



## Yalvaç Akademi Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yalvac>

### **$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ SAÇILMASI İÇİN $E_{\text{LAB}}=145-1120$ MEV ARALIĞINDA TEK-KANAL OPTİK MODEL POTANSİYEL FORMLARI İLE DİFERANSİYEL TESİR-KESİTİ HESAPLAMALARI**

Oğuz Öztürk<sup>1,2</sup>, Mehmet Ertan Kürkçüoğlu<sup>3\*</sup>, Merve Tülüler<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Yalvaç Teknik Bilimler MYO, Yalvaç/Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik ABD, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>4</sup>TBE Özel Bucak Koleji, Bucak/Burdur, Türkiye

\*ertankurkuoglu@sdu.edu.tr

#### **ÖZET**

Bu çalışmada,  $E_{\text{LAB}}=145, 250, 350, 480, 704$  ve  $1120$  MeV gelme enerjileri için  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  elastik saçılmasının tek-kanal optik model analizleri FRESCO bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel diferansiyel tesir-kesiti ölçümleri,  $\text{WS}_2+i\text{WS}_2$  ve  $\text{WS}_2+i\text{WS}$  tipindeki fenomenolojik potansiyel formları ile yapılan hesaplamalarla karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler ile teorik hesaplamalar arasındaki uyum  $\chi^2$  hata hesabı ile belirlenmiştir. Bu çalışmanın limitleri dahilinde,  $\text{WS}_2+i\text{WS}_2$  formundaki potansiyel ile yapılan analizlerin biraz daha başarılı olduğu bulunmuş ve önceki hesaplamalarımıza göre daha düşük  $\chi^2$  değerlerine ulaştıran yeni parametre değerleri önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:**  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  saçılması, Optik model, Fenomenolojik potansiyel, Tesir-kesiti

### **DIFFERENTIAL CROSS-SECTION CALCULATIONS FOR $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ SCATTERING BY SINGLE-CHANNEL OPTICAL MODEL POTENTIAL FORMS AT $E_{\text{LAB}}=145-1120$ MEV**

#### **ABSTRACT**

In the present work, single-channel optical model analyses of  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  elastic scattering for the incident energies of 145, 250, 350, 480, 704 and 1120 MeV were performed using FRESCO computer program. Experimental differential cross-section measurements were compared with the outcomes of the calculations made for the phenomenological potential forms  $\text{WS}_2+i\text{WS}_2$  and  $\text{WS}_2+i\text{WS}$ . The agreement between the experimental data and the theoretical calculations was determined by the  $\chi^2$  criterion. Within the limitations of this study, it is found that more successful analyses obtained by using  $\text{WS}_2+i\text{WS}_2$  potential form and new parameter values introduced, which lead to lower  $\chi^2$  values than our previous calculations.

**Keywords:**  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  scattering, Optical model, Phenomenological potential, Cross-section

## 1. GİRİŞ

Nükleer reaksiyonlarda iki çekirdek arasındaki etkileşmelerin izahı çok-parçacık probleminin çözümü ile mümkündür. Bu problem, içerdiği matematiksel zorluklar sebebiyle henüz tam olarak çözülmüş değildir. Böyle durumlarda fiziksel bilgiye ulaştırılan basitleştirilmiş modellerden yararlanılmaktadır. Hafif ağır-iyon etkileşmelerine ait elastik ve inelastik saçılmaların analizlerinde oldukça başarılı olan optik model, yaygın olarak kullanılan basitleştirilmiş nükleer modellerden birisidir (El-Azab Farid vd., 2001).

Ağır-iyon saçılması uzun yıllardan beri artan bir ilgi ile çalışılmaktadır. Bu saçılma süreçleri hem deneysel hem de teorik olarak kapsamlı bir biçimde incelenmektedir. Ağır-iyon reaksiyonlarına yönelik araştırmalarda, deneysel olarak ölçülen elastik saçılma tesir-kesiti verilerini açıklamak amacıyla kullanılacak teorik yaklaşım için en uygun nükleer potansiyel yapısının belirlenmesi işlemi önemli bir yere sahiptir (Rahmat ve Modarres, 2018).

