



$^{181}\text{Ta}(\alpha, xn)$ Reaksiyonu Tesir Kesitlerinin İncelenmesi

Hasan ÖZDOĞAN*¹

¹Akdeniz Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, 07070, Antalya, Türkiye

*yazışılan yazar e-posta: hasanozdogan@akdeniz.edu.tr

(Alınış: 17.07.2018, Kabul: 18.09.2018, Yayınlanma: 30.11.2018)

Özet: Optiksel model, nükleer reaksiyonları açıklamak için geliştirilen modellerden birisidir. Soğurma etkilerinin var olması halinde elastik saçılmayı genel bir yolla inceleyebilmemizi sağlar. Optiksel model potansiyeli; bileşik ve denge-öncesi nükleer reaksiyonların tesir kesitlerinin açılan reaksiyon kanallarına nasıl dağılacağını belirlediğinden dolayı, nükleer reaksiyonlar için oldukça önemlidir. Optiksel model potansiyeli ile birlikte; seviye yoğunluğu bilgisi, tesir kesiti, enerji spektrumu ve diğer gözlenebilir nükleer reaksiyon değerlerinin güvenilir teorik analizi için belki de en önemli bileşendir. Bu çalışmada, $^{181}\text{Ta}(\alpha, n)^{184}\text{Re}$, $^{181}\text{Ta}(\alpha, 2n)^{183}\text{Re}$, $^{181}\text{Ta}(\alpha, 3n)^{182}\text{Re}$ ve $^{181}\text{Ta}(\alpha, 4n)^{181}\text{Re}$ reaksiyon tesir kesitleri farklı seviye yoğunluğu ve optiksel modeller kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda optiksel modeller için, Watanabe düzeltmeli Koning-Delaroche, McFadden- Satchler, Demetriou-Grama-Goriely ve Avriganu modelleri, seviye yoğunluğu modelleri için Sabit Sıcaklık Fermi Gaz, Geri Kaydırmalı Fermi Gaz ve Genelleştirilmiş Süper Akışkan modelleri kullanılmıştır. Tüm hesaplamalar TALYS 1.8 kodu ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Uluslararası Deneysel Nükleer Reaksiyon Data Merkezi (EXFOR)'dan alınan verilerle karşılaştırılmıştır. Hesaplamaların deneysel verilerle karşılaştırılmasında göreceli varyans analizi kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Optiksel model, Seviye yoğunluğu, Tesir kesiti, TALYS 1.8

Investigation cross sections of $^{181}\text{Ta}(\alpha, xn)$ reaction

Abstract: Optical model is one of the models developed to explain nuclear reactions. It allows us to investigate the elastic scattering in the presence of absorption effects. The optical model is very important for nuclear reactions, since it defines how the cross sections of compound and the pre-equilibrium nuclear reactions are separated to the opened reaction channels. Level density information along with the optical model potential is perhaps the most important component for reliable theoretical analysis of the cross section, energy spectrum and other observable nuclear reaction values. In this study, cross section calculations have been done for $^{181}\text{Ta}(\alpha, n)^{184}\text{Re}$, $^{181}\text{Ta}(\alpha, 2n)^{183}\text{Re}$, $^{181}\text{Ta}(\alpha, 3n)^{182}\text{Re}$ and $^{181}\text{Ta}(\alpha, 4n)^{181}\text{Re}$ reactions by using different level densities and optical models. In the calculations Watanabe corrected Koning-Delaroche, McFadden-Satchler, Demetriou-Grama-Goriely and Avriganu models have been used for optical models while Constant Temperature Fermi Gas, Back-Shifted Fermi Gas and Generalised Superfluid models have been selected for level density models. All calculations have been performed with TALYS 1.8 code. Obtained results have been compared with the data taken from International Experimental Nuclear Reaction Data Center (EXFOR). Relative analysis of variance has been used in the comparison of the calculations with the experimental data.

Key words: Optical model, Level density, Cross section, TALYS 1.8

1. Giriş

Teorik nükleer modeller, deneysel verilerin olmadığı durumlarda araştırmacılara yön göstermesi açısından oldukça önemlidir. Deneysel verilerle uyumlu bir modelin geliştirilmesi, temel nükleer fizik problemlerinin çözümü için büyük bir önem taşımaktadır. Nükleer reaksiyonları açıklamak için geliştirilen modellerden birisi, optiksel modeldir. Bu model; ışık dalgalarının, soğurucu ve kırıcı bir top tarafından klasik saçılmasına benzetildiği için optiksel model olarak isimlendirilir [1]. Optiksel modelde toplam etkileşim potansiyeli komplekstir. Optiksel model potansiyeli; bileşik ve denge-öncesi nükleer reaksiyonların tesir kesitlerinin açılan reaksiyon kanallarına nasıl dağılacakını belirlediğinden dolayı, nükleer reaksiyonlar için oldukça önemlidir.

Seviye yoğunluğu, MeV başına düşen nükleer enerji seviyelerinin sayısı olarak tanımlanabilir ve ρ ile gösterilir. Optiksel model potansiyeli ile birlikte; seviye yoğunluğu bilgisi, tesir kesiti, enerji spektrumu ve diğer gözlenebilir nükleer reaksiyon değerlerinin güvenilir teorik analizi için belki de en önemli bileşendir. Çekirdeğin uyarılmış seviyeleri düşük uyarılma enerjilerinde gözle sayılabilirken, artan uyarılma enerjilerinde bu seviyeler sıklaşır ve sürekli bir dağılım gösterir. Bu durumda, uyarılmış seviyeleri ifade etmek için bir seviye yoğunluğu fonksiyonuna ihtiyaç vardır [2].

