile gerçekleştirilen tesir-kesiti analizlerimiz sergilenmektedir. Analizlerimizin deneysel tesir-kesiti ölçümleri ile gayet uyumlu olduğu ve kimi enerji değerleri için önceki teorik çalışmalardan daha başarılı sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler : $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ esnek saçılması, Optik model, Tesir-kesiti.

INVESTIGATION OF THE $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ ELASTIC SCATTERING BY OPTICAL MODEL**

ABSTRACT

The nuclear scattering is an important mechanism for enlightening the nuclear structure and nuclear reactions, which occurs when a target nucleus is bombarded by energetic particles. Although the elastic and inelastic scatterings of light heavy nuclei have been investigated with great interest in nuclear physics, the subject has not been fully explained yet. When investigating the light-heavy ion reactions by using nuclear reaction models, such as optical model, distorted-wave Born approximation and folding-model, one of the main problems is to determine the most suitable potential form to explain the experimental data.

The optical model, which is known particularly successful for explaining the elastic scattering, investigates the elastic scattering in a general way by considering the absorption effects and assuming that the absorbed particles vanish in the elastic channels. Recently, many precise elastic differential cross-sections measurements between two light heavy ions have been performed at various incident energies and those studies have provided better understanding of the form of the optical model potential.

In this study, the method for investigating the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastic scattering in the framework of the optical model formalism by using various potential forms is introduced and our cross-section analyses, which are evaluated by the Fresco code, are exhibited for the energy range $E_{\text{LAB}}=75-124$ MeV. It is found that, our analyses have very well agreed with the experimental cross-sections measurements, and have given better results according to the previous theoretical works for some incidence energies.

Keywords: $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ elastic scattering, Optical model, Cross-section.

¹ Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 67100 Zonguldak, Türkiye,
Faks: 0372 2572316, **e-posta:** huseyinaytekin@gmail.com

² Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak Meslek Yüksekokulu, 67100, Zonguldak, Türkiye.

³ Erciyes Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kayseri, Türkiye.

* Bu çalışma Zonguldak Karaelmas Üniversitesi'nin 2004-13-03-04 numaralı araştırma projesi kapsamında desteklenmektedir.

** This work was supported by the Zonguldak Karaelmas University research project 2004-13-03-04.

1. GİRİŞ

Atom fiziğinde bir atomu incelerken; çekirdeğin Z e kadar pozitif yük taşıdığını, çekirdeğin elektronlara göre ağır olduğu ve bu yüzden durgun kabul edilebileceğini ve çekirdek boyutunun çok küçük olduğu için noktasal kabul edilebileceğini varsayabiliriz. Halbuki çekirdekteki nükleonlar hareketlidir. Elektronları atom yörüngelerine bağlayan kuvvet elektrostatik kuvvet olmasına karşın, çekirdek içerisinde nükleonları bir arada tutan kuvvet ise tamamen farklıdır ve bu kuvvetin yapısı hala tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Hedef çekirdeğin mermi çekirdekler ile bombardımanı ile gerçekleştirilen farklı çekirdek reaksiyonlarına ait saçılma deneyleri, çekirdeğin yapısının daha iyi anlaşılabilmesi ve nükleonlar arasındaki bu kuvvetlerin doğasının aydınlatılması bakımından nükleer fiziğin yoğun olarak ilgilendiği başlıca bir alan olagelmıştır (Brandan ve Satchler, 1997; Satchler, 1980).

Nükleer reaksiyonlarda iki çekirdek arasındaki etkileşmelerin tam olarak ifadesi nükleer fizik için çok parçacık probleminin üstesinden gelinmesi ile mümkündür. Bu ise matematiksel güçlükler içermesi bakımından henüz çözülememiş karmaşık bir problemdir (Brandan ve Satchler, 1997). Bu nedenle çok parçacıklı sistemler için sistemlerdeki parçacıklar arasındaki, ve parçacıklarla parçacık grupları arasındaki bireysel kuvvetlere eğilmek yerine, parçacıkların oluşturduğu sistemlere ait önemli özellikleri dikkate alan optik model (Satchler, 1980; Aydın, 1997; Satchler, 1983; Brandan ve Satchler, 1997), bozunmuş dalga Born yaklaşımı (Satchler, 1980; Satchler, 1983) ve katlı-model (Satchler, 1983; Brandan ve Satchler, 1997), gibi basitleştirilmiş nükleer modeller üzerinde çalışılmaktadır.

Hafif-ağır çekirdeklerin esnek ve esnek olmayan saçılmaları, birçok ilginç ve zengin nükleer özellikler gösterir. 40 yılı aşkın süredir hafif-ağır çekirdeklerin esnek ve esnek olmayan saçılması nükleer fizikte detaylı olarak çalışılmış ve uzun süredir çözülemeyen bir takım problemler (Boztosun ve Rae, 2000) süre gelmiştir: i- Geniş açı saçılmalarının eldesi (ALAS), ii- Deneysel sonuçlar ile teoriye dayalı tahminler arasındaki faz dışılık sorunu, iii- Osilasyonlu yapının Coulomb bariyeri civarında üretilmesi, iv- Açısal dağılım ile uyarılma fonksiyonunun eşzamanlı eldesi, v- Deformasyon parametresinin kullanımındaki keyfilik, ve vi- Rezonans, bu problemlerden sadece bir kaçıdır. Bugüne kadar hafif-ağır iyonların gösterdiği bu problemlerin çözümü ile ilgili bir çok teorik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, bu elde edilen deneysel verileri açıklayan tek bir model ne yazık ki şu ana kadar önerilememiştir (Boztosun, 2002).

Çarpışmadan önceki ve sonraki toplam kinetik enerjilerin sabit kaldığı durumda gerçekleşen esnek saçılma işleminde 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 şeklinde olacaktır (Krane, 1988).

$a+X \rightarrow X+a$ biçiminde gösterilen bu işlemde, hedef çekirdek ile hedefe gönderilen çekirdek uyarılmamakta, hedefe gönderilen çekirdek ise hedef çekirdek ile arasındaki etkileşmeye bağlı olarak geliş doğrultusundan saparak saçılmaktadır. Kompleks mermi ve hedefler arasındaki en basit etkileşme olan esnek saçılma, saçılan iki çekirdek arasındaki etkileşim potansiyeli hakkında bilgi edinmek için hafif ağır-iyon fiziğinde etkin bir biçimde kullanılabilir (Satchler, 1983). Bu amaçla, nükleer potansiyelin amprik parametrelerle belirlendiği optik model (OM) vasıtası ile ağır-iyon (HI) saçılma verileri incelenmektedir. Dahası optik potansiyel çift-katlı (DF) model formalizmi kullanılarak temel bir nükleon-nükleon (NN) etkileşmesi ile ilişkilendirildiği zaman, HI saçılmasının mikroskobik açıdan yorumlanması başarı ile gerçekleştirilebilmektedir. Katlı-model hesaplamalarında anahtar rolü oynayan etkileşen çekirdeklerin nükleer yoğunlukları ve etkin NN etkileşmelerine ait bilgiler, DF model çatısı altında HI saçılma reaksiyonlarının analizleri için son yirmi yılda yoğun biçimde kullanılmaktadır (Brandan ve Satchler, 1997; Khoa vd. 2000; El-Azab Farid ve Hassanain, 2000; El-Azab Farid vd. 2001).