Mermi parçacık ile hedef arasındaki en temel nükleer etkileşmelerden biri olan elastik saçılma, optik modelde ilk olarak fenomenolojik potansiyellerin (Woods ve Saxon, 1954) kullanımı ile anlaşılmıştır (Minomo vd., 2016). Elastik saçılma mekanizması, sadeliğinin yanı sıra çekirdek yapısının aydınlatılması ve nükleonlar arasındaki kuvvetlerin incelenmesi bakımından nükleer fiziğin ilgi alanı olmuştur (Brandan ve Satchler, 1997). Özellikle soğurulmanın nispeten zayıf olduğu ve kırılma etkilerinin ortaya çıktığı hafif ağır-iyon reaksiyonlarına yönelik elastik saçılma çalışmaları, ağır iyonlar arasındaki etkileşimin anlaşılmasında önemli bir role sahiptir (Hassanain ve Al Sebiey, 2014).

$^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  saçılması, sergilediği dikkat çekici nükleer özellikler sebebiyle hafif ağır-iyon reaksiyonları arasında özel bir yere sahiptir. Literatürde, oksijen çekirdekleri arasındaki elastik ve inelastik saçılmaların incelendiği birçok deneysel ve teorik çalışma mevcuttur (Maher vd., 1969; Kondo vd., 1989; Brandan ve Satchler, 1991; Sugiyama vd., 1993; Bartnitzky vd., 1996; Kondo vd., 1996; Brandan ve Satchler, 1997; Nicoli vd., 1999; Khoa vd., 2000; Gonzalez ve Brandan, 2001; Kürkçüoğlu ve Aytekin, 2006; Kürkçüoğlu vd., 2006; Aytekin vd., 2007; Hassanain vd., 2013; Kürkçüoğlu vd., 2013; Hassanain ve Al Sebiey, 2014; Kürkçüoğlu ve Tülüler, 2015). Optik model yaklaşımı çerçevesinde gerçekleştirilen çalışmalarla birlikte  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  sistemi için etkileşme potansiyelinin yapısına dair önemli mesafeler katedilmiştir.

Çalışmamızda, nükleer potansiyeli oluşturmada farklı iki fenomenolojik potansiyel formu kullanılarak,  $E_{\text{LAB}}=145, 250, 350, 480, 704$  ve  $1120$  MeV gelme enerjilerinde  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  elastik saçılması için elde edilen tek-kanal optik model analizleri sunulmaktadır. Hesaplamalar FRESKO bilgisayar programı (Thompson, 1988; Thompson, 1997) ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan optik model potansiyelinin genel yapısı izleyen bölümde tanıtılmaktadır. Sonraki bölümlerde ise fenomenolojik optik model potansiyelleri ile ulaşılan sonuçlar tartışılarak değerlendirilmektedir.

## 2. OPTİK MODEL POTANSİYELİ

Nükleer saçılma reaksiyonlarını açıklamak için sıklıkla kullanılan optik model, soğurma etkilerinin olduğu durumda elastik saçılmayı yalnızca gelen parçacığın davranışını göz önüne alarak inceleyen başarılı bir modeldir. Mermi ile hedef arasındaki iki-cisim etkileşmesini indirgenmiş kütlelerin bir potansiyelden saçılması problemine dönüştürerek saçılma problemini daha basit anlamayı sağlayan bu modelde, karmaşık yapıdaki nükleer potansiyelin gerçel kısmı elastik saçılmayı, sanal kısmı ise soğurulmayı ifade eder (Kürkçüoğlu ve Tülüler, 2015). Optik model potansiyeli, nükleer fizikte, yalnızca nükleer reaksiyon verilerini analiz etmek için değil aynı zamanda nükleer reaksiyon mekanizmalarını ve karmaşık nükleer sistemler arasındaki temel etkileşimleri anlamak için de kullanılmaktadır (Furumoto vd., 2014).

Optik modelin uygulanmasında ilk olarak uygun bir potansiyel şekli seçilmelidir. Seçilen potansiyel formunun derinlik ve geometri parametreleri, mevcut deneysel verilere en iyi uyumu gösterecek biçimde belirlenmelidir. Potansiyel formunun artan yarıçapa bağlı üstel olarak azalması ve çekirdek kuvvetlerinin doyum özelliğini sağlayacak şekilde sabit olması istenir. Bu yüzden optik potansiyelin gerçel ve sanal kısımları için bu özellikleri sağlayan Woods-Saxon (WS) şekli (Woods ve Saxon, 1954) yaygın biçimde kullanılmaktadır. Woods-Saxon şekil çarpanının genel ifadesi