İncelenmek istenen spesifik bir nükleer reaksiyon, saçılma ürünlerinin açılarını ve kinetik enerjilerini ölçmek suretiyle çalışılır. Belirli bir kinetik değişkenler kümesi için ilgilenilen en önemli nicelik reaksiyonun tesir kesitidir. Dedektör etkileşme sonucu saçılan parçacıkların sadece küçük bir kesrini görebileceği için, reaksiyon ürünlerinin açısal dağılımları hakkında bilgi edinmek bakımından çok önemli bir yere sahip olan diferansiyel tesir kesiti kavramı gündeme gelmektedir. Tesir kesiti ayrıca dalga fonksiyonunu gelen düzlem dalga ve saçılan küresel dalga fonksiyonlarının toplamı biçiminde ele alan saçılma problemi için kuantum mekaniksel kurallar çerçevesinde hesaplanabilir. Ölçülen ve hesaplanan tesir kesiti değerlerinin birbiriyle karşılaştırılmasıyla, nükleer model varsayımlarının geçerliliği incelenebilmektedir.

Hafif ağır-iyon reaksiyonlarından $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ reaksiyonu deneysel ve teorik olarak nükleer fizikte yoğun şekilde çalışılmaktadır. Literatürde $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılmasına ait deneysel ölçümler (Maher vd., 1969; Sugiyama vd., 1993; Kondo vd., 1996; Bartnitzky vd., 1996; Brandan ve Satchler, 1997; Nicoli vd., 1999; Khoa vd., 2000) mevcut olup bu deneysel verileri açıklamak için yapılan teorik çalışmalara rastlamak mümkündür (Maher vd., 1969; Kondo vd., 1989; Brandan ve Satchler, 1991; Sugiyama vd., 1993; Brandan ve Satchler, 1997; Khoa vd., 2000; Nicoli vd., 1999; Gonzalez ve Brandan, 2001). Hafif ağır-iyon reaksiyonlarının nükleer modeller ile incelenmesinde ana problem deneysel verileri açıklamak için en uygun potansiyel yapısının belirlenmesi işlemidir.

Ağır iyonlar arasındaki etkileşim, birleşik çekirdek oluşumuna yol açan güçlü soğrulma tarafından yönetilir. Fakat $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ reaksiyonunda olduğu gibi belirli hafif ağır iyonlar ($4 < A < 40$) için açık reaksiyon kanallarının (Haas ve Abe, 1981) sayısı küçüktür ve soğrulma daha zayıftır. Bu daha zayıf soğrulmadan

refraktif etkiler ve nükleer gökkuşakları oluşur. Bu oluşumların gözlemlenmesi ile daha küçük etkileşme mesafelerindeki çekirdek-çekirdek potansiyeli elde edilir. Bu etkiler $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ sistemi için yaygın biçimde çalışılmaktadır. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ reaksiyonunun $\theta_{CM}=90^\circ$ deki esnek saçılma uyarılma fonksiyonlarından hareketle iki rejimin gözlemlendiği literatürde rapor edilmektedir (Nicoli vd., 1999); *i-*) düşük enerjilerdeki ($E \leq 5\text{MeV}$) sıkı yapılara karşılık gelen rezonans rejimi (Maher vd. 1969) ve *ii-*) bunu takip eden daha yüksek enerjilerdeki daha geniş yapıllı refraktif rejim (Halbert vd., 1974; Kondo vd., 1996; Nicoli vd., 1999). Gerçekleştirilen diferansiyel tesir-kesiti ölçüm ve analizleriyle $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ reaksiyonunun esnek saçılması için etkileşim potansiyelinin iç kısmının daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Böylelikle nispeten zayıf, enerji bağımlı soğrulma ile çekici, güçlü yapıdaki gerçel kısımdan oluşan optik potansiyel formları elde edilmiştir (Brandan ve Satchler, 1997).

Bu çalışmada kullanılan optik model ve etkileşim potansiyelinin yapısı ikinci bölümde tanıtılmaktadır. $E_{LAB}=5-10\text{MeV}$ /nükleon enerji aralığındaki $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ esnek saçılma diferansiyel tesir-kesiti verilerinin fenomenolojik ve çift-katlı potansiyeller ile analizi OM çatısı altında üçüncü bölümde verilmektedir. Elde edilen sonuçlar çalışmada kullanılan parametrelerle birlikte bu bölümde değerlendirilerek $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ esnek saçılma reaksiyonunun OM analizi için kullanılan yaklaşımımız daha önceki teorik çalışmalarla karşılaştırılmaktadır. Son bölümde ise, elde edilen sonuçlar kısaca değerlendirilmekte ve deneylerle daha uyumlu sonuçlar elde edilebilmesi için ilerideki çalışmalara yönelik önerilerde bulunulmaktadır.

2. OPTİK MODEL VE OPTİK POTANSİYEL

Çekirdek reaksiyonlarını açıklamak için geliştirilen modellerden birisi olan optik model, soğurma etkilerinin var olması durumunda esnek saçılmayı genel bir biçimde, sadece gelen parçacığın davranışını ele alan temel bir düşünce ile inceler. Bu modelde hedefe gönderilen parçacık kabuk modelinde kullanılan tipte bir potansiyel kuyusu ile karşı karşıyadır, fakat buna bir sanal bileşen de dahildir. Özellikle nükleer saçılma reaksiyonlarını açıklamada oldukça başarılı olan OM hesaplamalarında, soğrulan parçacıkların esnek kanallarda kaybolduğu kabul edilmektedir. Optik model, yalnız saçılma reaksiyonlarındaki ortalama davranışı tartışmada kullanışlı olduğundan, çekirdeklerin mikroskobik yapısına ait özellikleri de sadece bu ortalama yolla dolaylı olarak açıklayabilmektedir (Satchler, 1980; Krane, 1988).

Bir nükleer reaksiyonda, mermi ve hedef çekirdek arasındaki iki-cisim etkileşmesini temsil edecek potansiyelin yapısı mermi ve hedef çekirdek arasında oluşan esnek saçılma ve reaksiyonların tümüne uygun olmalıdır. Genel olarak, etkileşme potansiyelinin gerçel kısmı esnek saçılmayı, sanal kısmı ise soğrulmayı (esnek olmayan saçılma ve reaksiyonları) temsil eder (Satchler, 1980; Satchler, 1983). Bu karmaşık potansiyel, hedef ve mermi çekirdek arasındaki esnek ve es-

nek olmayan saçılmaların, ışığın karmaşık kırılma indisli bir ortamda sergilediği yansıma, soğrulma ve kırınım özelliklerine benzerliğinden hareket ederek optik potansiyel olarak adlandırılmıştır. Bu tanıma uyan literatürdeki ilk optik potansiyel

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

biçimine sahip bir kare kuyu potansiyeli olup Feshbach ve arkadaşları tarafından önerilmiştir (Feshbach vd. 1954).

Optik potansiyeli tanımlayabilmek için iki yaklaşım kullanılmaktadır; ilk yaklaşımda nükleonların etkileşmeleri ele alınarak temel nükleer yapı teorisinden hareket edilmekte, ikinci yaklaşımda ise deneysel verilere en iyi uyan potansiyel formu belirlenmektedir. Tatmin edici bir optik potansiyel bu iki yaklaşımın birleşmesinden ve potansiyel için mevcut temel teorilerin kullanılmasından elde edilebilmektedir (Aydın, 1997).

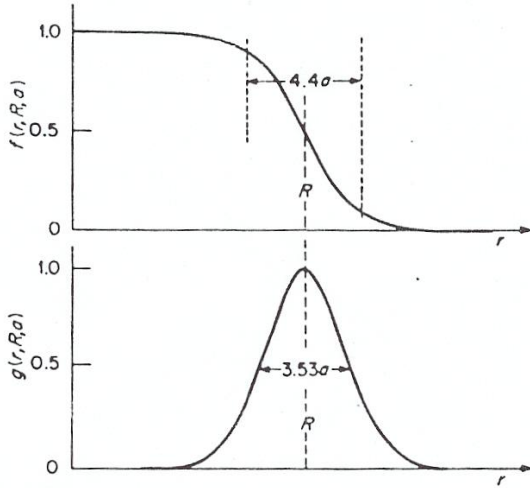
Optik modeli uygulayabilmek için öncelikle uygun bir potansiyel formu belirlenmelidir. Gelen parçacık ve hedef arasındaki nükleon-nükleon etkileşmesi büyük uzaklıklarda üstel olarak azaldığı için aranılan optik potansiyelin de aynı davranışı göstermesi beklenir (Krane, 1988). Optik potansiyelin gerçel merkezi kısmı ve sanal hacim kısmı için en uygun şeklin, artan yarıçapla üstel olarak azalan ve çekirdek kuvvetlerinin doyum özelliğini sağlayacak biçimde sabit olan Woods-Saxon (WS) formunda olduğu 1954 de bildirilmiştir (Woods ve Saxon, 1954). Optik model potansiyelinde kullanılan Woods-Saxon şekil çarpanının genel yapısı

$$f^n(r, r_i, a_i) = \frac{1}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - r_i A^{1/3}}{a_i}\right)\right]^n} \quad (2)$$

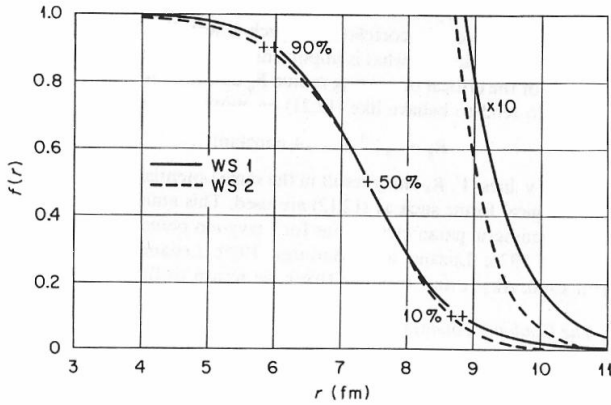
ile gösterilmektedir (Woods ve Saxon, 1954). Burada, mermi ile hedef parçacığın merkezleri arasındaki uzaklık r , çekirdek potansiyelinin merkez değerinin yarısına düştüğü yarıçap r_i , ve kütle numarası A ile gösterilmiştir. **A ile A_i hedef ve A_p mermi çekirdeklerin kütleleri arasında $A^{1/3} = A_i^{1/3} + A_p^{1/3}$ bağıntısı vardır.**

Yaygınlık parametresi olarak adlandırılan a_i ise potansiyelin maksimum değerinin %90 nından %10 una düştüğü noktalar arasındaki uzaklıktan elde edilen bir parametredir. $f(r, r_i, a_i)$ ve bunun türev şekli $g(r, r_i, a_i)$ fonksiyonlarının uzaklığa göre değişimleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Eşitlik 2 ile verilen denklemde WS formu için $n=1$ ve Woods-Saxon kare (WS2) formu için $n=2$ alınmaktadır. WS ve WS2 formlarının uzaklığın bir fonksiyonu olarak davranışları Şekil 2'de verilmektedir. Burada her iki potansiyel formu arasındaki fark WS ve WS2 formları 10 kez büyütülerek ayrıca sergilenmektedir.



Şekil 1. WS şekil çarpanı ve diferansiyel formu (Satchler, 1980'den uyarlanmıştır).



Şekil 2. WS (düz çizgi) ve WS2 (kesikli çizgi) formlarının uzaklığa göre değişimlerinin karşılaştırılması (Satchler, 1983'den uyarlanmıştır).

Optik modele göre etkileşim potansiyelinin yapısı genel olarak şu şekilde verilmektedir

$$V(r) = V_{COUL}(r) + V_{CR}(r) + iW_{CI}(r) + \hbar^2 \{V_{SR}(r) + iW_{SI}(r)\} (\vec{S} \cdot \vec{L}) + V_I(r) \quad (3)$$

Bu denklem sırasıyla, Coulomb potansiyeli, merkezi (nükleer) potansiyelin gerçel ve sanal kısımları, spin-yörünge potansiyelinin gerçel ve sanal kısımları ve merkezci potansiyelden oluşmaktadır. Bu potansiyeller gelen parçacık ile hedef çekirdeğin kütle merkezleri arasındaki r uzaklığına bağlıdır. \vec{S} ve \vec{L} operatörleri ise gelen parçacığın spin ve yörüngesel açısal momentum operatörleridir.

Yüklü parçacıkların etkileşimlerinde dikkate alınması gereken V_{COUL} , Coulomb potansiyeli, $R_C = r_C A^{1/3}$ yarıçaplı düzgün yük dağılımına sahip bir kürenin potansiyeli olarak ele alınır. Coulomb potansiyeli, $Z_p e$ ve $Z_t e$ sırasıyla gelen çekirdek ve hedef çekirdeğin yükünü göstermek üzere

$$V_{COUL}(r) = \begin{cases} \frac{Z_p Z_t e^2}{2R_C} \left(3 - \frac{r^2}{R_C^2} \right) & r < R_C \\ \frac{Z_p Z_t e^2}{r} & r \geq R_C \end{cases} \quad (4)$$

biçiminde ifade edilir (Satchler, 1980). $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ sistemi için deneysel analizlerden $r_C = 1.4 \text{ fm}$ bulunmuş fakat kuantum mekaniksel düzeltmelerle $r_C = 1.2 \text{ fm}$ olduğu anlaşılmıştır (Brandan ve Satchler, 1997).

Merkezi potansiyelin gerçel kısmı olan $V_{CR}(r)$, genellikle WS ($n=1$) veya WS2 ($n=2$) formundadır:

$$V_{CR}(r) = \frac{-V_0}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - r_0 A^{1/3}}{a_0} \right) \right]^n} \quad (5)$$

Optik potansiyelin sanal kısmı esnek olmayan saçılmalara ilgili olduğundan gerçel potansiyele göre etkileşimin ayrıntılarına daha duyarlıdır. Potansiyel ifadesinde esnek saçılmalarda bile bulunması zorunlu olan bu sanal kısım, çekirdek hacmindeki soğrulma ile ilgili olan bileşen ve çekirdek yüzeyindeki soğrulma ile ilgili bir bileşenden oluşur ($W_{CI} = V_{CI} + V'_{CI}$). Sanal hacim potansiyelinin yapısı, gerçel merkezi potansiyeli gibi WS ($n=1$) veya WS2 ($n=2$) şeklindedir

$$V_{CI}(r) = \frac{-W_V}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - r_V A^{1/3}}{a_V} \right) \right]^n} \quad (6)$$

Çekirdek yüzeyindeki soğrulma ile ilgili sanal yüzey potansiyeli (çekirdek yüzeyinde en büyük olacak biçimde) Gaussian şekli (Eşitlik 7) ve WS diferansiyel şekli (Eşitlik 8) olmak üzere iki şekilde verilmektedir:

$$V'_{CI}(r) = -W_S \exp \left\{ - \left[\frac{(r - r_S A^{1/3})^2}{b} \right] \right\} \quad (7)$$

veya

$$V'_{CI}(r) = -4a_s W_S \left\{ - \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r - r_S A^{1/3}}{a_s} \right)} \right] \right\} \quad (8)$$

Düşük enerjilerde, kabuklarının çoğu dolu olan hedef çekirdeğin gelen nükleonları soğurması Pauli dışarlama ilkesine aykırı olmasına rağmen, bu ilkenin geçerli olmadığı yüzeylerde yeterince soğrulma meydana gelir. Yüksek enerjilerde ise, dışarlama ilkesinin etkisi azalarak çekirdek hacminde de soğrulma gerçekleşir (Ayдын, 1997).