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

biçimindedir. Denklemden  $r, r_i$  ve  $A$  sırası ile, mermi ile hedef parçacığın merkezleri arası uzaklığı, çekirdek potansiyelinin merkez değerinin yarısına düştüğü yarıçapı (indirgenmiş yarıçap) ve kütle numarasını göstermektedir.  $A_t$  (hedef çekirdek kütlesi) ve  $A_p$  (mermi çekirdek kütlesi) arasında  $A^{1/3} = A_t^{1/3} + A_p^{1/3}$  ilişkisi mevcuttur. Yayılma (difüzyon) parametresi  $a_i$  ise potansiyelin maksimum değerinin %90'ından %10'una düştüğü noktalar arasındaki uzaklıktan elde edilir (Kürkçüoğlu ve Aytekin, 2006). Bu denklemden, WS formu için  $n = 1$  ve Woods-Saxon kare (WS2) formu için ise  $n = 2$  alınır.

Optik model çerçevesinde,  $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$  sistemi için etkileşim potansiyelinin yapısı

$$V(r) = V_C(r) + V_N(r) + V_l(r) \quad (2)$$

denkleminle genel bir biçimde ifade edilebilir. Burada  $V_C(r)$  Coulomb potansiyelini,  $V_N(r)$  nükleer (ya da merkezi) potansiyeli ve  $V_l(r)$  merkezci potansiyeli temsil eder. Coulomb potansiyeli ve merkezci potansiyelin tanımları açık ve nettir (Aytekin vd., 2007). Ancak, nükleer potansiyelin yapısı tam olarak anlaşılabilmiş değildir (Brandan ve Satchler, 1997). Hafif ağır-iyon reaksiyonlarının incelenmesinde hayati bir problem teşkil eden husus, bu potansiyel şeklinin doğru belirlenmesidir. Bu bağlamda, spesifik bir reaksiyon ele alındığında,  $V_N(r) = V_{gerçel}(r) + V_{sanal}(r)$  ifadesi ile tanımlanan nükleer potansiyelin gerçel ve sanal kısımları için en uygun potansiyel formlarının seçilmesi yapılacak analizler açısından büyük önem arz eder. Çalışmamızda kullanılan temel nükleer potansiyelin gerçel ve sanal kısımları sırasıyla,

$$V_{gerçel}(r) = \frac{-V_0}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - r_0 A^{1/3}}{a_0}\right)\right]^2} \quad (3)$$

$$V_{sanal}(r) = \frac{-W_V}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - r_V A^{1/3}}{a_V}\right)\right]^n} \quad (4)$$

olarak gösterilebilir. Bu eşitliklerdeki,  $V_0$  ve  $W_V$  sırasıyla, gerçel ve sanal potansiyellerin derinliklerini ifade eder.  $r_0, a_0, r_V$  ve  $a_V$  ise ilgili potansiyellere ait geometri parametreleridir (Tülüler, 2015).

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

$^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$  elastik saçılmasına ait tek-kanal optik model analizleri, Denklem (5) ve Denklem (6) ile verilen temel potansiyel formları,

$$V_1 = WS2 + iWS2 \quad (5)$$

$$V_2 = WS2 + iWS \quad (6)$$

kullanılarak 145, 250, 350, 480, 704 ve 1120 MeV enerjileri için gerçekleştirilmiştir. FRESKO kodu ile yapılan hesaplamamızda Coulomb potansiyeli yarıçapı ( $r_C$ ) 1,2 fm olarak alınmıştır. Her bir gelme enerjisi değeri için hem  $V_1$  hem de  $V_2$  potansiyel formlarına ait derinlik ve geometri parametreleri serbest bırakılarak, deneysel tesir-kesiti ölçüm verilerine en iyi uyumu gösteren analizler araştırılmıştır. Deneysel veriler ile hesaplanan değerler arasındaki uyum Denklem (7) ile verilen  $\chi^2$  hata hesabı ile değerlendirilmiş ve elde edilen en iyi analizlere ait parametre değerleri Tablo 1’de sunulmuştur.

$$\chi^2 = \frac{1}{N_\sigma} \sum_{i=1}^{N_\sigma} \frac{(\sigma_{teo} - \sigma_{den})^2}{(\Delta\sigma_{den})^2} \quad (7)$$

Burada  $N_\sigma$  ölçülen açıların sayısını,  $\sigma_{teo}$  hesaplanan tesir-kesiti değerlerini,  $\sigma_{den}$  deneysel tesir-kesiti verilerini ve  $\Delta\sigma_{den}$  deneysel tesir-kesiti verilerindeki hata değerini göstermektedir.