Saçılma reaksiyonundan kaynaklanacak kutuplanmaların daha doğru hesaplanabilmesi için optik potansiyel denklemine karmaşık yapıda olan bir spin-yörünge potansiyel terimi de ilave edilmelidir (Aydın, 1997). Bu potansiyel için en uygun biçimin yüzeyde maksimuma erişen Thomas şekli olabileceği bildirilmiştir (Satchler, 1980). Böylelikle spin-yörünge potansiyelinin gerçel ve sanal kısımları için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$V_{SR}(r) = \frac{2}{\hbar^2 r} V_{SO} \left\{ -\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r - r_{SO} A^{1/3}}{a_{SO}}\right)} \right] \right\} \quad (9)$$

ve

$$V_{SI}(r) = \frac{2}{\hbar^2 r} W_{SO} \left\{ -\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r - r_{SO} A^{1/3}}{a_{SO}}\right)} \right] \right\} \quad (10)$$

Son olarak, mermi ve hedef çekirdeğin bağıl açılal momentumlarından oluşan merkezci potansiyel, açılal momentum kuantum sayısı l ye bağlıdır ve şu şekilde verilmektedir:

$$V_l(r) = l(l+1)\hbar^2 / 2\mu r^2 \quad (11)$$

Eşitlik 11 ile verilen merkezci potansiyel ifadesinde, μ mermi ve hedef çekirdeğin indirgenmiş kütlelerini göstermektedir.

Tüm bunlara göre başlangıçta Eşitlik 3 ile verilen optik model potansiyeli yeniden aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$V(r) = V_{COUL}(r) - V_0 f^n(r, r_0, a_0) - iW_V f^n(r, r_V, a_V) - iW_S 4a_S \frac{d}{dr} f(r, r_S, a_S) \quad (12)$$

$$+ (V_{SO} + iW_{SO}) \frac{2}{r} \frac{d}{dr} f(r, r_{SO}, a_{SO}) (\vec{L} \cdot \vec{S}) + V_l.$$

Burada WS formu için $n=1$ ve WS2 formu için $n=2$ alınmaktadır. Optik potansiyelin genel formunu veren bu son denklemde ayarlanabilen ondört parametreye bulunmaktadır. Bunların sekiz tanesi geometri parametreleri ($r_0, a_0, r_V, a_V, r_S, a_S, r_{SO}, a_{SO}$) ve altı tanesi de dinamik parametrelerdir ($V_0, W_V, W_S, V_{SO}, W_{SO}$ ve V_l). Genellikle geometri parametrelerinden r_V ile r_S ve a_V ile a_S için aynı değerler kullanılabilir (Aydın, 1997). $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ reaksiyonu için $\vec{L} \cdot \vec{S} = 0$ olduğundan denklem 3 deki spin-yörünge potansiyeli için yazılan terim düşmekte ve böylece geometri parametrelerinin sayısı dörde inmektedir. Eşitlik 3 deki potansiyellerden Coulomb potansiyeli ve merkezci potansiyelin özellikleri çok iyi bilinmesine rağmen nükleer potansiyelin yapısı iyi bilinmemektedir. Hafif ağır iyon reaksiyonlarının incelenmesinde ana problem

aslında bu potansiyelin yapısının açıklığa kavuşturulmasıdır.

Deneysel saçılma ve reaksiyon tesir-kesiti verilerini açıklamak istenen potansiyeller, bir bilgisayar kodu kullanılarak elde edilmektedir. Literatürde bu amaçla yazılmış, yaygın olarak kullanılan reaksiyon analiz programları Fresco (Thompson, 1988), Ptolemy (Macfarlane vd. 1980) ve ECIS (Carlson, 2000) gibi kodlardır. Hesaplama yoluyla bulunan tesir-kesitleri ile deneysel tesir-kesitlerinin karşılaştırılmasından incelenen enerji aralığı için en uygun potansiyel takımı belirlenmektedir. Fenomenolojik potansiyellerin kullanıldığı analizlerde potansiyellerin gerçel ve sanal kısımları WS, WS2, WS türev formunda veya bunların kombinasyonları biçiminde olabilmektedir. $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ reaksiyonunun analizlerinde, nükleer potansiyelin gerçel ve sanal kısımlarını WS2 formunda seçmek yeterli olmaktadır (Khoa vd., 2000; Nicoli vd., 1999; Gonzalez ve Brandan, 2001; Kürkçüoğlu vd., 2005). Böylelikle fenomenolojik potansiyellerin yer aldığı OM hesaplamaları için kullanacağımız etkileşim potansiyelinin yapısı aşağıdaki formu almaktadır

$$V(r) = V_{COUL}(r) - V_0 f^2(r, r_0, a_0) - iW_V f^2(r, r_V, a_V) + V_l(r). \quad (13)$$

HI potansiyelinin gerçel kısmı OM hesaplamalarında büyük bir öneme sahiptir. Bu potansiyeli hesaplamak için yapılan birçok teorik girişim sonucunda Eşitlik 13 de verilen nükleer potansiyelin gerçel kısmının ayrıca katlı-model çerçevesinde mikroskobik analizlerle de belirlenebileceği gösterilmiştir (Khoa vd., 2000; El-Azab Farid ve Hassanain, 2000; El-Azab Farid vd., 2001). Katlı-modelde gerçel potansiyelin yarıçapa göre değişim verileri, hesaplamalara doğrudan katılmaktadır (Bayrak, 2004). Sanal kısımlar ise fenomenolojik olarak belirlenmektedir. Hesaplanan teorik veriler ile deneysel verilerin uyumlu hale getirilebilmesi için normalizasyon katsayısı ve sanal potansiyel parametreleri değiştirilerek hesaplamalar sınamaktadır. Benzer yolla yürütülen DF analizleri için çift-katlı optik model potansiyeli, V_{df}

$$V_{df}(r) = \int \rho_p(r_1) \rho_t(r_2) v_{nn}(|\vec{r} + \vec{r}_2 - \vec{r}_1|) d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \quad (14)$$

ifadesinden elde edilmektedir (El-Azab Farid ve Hassanain, 2000). Eşitlik 14 de, ρ_p ve ρ_t sırasıyla mermi ve hedef çekirdeklerin nükleer madde dağılımlarını göstermektedir. Etkin NN etkileşmesi, v_{nn} ise her iki yoğunluk dağılımı üzerinden integre edilmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılma reaksiyonunun $E_{lab}=5-10\text{MeV/nükleon}$ aralığındaki açılal dağılımlarına ait mevcut deneysel ölçümlerden (Sugiyama vd. 1993), (Nicoli vd. 1999; Khoa vd. 2000) elde edilen esnek saçılma açılal dağılım verilerinin analizleri OM şemsiyesi altında fenomenolojik (Vfen) ve çift-katlı potansiyeller (Vdf) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda fenomenolojik potansiyellerle yürütülen analiz için optik model potansiyelin nükleer etkileş-

meyi tanımlayan gerçel kısmı için, katlı potansiyel ile aynı davranışı gösterdiği bildirilen WS2 formu ve sanal kısım için ise WS2 hacim formu seçilmiştir. Çift-katlı potansiyeller ile yapılan analizde ise nükleer potansiyelin gerçel kısmı DF modelden belirlenerek sanal kısım yine fenomenolojik WS2 hacim formunda oluşturulmuştur. Hesaplamalarda Coulomb potansiyeli yarıçapı $r_C=1.2$ fm alınmıştır. OM ile hesaplama yapan Fresco bilgisayar kodunun kullanılmasıyla gerçekleştirilen her iki analizden elde edilen esnek saçılma açılma dağılım fitlerinin deneysel veriler ile oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir (Şekil 3-8). Analizler için Fresco kodunda kullanılan potansiyellere ait parametre değerleri Tablo 1 de gösterilmektedir. Deneysel veriler ve teorik hesaplamalar arasındaki uyum aşağıda verilen χ^2 hata hesabı ile belirlenmiştir

$$\chi^2 = \frac{1}{N_\sigma} \sum_{i=1}^{N_\sigma} \frac{(\sigma_{th} - \sigma_{ex})^2}{(\Delta\sigma_{ex})^2} \quad (15)$$

Burada σ_{th} , σ_{ex} ve $\Delta\sigma_{ex}$ sırasıyla teorik tesir-kesiti, deneysel tesir-kesiti ve deneysel tesir-kesitindeki hata oranıdır. N_σ ölçülen açıların toplam sayısıdır. Bu çalışmada Fresco ile elde edilen OM hesaplamalarına ait teorik verilerin hata oranları, χ_2 değerlerini hesaplayan bir fortran programı ile gerçekleştirilmiştir. Bulduğumuz χ_2 değerleri daha önceden Ptolemy kodu ile yapılmış OM analizlerine ait χ_2 hata oranları (Nicoli vd., 1999; Khoa vd., 2000) ile Tablo 1’de karşılaştırılmak-

tadır. Tablo 1’de sunulan enerjiler için, analizlerimizin χ_2 değerleri açısından Ptolemy koduyla yapılan önceki teorik çalışmalara göre deneyle uyumu arttırdığı açıktır.