**Tablo 1.** Hesaplamamızda kullanılan parametreler ve elde edilen  $\chi^2$  değerleri (aynı potansiyel formları için farklı potansiyel derinlikleri ve farklı parametre değerlerinin önerildiği önceki çalışmaya ait  $\chi^2$  değerleri Tülüler (2015) kaynağından alınmıştır)

$E_{LAB}$ (MeV)	Potansiyel Formu	$V_0$ (MeV)	$r_0$ (fm)	$a_0$ (fm)	$W_V$ (MeV)	$r_V$ (fm)	$a_V$ (fm)	$\chi^2$ (bu çalışma)	$\chi^2$ (önceki çalışma)
145	$V_1$	414	0,781	1,52	15,4	1,361	0,76	14,6	15,8
	$V_2$	413	0,790	1,52	14,3	1,273	0,49	12,7	16,0
250	$V_1$	352	0,802	1,46	30,9	1,248	1,06	9,2	12,4
	$V_2$	358	0,798	1,45	30,1	1,066	0,81	9,1	15,8
350	$V_1$	335	0,810	1,49	39,9	1,197	1,02	6,7	8,7
	$V_2$	336	0,805	1,48	37,0	1,043	0,72	8,3	9,9
480	$V_1$	277	0,799	1,26	45,2	1,130	1,01	45,2	46,4
	$V_2$	287	0,801	1,24	44,4	0,975	0,63	48,1	51,9
704	$V_1$	223	0,799	0,96	50,5	1,197	0,62	136,6	183,6
	$V_2$	235	0,759	0,97	49,4	1,058	0,44	234,8	238,5
1120	$V_1$	153	0,566	0,96	67,3	0,688	0,83	248,3	276,1
	$V_2$	155	0,546	0,96	62,4	0,582	0,55	241,5	271,4

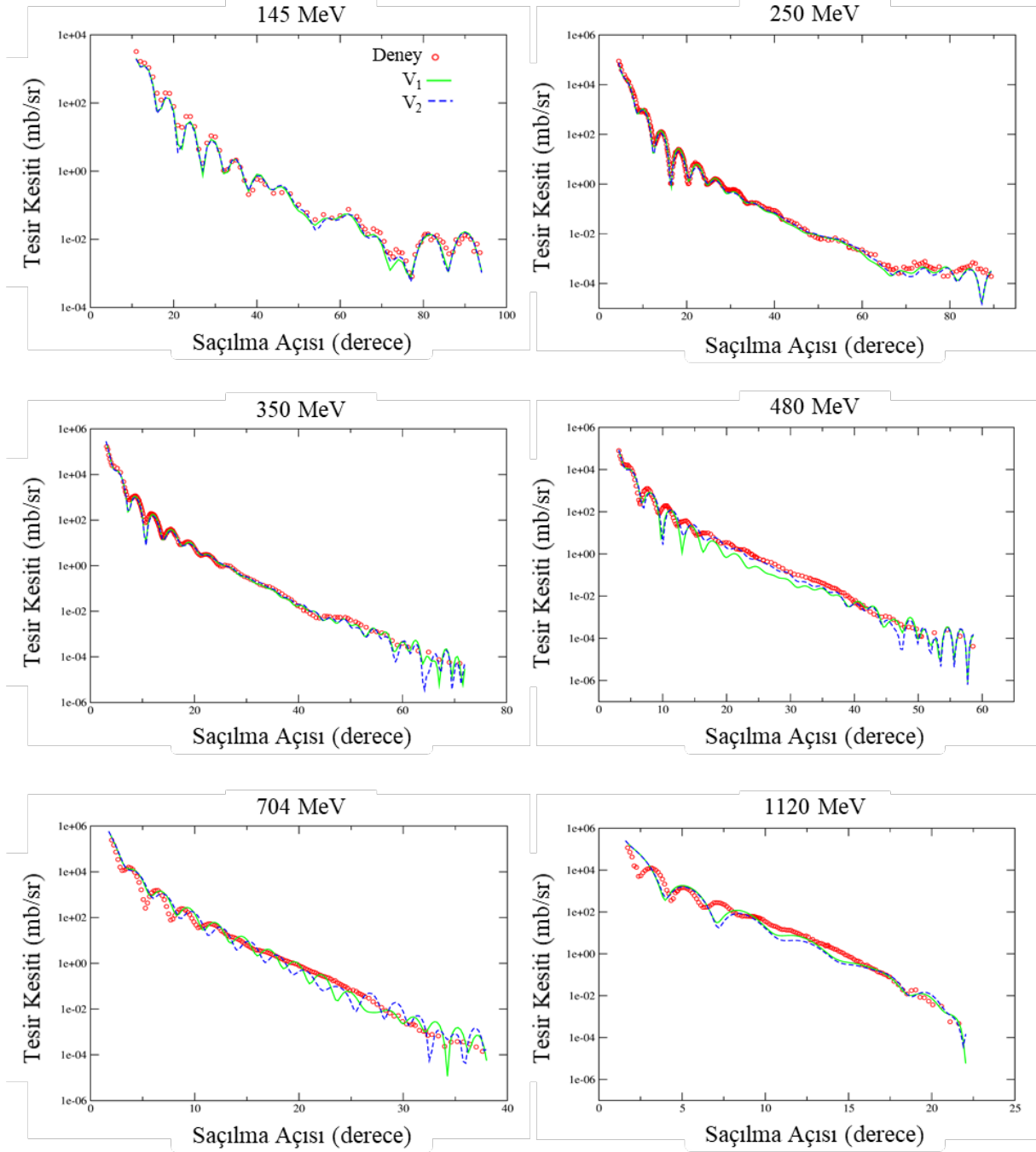
Tablo 1’deki parametreler ile yapılan hesaplamaların sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırılmalı grafikler halinde Şekil 1’de topluca verilmiştir. Grafiklerde düşey eksen logaritmik ölçekte Rutherford diferansiyel tesir-kesitlerini, yatay eksen ise derece cinsinden saçılma açısını temsil etmektedir. Genel olarak, hesapladığımız diferansiyel tesir-kesiti verilerinin, deneysel ölçümlerle tutarlı bir davranış sergilediği ve deneysel maksimum ve minimumların doğru biçimde üretilebildiği Şekil 1’deki grafiklerde açıkça görülmektedir.

Spesifik olarak her bir gelme enerjisi ayrı ayrı incelendiğinde, 145 MeV enerjisi için  $V_1$  ve  $V_2$  potansiyelleri ile yapılan analiz sonuçlarının deneysel veriler ile uyumlu bir desen oluşturduğu gözlenmiştir. Saçılma açısının 20-30 derece aralığında  $V_1$  potansiyelini kullanan hesaplama deneyi daha iyi uyum gösterirken, 50 derece civarı ve 70-80 derece aralığında  $V_2$  potansiyeliyle yapılan analizin deneysel verilere daha yakın sonuçlar ürettiği görülmüştür. 250 MeV enerjisi için de  $V_1$  ve  $V_2$  potansiyeli ile yapılan analizlerin birbirine oldukça yakın sonuçlar ürettiği ve deneysel verilerle büyük oranda uyumlu olduğu söylenebilir. 10-20 derece bölgesinde  $V_2$ 'nin yer aldığı hesaplama sonuçlarının uyumu göze çarparken, 20-25 ve 70-80 derece aralıklarında  $V_1$  potansiyelinden elde edilen sonuçların deneysel verilere daha yakın olduğu görülmektedir.  $E_{LAB}=250$  MeV enerjisi için her iki potansiyel ile yapılan analizlerde elde edilen  $\chi^2$  değerleri de birbirine oldukça yakındır (Tablo 1).  $E_{LAB}=350$  MeV için Şekil 1'de verilen grafikten,  $V_1$  ve  $V_2$  potansiyellerinin yer aldığı analizlere ait sonuçların yine genel anlamda deneysel desenle uyumlu olduğu gözlenmiştir. 25 derece civarına kadar  $V_1$  potansiyeliyle yapılan analizin daha başarılı sonuçlar ürettiği göze çarpmakta, bu uyum  $\chi^2$  değerlendirmesinde de kendini göstermektedir (Tablo 1). 480 MeV enerjisine ait grafik incelendiğinde ise,  $V_2$ 'yi içeren analizin  $V_1$  potansiyeli ile yapılan analize nazaran deney ile biraz daha uyumlu olduğu söylenebilir. Buna karşın  $\chi^2$  hata değerlendirmesi tersini işaret etmektedir. Bunun sebebi, küçük saçılma açılarına (5-10 derece bölgesi civarı) karşılık gelen yüksek tesir-kesiti değerlerinde, birinci potansiyelle yapılan analizin deney verileri ile daha iyi uyum göstermesidir. 704 MeV enerjisi için genel olarak,  $V_1$ 'in yer aldığı analizin deneysel verilere daha yakın sonuçlar ürettiği ve daha başarılı olduğu söylenebilir. Saçılma açısı değeri 12 derece yakınlarına kadar her iki potansiyelle elde edilen desenler yaklaşık olarak birlikte hareket ederken, 12 dereceden sonra  $V_2$ 'nin analiz sonuçlarında faz dışılık fark edilmektedir. 1120 MeV için her iki potansiyel yapısının kullanıldığı hesaplamalarla ulaşılan desenler, deneye göre yaklaşık olarak aynı seyirdedir.  $\chi^2$  değerleri (Tablo 1) arasındaki küçük fark da bu durumu destekler niteliktedir.  $\chi^2$  değerleri ve grafikler birlikte değerlendirildiğinde  $V_1$  potansiyel formu ile yapılan analizlerin deneysel verilere uyumu,  $V_2$  potansiyel formu ile yapılan analizlere nazaran biraz daha başarılı olduğu söylenebilir.