Çalışmamızda gerçel kısmın $E_{lab}=5-10$ MeV/nükleon enerji aralığı için mümkün olduğunca sabit tutulmaya çalışıldığı fakat sanal kısmın değişiklikler gösterdiği bir fenomenolojik OM analizi yapılmıştır. Gerçel kısım için potansiyel derinliği 420 MeV civarında sabitlenmiştir. a_0 , 1.52-1.59 fm aralığında değerler almakta ve r_0 ise çok az değişmektedir (Tablo 1).

Diğer OM analizimizde, $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ saçılma reaksiyonu için nükleer potansiyelin gerçel kısmında kullanılacak çift-katlı potansiyeller, DF POT programının (Cook, 1982) Kayseri nükleer fizik grubu tarafından bazı ilave ve değişikliklerle geliştirilmiş bir versiyonundan elde edilmiştir. Bu amaçla, hesaplamalarda kullanılacak değiş tokuş terimi $J_{00}(E)$ için

$$J_{00}(E) \approx -276 \left[1 - \frac{0.005 E_{LAB}}{A_p} \right] \text{MeV fm}^3 \quad (16)$$

bağıntısından yararlanılmıştır (El-Azab Farid ve Hasanain, 2000). Bu denklemden E_{LAB} hedefe gönderilen parçacığın laboratuvar enerjisini ve A_p ise bu merminin kütle numarasını göstermektedir.

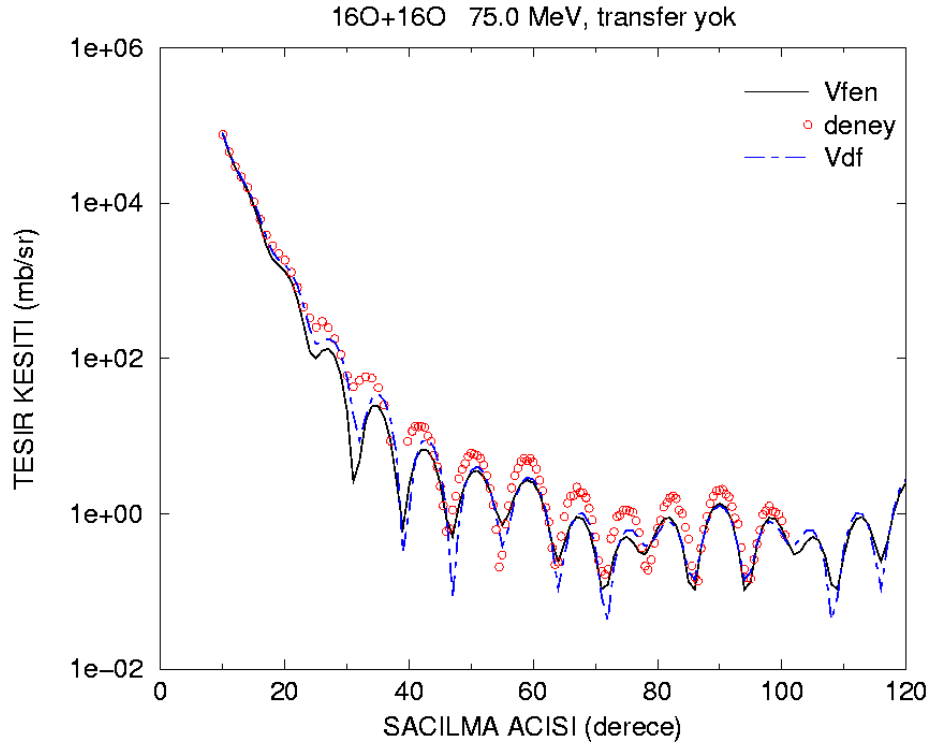
Tablo 1. Nükleon başına 5-10 MeV enerji aralığındaki bazı seçilmiş enerjiler için $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ esnek saçılmasının OM analizleri için Fresco programında kullanılan parametre değerleri (gerçel kısım için (V_0 , r_0 , a_0) ve sanal kısım için (W_v , r_v , a_v) parametreleri kullanılmıştır). Her bir enerji değeri için fenomenolojik (V_{fen}) ve çift-katlı (V_{df}) potansiyellerin kullanıldığı OM analizlerine ait χ_2 değerleri (bu çalışma), Ptolemy ile yapılmış önceki teorik çalışmalarla karşılaştırmalı verilmektedir.

| E_{lab} (MeV) | | V_0 (MeV) | r_0 (fm) | a_0 (fm) | W_v (MeV) | r_v (fm) | a_v (fm) | χ^2 bu çalışma | χ^2 önceki çalışmalar |
|--------------------|-----------|------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|------------------------|-------------------------------|
| 1240 | V_{fen} | 4200 | 0.779 | 1.59 | 15.00 | 1.408 | 0.90 | 26.5 | 27.9 |
| | V_{df} | Normalizasyon katsayısı=0.86 | | | 18.00 | 1.349 | 1.16 | 30.7 | |
| 1031 | V_{fen} | 4200 | 0.777 | 1.59 | 14.46 | 1.379 | 0.87 | 36.1 | 36.8 |
| | V_{df} | Normalizasyon katsayısı=0.98 | | | 16.10 | 1.348 | 1.01 | 29.2 | |
| 98.6 | V_{fen} | 4200 | 0.779 | 1.57 | 15.24 | 1.308 | 1.13 | 29.8 | 32.2 |
| | V_{df} | Normalizasyon katsayısı=0.98 | | | 15.84 | 1.312 | 1.03 | 29.8 | |
| 94.8 | V_{fen} | 4200 | 0.777 | 1.57 | 12.45 | 1.386 | 0.73 | 28.4 | 27.1 |
| | V_{df} | Normalizasyon katsayısı=0.98 | | | 15.10 | 1.339 | 0.92 | 25.4 | |
| 80.6 | V_{fen} | 4180 | 0.777 | 1.58 | 28.35 | 0.858 | 2.19 | 20.4 | 20.3 |
| | V_{df} | Normalizasyon katsayısı=0.97 | | | 32.80 | 0.860 | 1.90 | 20.2 | |
| 75.0 | V_{fen} | 4183 | 0.776 | 1.52 | 68.02 | 0.447 | 2.31 | 26.9 | 24.5 |