Teorik hesaplamalara ait analiz sonuçlarının yalnızca düşük  $\chi^2$  değerleri baz alınarak değerlendirilmesi doğru değildir. Aynı zamanda teorik olarak elde edilen tesir-kesiti verilerinin ürettiği desenler, deneysel ölçümlerin sergilediği desenlerle de uyumlu olmalıdır (Tülüler, 2015). Ayrıca, hesaplamalarda kullanılacak potansiyel derinlikleri ve geometri parametrelerine fiziksel anlamları dışına çıkacak değerler atanamaması, analizlerde kısıtlayıcı bir rol oynamaktadır. Tüm bu koşullar göz önüne alınarak 145-1120 MeV enerji aralığı için genel bir değerlendirme yapıldığında, her iki potansiyel formu kullanılarak elde edilen diferansiyel tesir-kesiti analizlerinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmektedir (Tablo 1 ve Şekil 1). Bununla birlikte,  $V_1$  potansiyelinin yer aldığı analizlere ait sonuçların deneysel ölçümleri açıklamada biraz daha başarılı olduğu söylenebilir.

Tülüler tarafından daha önce yapılan analizlerde, nükleon başına 10 MeV ve üzeri gelme enerjileri için  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  elastik saçılmasının diferansiyel tesir-kesiti ölçümlerini açıklamak üzere, Denklem (5) ve (6) ile verilen  $V_1$  ve  $V_2$  yapılarındaki potansiyel setleri kullanılmış ve tesir-kesiti hesaplamaları gerçekleştirilmiştir (Tülüler, 2015). Söz konusu analizlerde, deneysel saçılma desenini yeterince başarılı bir biçimde üretebilen ve en düşük  $\chi^2$ 'yi hedefleyen fitlerin elde edilmesinin yanı sıra, potansiyel şekillerinin oluşturulmasında kullanılan parametreler ile gelme enerjisi arasında bir ilişki tesisi arayışına gidilmiştir. Bu yüzden her iki potansiyel formu ile yapılan analizler için aynı dinamik parametreler kullanılmış ve bu parametrelerin gelme enerjisine bağlı olarak değişmesi sağlanmıştır. Bu sistematik yaklaşımda ayrıca, her iki potansiyel setinin gerçel kısımlarında kullanılan geometri parametreleri de ortak alınmış, yani sabit parametrelili bir analiz elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, WS2+iWS2 potansiyel formunun (WS2+iWS formuna kıyasla) deneysel verilerle daha uyumlu sonuçlar ürettiği rapor edilmiştir (Tülüler, 2015). 145 MeV ve üzeri enerjiler için daha önce yapılan diğer analizlerde de WS2+iWS2 formundaki potansiyelin tercih edilmesi (Kondo vd., 1989; Sugiyama vd., 1993; Bartnitzky vd., 1996; Kondo vd., 1996; Khoa vd., 2000; Gonzalez

ve Brandan, 2001),  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  elastik saçılması için daha başarılı optik model analizleri elde etmek amacıyla  $V_1$  formundaki potansiyelin kullanılabileceği yönündeki bulgumuzla tutarlılık içerisindedir.



**Şekil 1.**  $E_{\text{LAB}}=145-1120$  MeV enerji aralığı için  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  elastik açılal dağılım ölçümlerinin,  $V_1$  ve  $V_2$  potansiyel formlarının kullanıldığı optik model hesaplamalarıyla elde edilen tesir-kesiti fitleriyle karşılaştırması (Deneysel ölçümlere ait veriler için (Sugiyama vd., 1993; Khoa vd., 2000) kaynakları esas alınmıştır)

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, iki farklı nükleer potansiyel formu ( $WS_2+iWS_2$  ve  $WS_2+iWS$  formları) kullanılarak tekkanal optik model yaklaşımı ile  $^{16}O+^{16}O$  saçılmasına ait açılal dağılım verileri,  $E_{LAB}=145, 250, 350, 480, 704$  ve  $1120$  MeV gelme enerjileri için teorik olarak hesaplanmıştır. Analizler için kullanılan fenomenolojik potansiyeller serbest parametreler ile oluşturularak deneysel diferansiyel tesir-kesiti ölçümleri ile en iyi uyumu sağlayan potansiyel yapısı araştırılmıştır. Çalışma limitleri dahilinde, her iki potansiyel formunun birbirine yakın ve deneysel verilerle uyumlu sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Sanal kısmı  $WS_2$  şekline sahip potansiyel ( $V_1$ ) ile gerçekleştirilen analizin biraz daha başarılı olduğu saptanmıştır. Önerilen yeni parametrelerle yapılan bu hesaplamayla, aynı potansiyel şeklinin kullanıldığı önceki sabit parametrelili analizlerimize göre daha başarılı  $\chi^2$  değerleri elde edilmiş ve  $^{16}O+^{16}O$  sistemi için (derin, çekici bir gerçel potansiyel ve daha zayıf, enerji bağımlı soğurucu formdaki bir sanal potansiyelden oluşan) optik potansiyeller ailesine bir yenisi kazandırılmıştır.

İlerideki çalışmalarda,  $^{16}O+^{16}O$  saçılmasını daha başarılı bir biçimde açıklamak amacıyla temel potansiyel formuna eklenecek derin veya sığ yapıdaki ek-potansiyellerin etkisi sistematik olarak araştırılabilir veya  $WS_2+iWS_2$  şekline sahip nükleer potansiyeli oluşturmada kullanılacak en uygun parametrelerin optimizasyonuna yönelik bir kodlama üzerine yoğunlaşılabilir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Oğuz ÖZTÜRK'ün doktora tez çalışmasından ve Merve TULÜLER'in yüksek lisans tezinden kısımlar içermektedir. Yazarlar, 3747-YL1-13 nolu BAP projesi kapsamındaki desteğinden dolayı Süleyman Demirel Üniversitesi'ne teşekkür eder.

#### 5. KAYNAKLAR

- Aytekin, H., Kürkçüoğlu, M. E., Boztosun, İ., 2007.  $^{16}O+^{16}O$  Esnek Saçılmasının Optik Model ile İncelenmesi. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(1), 229-239.
- Bartnitzky, G., Blazeniak A., Bohlen H. G., 1996. Model-unrestricted Nucleus-Nucleus Scattering Potentials from Measurement and Analysis of  $^{16}O+^{16}O$  Scattering. Physics Letters B, 365, 23-28.
- Brandan, M. E., Satchler, G. R., 1991. Optical Potential Ambiguities and  $^{16}O+^{16}O$  at 350 MeV. Physics Letters B, 256, 311-315.
- Brandan, M. E., Satchler, G. R., 1997. The Interaction between Light Heavy-ions and What it Tells Us. Physics Reports, 285, 143-243.
- El-Azab Farid, M. F., Mahmoud, Z. M. M., Hassan, G. S., 2001. Analysis of Heavy-ions Elastic Scattering Using the Double Folding Cluster Model. Nuclear Physics A, 691, 671-690.
- Furumoto, T., Sakuragi, Y., Yamamoto, Y., 2014. Medium Effect in the High-density Region Probed by Nucleus-Nucleus Elastic Scattering. Physical Review C, 90(4), 041601-1 – 041601-5.
- Gonzalez, M. M., Brandan, M. E., 2001. The Dispersion Relation Applied to the Radial Shape and Energy Dependence of the  $^{16}O-^{16}O$  Potential at Intermediate Energies. Nuclear Physics A, 693, 603-615.
- Hassanain, M. A., Al Sebiey, S. M. M., 2014. Analysis of  $^{16}O+^{16}O$  Elastic and Inelastic Scattering Using the Optical Model and the Coupled-Channels Mechanism. Physical Review C, 90(5), 054606-1-054606-7.
- Hassanain, M. A., Ibraheem, A. A., Al Sabiey, S. M. M., Mokhtar, S. R., Zaki, M. A., Mahmoud, Z. M. M., Behairy, K. O., El-Azab Farid, M., 2013. Investigation of  $^{16}O+^{16}O$  Elastic Scattering Using the  $\alpha$ -cluster Folding Model. Physical Review C, 87(6), 064606-1-064606-10.
- Khoa, D. T., von Orteszen, W., Bohlen H. G., Nuoffer F., 2000. Study of Diffractive and Refractive Structure in the Elastic  $^{16}O+^{16}O$  Scattering at Incident Energies Ranging from 124 to 1120MeV. Nuclear Physics A, 672, 387-416.