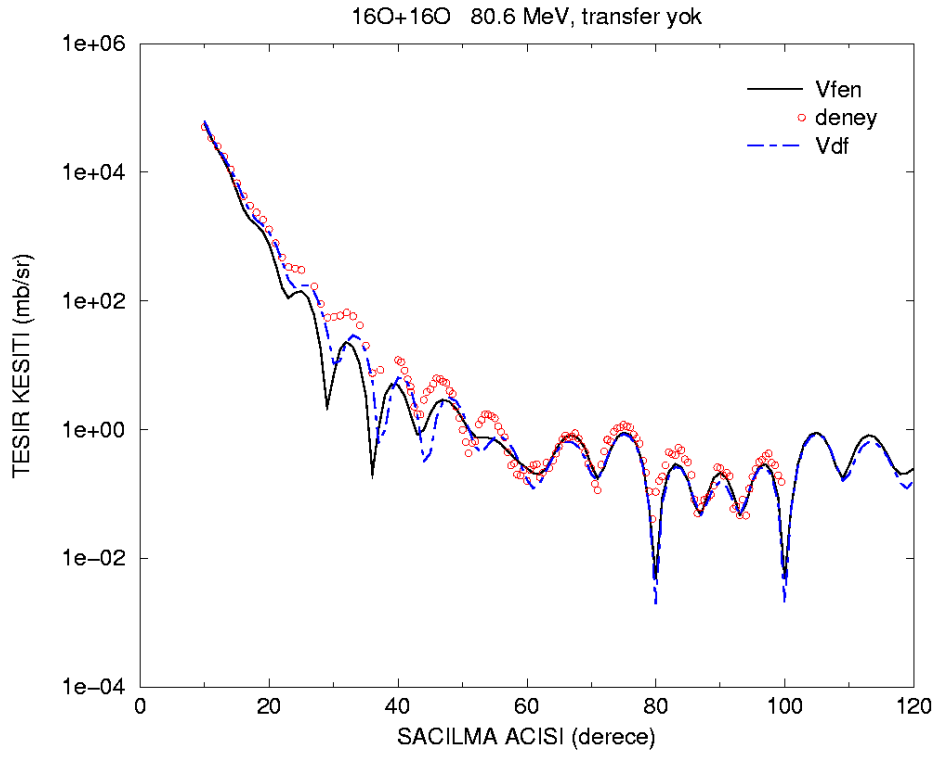
| | | | | | |
|----------|------------------------------|-------|-------|------|------|
| V_{df} | Normalizasyon katsayısı=0.98 | 84.00 | 0.439 | 2.09 | 22.7 |
|----------|------------------------------|-------|-------|------|------|

Bu OM analizinde Fresco bilgisayar programı, DFPOD kodundan elde edilen değerleri girdi olarak kabul etmektedir. Hesaplamalarda normalizasyon katsayısı genelde 0.98 veya 0.97 alınmış, hesaplamaların sanal kısmı için Tablo 1'deki yeni sanal potan-

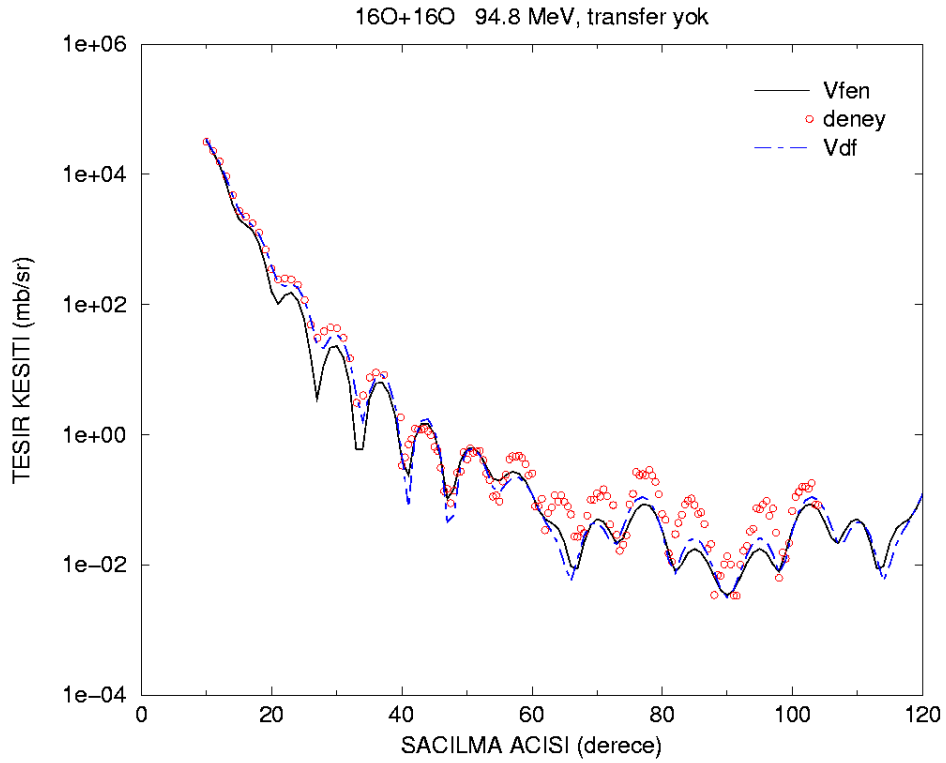
siyel parametreleri kullanılmıştır. Çift-katlı V_{df} potansiyelleriyle yaptığımız bu analiz fenomenolojik V_{fen} potansiyelleriyle yapılan analizle aynı davranışı göstermekte (Şekil 3-8) ve deneysel verileri χ_2 değerleri açısından biraz daha iyi açıklamaktadır (Tablo 1).



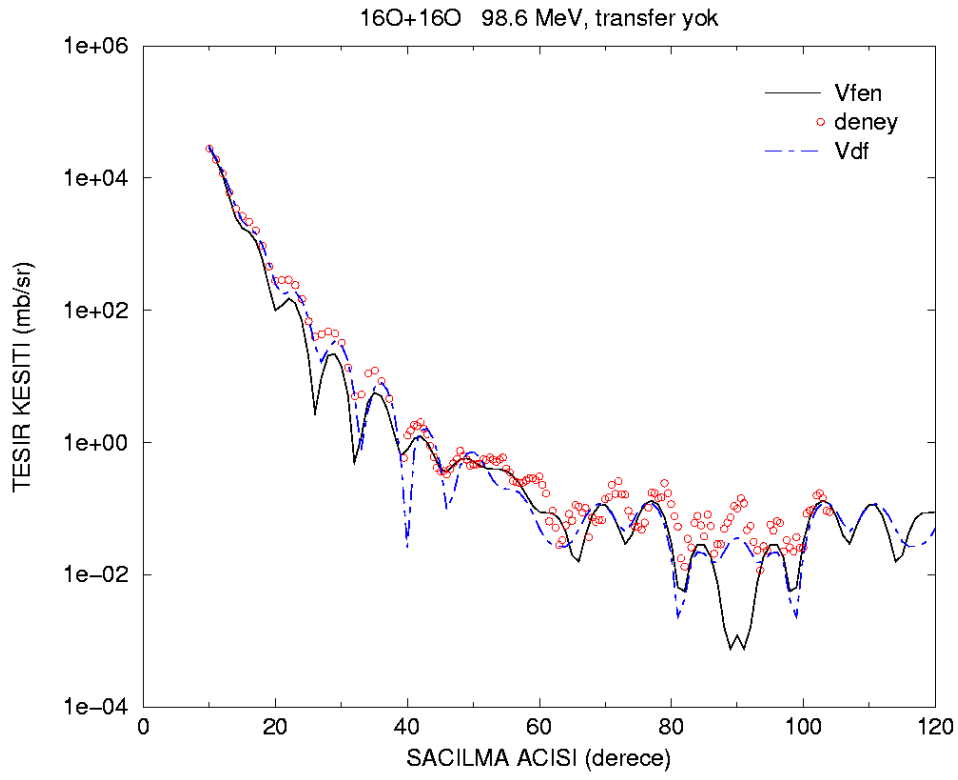
Şekil 3. Tablo 1'deki parametrelere göre $E_{lab}=75.0\text{MeV}$ için Fresco kodu ile hesaplanan tesir-kesiti fitlerinin $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ esnek saçılma açısal dağılım ölçümleri ile karşılaştırılması. Daireler deneysel verileri, düz çizgiler fenomenolojik potansiyelle yapılan hesaplamaları ve kesikli çizgiler çift-katlı potansiyel kullanılarak yapılan hesaplamaları göstermektedir. Grafikte x-ekseni Kütle Merkezi Koordinat Sisteminde derece cinsinden saçılma açısını, y-ekseni logaritmik ölçekte Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini temsil etmektedir.