- Kondo, Y., Robson B. A., Smith, R., 1989. A Deep Potential Description of the  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  System. *Physics Letters B*, 227, 310-314.
- Kondo, Y., Sugiyama, Y., Tomita, Y., Yamamuchi, Y., Ikeoze, H., Idenio, K., Hamada, S., Sugimutsu, T., Hijiya, M., 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. *Physics Letters B*, 365, 17-22.
- Kürkçüoğlu, M. E., 2006.  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  Esnek Saçılmasının Fenomenolojik ve Mikroskopik Potansiyeller ile Optik Model Analizleri, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye.
- Kürkçüoğlu, M. E., Aytekin, H., 2006. An Investigation of the  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  Elastic Scattering by Phenomenological and Double-Folding Potentials in Optical Model Formalism at the Energies Between  $E_{\text{LAB}}=75$  and  $145\text{MeV}$ . *Indian Journal of Physics*, 80(6), 641-645.
- Kürkçüoğlu, M. E., Aytekin, H., Boztosun, İ., 2006. An Investigation of the  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  Elastic Scattering by Using Alpha-Alpha Double Folding Potential in Optical Model Formalism. *Modern Physics Letters A*, 21 (29), 2217-2232.
- 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*, 10(1): 85-94.
- Kürkçüoğlu, M.E., Cof, G., Aytekin, H., Boztosun, İ., 2013. Introducing a Global Optical Model Approach for Analysing  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  Elastic Scattering at 5-10 MeV/nucleon Region. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi*, (8): 71-81.
- Maher, J. V., Sachs, R. H., Siemssen, R. H., Weidinger, A., Bromley, D. A., 1969. Nuclear Interaction of Oxygen with Oxygen. *Physical Review*, 188, 1665-1682.
- Minomo, K., Kohno, M., Ogata, K., 2016. Microscopic Coupled-Channels Calculations of Nucleus-Nucleus Scattering Including Chiral Three-Nucleon-Force Effects. *Physical Review C*, 93(1), 014607-1-014607-6.
- 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 10 MeV/n: the  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  Reaction. *Nuclear Physics A*, 654, 882-887.
- Rahmat, M., Modarres, M., 2018. Folding Model Analyses of  $^{12}\text{C}-^{12}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}-^{16}\text{O}$  Elastic Scattering Using the Density-dependent LOCV-averaged Effective Interaction. *Physical Review C*, 97(3), 034611-1-034611-13.
- Sugiyama, Y., Tomita, Y., Ikeoze, H., Yamamuchi, Y., Idenio, K., Hamada, S., Sugimutsu, T., Hijiya M., Kondo Y., 1993. Observation of Airy Oscillation for the  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  System at  $E_{\text{lab}}=145\text{MeV}$ . *Physics Letters B*, 312, 35-39.
- Thompson, I. J., 1997. FRESKO, a Coupled-Channels Code, (unpublished), England.
- Thompson, I.J., 1988. Coupled Channels Methods for Nuclear Physics, *Computer Physics Reports* Vol. 7, pp. 167-212.
- Tülüler, M., 2015.  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  Saçılmasının  $E_{\text{LAB}}=145-1120$  MeV Enerji Aralığında Optik Model Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Woods, R.D., Saxon, D.S., 1954. Diffuse Surface Optical Model for Nucleon-Nuclei Scattering. *Physical Review Letters*, 95, 577-578.