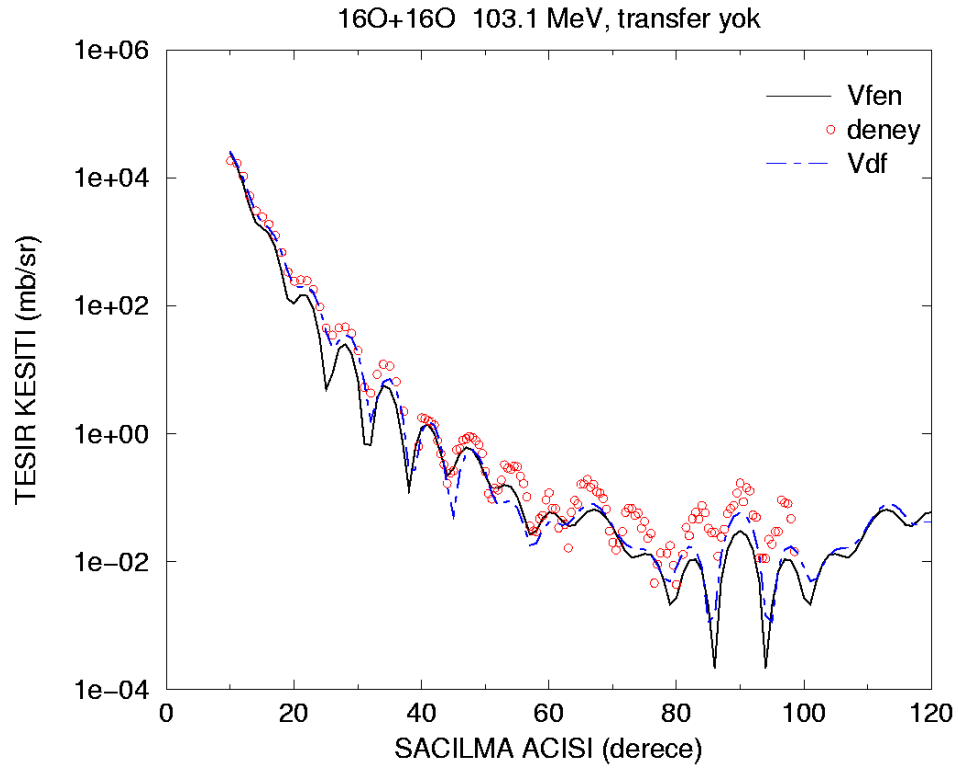
Şekil 4. Şekil (3) ile aynı fakat $E_{lab}=80.6\text{MeV}$ için esnek saçılma açısıl dağılımının incelenmesi.



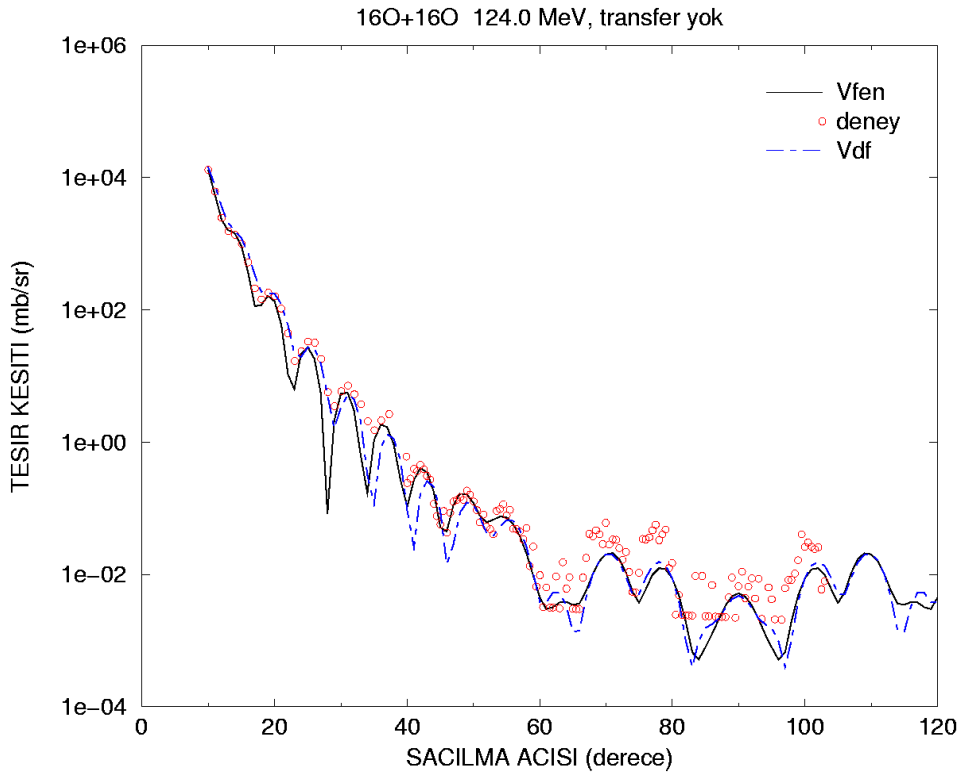
Şekil 5. Şekil (3) ile aynı fakat $E_{lab}=94.8\text{MeV}$ için esnek saçılma açısıl dağılımının incelenmesi.



Şekil 6. Şekil (3) ile aynı fakat $E_{lab}=98.6\text{MeV}$ için esnek saçılma açısal dağılımının incelenmesi.



Şekil 7. Şekil (3) ile aynı fakat $E_{lab}=103.1\text{MeV}$ için esnek saçılma açısal dağılımının incelenmesi.



Şekil 8. Şekil (3) ile aynı fakat $E_{lab}=124.0\text{MeV}$ için esnek saçılma açisal dağılımının incelenmesi.

4. SONUÇ

Çekirdek kütleleri ve enerji seviyeleri, çekirdek büyüklüğü ve yapısı, çekirdek kuvvetlerinin özellikleri, güç üretimi ve yapay izotop üretimi gibi pek çok farklı alanda bilginin artmasında oldukça yardımcı olan çekirdek etkileşimleri nükleer fizikte yoğun olarak çalışılmaktadır. Nükleer reaksiyonların incelenmesinde bazı ana modellerin kullanılmasına rağmen spesifik bir reaksiyonun tüm deneysel sonuçlarını açıklamada başarılı olan tek bir modelin inşası henüz geliştirilememiştir (Boztosun, 2002). Bununla birlikte metin içerisinde yapısı geniş bir biçimde tanımlanmış optik model, bir hafif ağır iyon reaksiyonunun esnek saçılmasını açıklamada özellikle başarılıdır.

$E_{lab}=5-10\text{MeV/nükleon}$ aralığında $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ esnek kanalı için açisal dağılım ölçümlerinin incelendiği bu çalışmada Fresco bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilen OM analizlerimizin deneysel verilerle önceki çalışmalar kadar uyumlu olduğu görülmüş, hatta analizlerimizin kullanılan yeni parametrelerle kimi enerji değerleri için deneyle uyumu önceki çalışmalara göre arttırdığı saptanmıştır. İncelenilen tüm enerjiler için fenomenolojik optik potansiyelin gerçel kısmında kullanılan parametreler mümkün olduğunca sabit tutularak bu enerji aralığı için aynı davranışın sergilendiği global bir analiz yapılmış fakat sanal kısım için aynı başarı elde edilememiştir. Ayrıca çift-katlı potansiyelin kullanılmasıyla gerçel potansiyelin mikroskobik olarak belirlendiği katlı model analizinin (normalizasyon katsayısı ve sanal kısım paramet-

releri ayarlandığında) fenomenolojik potansiyeller ile yapılan analizle oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Deneysel açisal dağılım ölçümleri ile daha uyumlu olan ve ilgilenilen enerji aralığı için nükleer potansiyelin hem gerçel hem de sanal kısmı için global bir OM analizi elde etme çabası Fresco programında yeni parametre takımları deneyerek sürdürülecektir. Bundan sonraki çalışmada $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ reaksiyonu için, baskın olan $I^\pi=3^-$ ve 2^+ kanallarındaki soğurulmanın (Rossner vd. 1974) hesaplamalara katılmasıyla çiftlenmiş-kanallar metoduna getirilen yeni yaklaşımın (Boztosun, 2000), (Boztosun ve Rae, 2001) teorik analizleri deney ile daha uyumlu hale getirip getirmediği sınanabilir.

5. KAYNAKÇA

- Aydın, A. (1997). $^{40}\text{Ar}(p,p)^{40}\text{Ar}$ esnek saçılmasının 22.6, 27.5, 30.0 ve 36.7MeV proton enerjilerinde optiksel model analizi. *Doktora Tezi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, Türkiye, 26-35.
- Bartnitzky, G. vd. (1996). Model-unrestricted nucleus-nucleus scattering potentials from measurement and analysis of $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ scattering. *Phys. Lett.* 365(B), 23-28.
- Bayrak, O. (2004). Hafif-ağır iyon reaksiyonlarının yeni bir potansiyel yaklaşımı ile incelenmesi.

Yükek Lisans Tezi Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye, 55-62.

- Boztosun, I. (2000). Coupled-channels calculations for the scattering of deformed light heavy-ions: A challenge to the standart approach. *PhD thesis*, Oxford University, UK, 65-165.
- Boztosun, I. ve Rae, W.D.M. (2000). Coupled-Channels Calculations for the Scattering of Deformed Light-Heavy Ions: A Challenge to the Standart Approach. *World-Scientific*, 143-145.
- Boztosun, I. ve Rae W.D.M. (2001). A new coupling potential for the scattering of deformed light heavy-ion nuclei. *Phys. Lett.* 518(B), 229-233.
- Boztosun, I. (2002). A systematic investigation of light heavy-ion reactions. *Phys. Atom. Nucl.* 65, 607-614.
- Brandan, M.E. ve Satchler, G.R. (1991). Optical potential ambiguities and $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ at 350MeV. *Phys. Lett.* 256(B), 311-315.
- Brandan, M.E. ve Satchler, G.R. (1997). The interaction between light heavy-ions and what it tell us. *Phys. Rep.* 285, 143-243.
- Carlson, B.V. (2000). Optical model calculations with the codeECIS95.
- Cook, J. (1982). A programming for calculation of double folded potentials. *Comp. Phys. Com.* 25, 125-139.
- El-Azab Farid, M.F. ve Hassanain, M.A. (2000). Density-independent folding analysis of the $^{6,7}\text{Li}$ elastic scattering at intermediate energies. *Nucl. Phys.* 678(A), 39-75.
- El-Azab Farid, M.F. vd. (2001). Analysis of heavy ions elastic scattering using the double folding cluster model. *Nucl. Phys.* 691(A), 671-690.
- Feshbach, H. vd. (1954). Model for nuclear reactions with neutrons. *Phys. Rev.* 96 (2), 448-464.
- Gonzalez, M.M. ve 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.* 693(A), 603-615.
- Haas, F. ve Abe, Y. (1981). Surface transparency and resonant behavior in some lighter-heavy-ion reactions. *Phys. Rev. Lett.* 46, 1667-1670.
- Halbert, M.L. vd. (1974). Elastic scattering of ^{16}O by ^{16}O . *Phys. Lett.* 51(B)(4), 341-344.
- Khoa, D.T. vd. (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.* 672(A), 387-416.
- Kondo, Y. vd. (1989). A Deep potential description of the $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ system. *Phys. Lett.* 227(B), 310-314.
- Kondo, Y. vd. (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.* 365(B), 17-22.
- Krane, K.S. (1988). *Introductory Nuclear Physics*. John Wiley and Sons, New York, 396-416.
- Kürkçüoğlu, M.E. vd. (2005). $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Nükleer saçılmasının 75-145MeV aralığında optik model analizleri. IX. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi Bildirileri, İzmir, Türkiye, (Kongre CDsi 131 nolu tam metin).
- Macfarlane, M.H. vd. (1980). Techniques for heavy-ion coupled-channels calculations. I. long-range coulomb coupling. *Phys. Rev.* 21(C), 2417-2426.
- Maher, J.V. vd. (1969). Nuclear interaction of oxygen with oxygen. *Phys. Rev.* 188 (4), 1665-1682.
- Nicoli, M.P. vd. (1999). Refractive effects in the elastic scattering of light heavy ions between 5 and 10MeV/n: the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ reaction. *Nucl. Phys.* 654(A), 882-887.
- Rossner, H.H. vd. (1974). The heavy-ion reaction channels of the system $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$. *Nucl. Phys.* 218(A), 606-620.
- Satchler, G.R. (1980). *Introduction to Nuclear Reactions*. Mc Millan Press Ltd, London, 153-210.
- Satchler, G.R. (1983). *Direct Nuclear Reactions*. Oxford University Press, New York, 392-680.
- Sugiyama, Y. vd. (1993). Observation of Airy oscillation for the $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ system at $E_{\text{lab}}=145\text{MeV}$. *Phys. Lett.* 312(B), 35-39.
- Thompson, I.J. (1988). Coupled channels methods for nuclear physics. *Comp. Phys. Rep.* 7, 167-212.
- Woods, R.D. ve Saxon, D.S. (1954). Diffuse surface optical model for nucleon-nuclei scattering. *Phys. Rev.* 95 (2), 577-578.





Hüseyin Aytekin, 03/10/1954 Derinkuyu/Nevşehir doğumludur. 1978 yılında Hacettepe Üniversitesi'nden Fizik Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. 1991-1995 yılları arasında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde "Yük-Alışverişli Etkileşmenin Küresel

Çekirdekler Üzerindeki Etkisi" başlıklı doktora çalışmasını tamamladı. Yük-alışverişli etkileşmeler, hafif-ağır çekirdek reaksiyonları, denge-öncesi reaksiyonları, optik uyarmalı lüminesans, radyasyon ölçümü gibi konularda araştırmaları bulunan Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Aytekin halen Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

Mehmet Ertan Kürkçüoğlu, 1969'da Eskişehir'de doğdu. 1992 yılında Anadolu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden mezun oldu. 1994-1997 yılları arasında İngiltere'nin Essex Üniversitesi Fizik Bölümü'nde, Plazma Fiziği Anabilim Dalı'nda "Line Focus Laser Produced Plasmas" başlıklı yüksek lisans çalışmasını tamamladı. 2001-2006 yılları arasında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde " $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ Esnek Saçılmasının Fenomenolojik ve Mikroskobik Potansiyeller ile Optik Model Analizleri" başlıklı doktora çalışmasını yaptı. Halen, Zonguldak Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi kadrosunda çalışmaktadır.

İsmail Boztosun, teorik ve deneysel nükleer fizik alanlarında; hafif ve ağır çekirdek reaksiyonları, pre-equilibrium reaksiyonları, düşük enerji nükleer astro-fizik için birleşik çekirdek reaksiyonları, kümelene ve nükleer yapı gibi konularda araştırmaları bulunan Doç. Dr. İsmail Boztosun 10/01/1973 Kayseri doğumludur. 1997-2000 yılları arasında İngiltere'nin Oxford Üniversitesi Fizik Bölümü'nde "Coupled-Channels Calculations for the Scattering of Deformed Light Heavy-Ions: A Challenge to the Standart Approach" başlıklı doktora çalışmasını tamamladı. 2002 yılında Yardımcı Doçent unvanını ve 2005 yılında Doçent unvanını alan İsmail Boztosun halen Erciyes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.