Teknoloji ve bilgisayar sistemlerindeki gelişmeler, sanal olarak nükleer fizik laboratuvarlarının kurulmasını ve yapılmak istenen deney ve hesaplamaların bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bir nükleer reaksiyonun gerçekleşme ihtimalini ortaya koyan tesir kesiti ve reaksiyon sonucu açığa çıkan parçacıkların enerji spektrumları hesaplayabilmek için, ALICE/ASH, PCROSS, EMPIRE ve TALYS gibi birçok bilgisayar kodu kullanılmaktadır [3-15]. Bu çalışmada kullanılan TALYS 1.8 kodu deneysel verilerle oldukça uyumlu sonuçlar veren bir programdır [16-18]. TALYS kodu seviye farklı seviye yoğunluğu modellerine bağlı tesir kesiti hesaplamaları yapabilen ve seviye yoğunluğu parametrelerinin değişimine izin veren bir programdır [19-21].

Bu çalışmada, ¹⁸¹Ta(α ,n)¹⁸⁴Re, ¹⁸¹Ta(α ,2n)¹⁸³Re, ¹⁸¹Ta(α ,3n)¹⁸²Re ve ¹⁸¹Ta(α ,4n)¹⁸¹Re reaksiyonları için farklı optiksel modeller kullanılarak reaksiyon tesir kesitleri hesaplanmış, EXFOR [22]'den alınan verilerle en uyumlu optiksel model için farklı seviye yoğunluğu modelleri karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda TALYS 1.8 [23] kodu, istatistiksel hesaplamalar için ise görelî varyans analizi [24] kullanılmıştır. Optiksel model hesaplamaları için, Watanabe düzeltmeli Koning Delaroche, Mc Fadden Satchler, Demetriou, Grama ve Goriely, Avrigeanu potansiyelleri kullanılmıştır. Seviye yoğunluğuna bağlı hesaplamalarda ise; Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (SFGM), Geri Kaydırmalı Fermi Gaz Modeli (GFGM) ve Genelleştirilmiş Süper Akışkan Modeli (GSM) kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Tesir kesiti hesaplamaları İki Bileşenli Eksiton Modeli [23]'e göre gerçekleştirilmiştir. Bu modelin Griffin Eksiton Modeli [26]'dan farkı; parçacık ve deşik çiftlerinin hangi nükleona ait olduğu göz önünde bulundurmasıdır.

TALYS 1.8 alfa optiksel model için ön tanımlı olarak Watanabe Düzeltmeli Koning-Delaroche potansiyelini kullanmaktadır. Nükleon çekirdek saçılması için fenomenolojik optiksel model potansiyeli U ;

$$U(r, E) = -V_v(r, E) - iW_v(r, E) - iW_D(r, E) + V_{SO}(r, E).1.\sigma + iW_{SO}(r, E).1.\sigma + V_C(r, E) \quad (1)$$

olarak verilir. Burada; $V_{V,SO}$ ve $W_{V,D,SO}$ hacim, yüzey ve spin potansiyellerinin gerçek ve sanal kısımlarını, E ise laboratuvar sistemindeki parçacık enerjisini ifade etmektedir. Bütün parametreler, enerji bağımlı ve enerji bağımsız radyal potansiyel kuyularında bulunmaktadır. Alfa parçacığı için, Watanabe düzeltmeli Koning-Delaroche optik potansiyeli

$$V_V^{alfa}(E) = 2V_V^{nötron}(E/4) + 2V_V^{proton}(E/4)$$

$$W_V^{alfa}(E) = 2W_V^{nötron}(E/4) + 2W_V^{proton}(E/4)$$

$$W_D^{alfa}(E) = 2W_D^{nötron}(E/4) + 2W_D^{proton}(E/4) \quad (2)$$

$$V_{SO}^{alfa}(E) = W_{SO}^{alfa}(E) = 0$$

olarak verilir [23,26].

Genel olarak, geliştirilen alfa optiksel model potansiyelleri 50 MeV derinliğindeki potansiyel kuyularına odaklanmıştır. Ancak, alfa saçılmasının dört tane nükleon çekirdek etkileşiminin üst üste binmesi olarak yorumlayabileceği böylece potansiyel kuyusunun derinliğinin yaklaşık olarak 200 MeV olacağını düşünen McFadden ve Satchler, 24,7 MeV enerjili alfa parçacığının esnek saçılmasını inceleyerek optiksel model geliştirmişlerdir. Optiksel model potansiyelini;

$$U(r) = -V(e^x + 1)^{-1} - iW(e^{x'} + 1)^{-1} \quad (3)$$

olarak tanımlamışlardır. Burada x ve x' ;

$$x = \frac{(r - r_0 A^{1/3})}{a} \quad (4)$$

$$x' = \frac{(r - r'_0 A^{1/3})}{a'} \quad (5)$$

olarak verilir [27]. Denklem [4, 5]'deki, a ve a' difüzyon parametreleridir.

Çoğu nükleer astrofizik uygulaması, radyoaktif α parçacık yakalamaları, α bozunumları ve α parçacık aktarım reaksiyonlarını içerir. Hauser-Feshbach'ın istatistiksel modelinin teorik tahminleri, özellikle Coulomb bariyerinin çok altındaki düşük enerjilerdeki α çekirdek optiksel model potansiyelinin yetersiz bilgisinden dolayı, belirsizliğini korumaktadır. Demetriou ve arkadaşları; α çekirdek etkileşimini karakterize eden güçlü enerji bağımlılığını ve nükleer yapı etkilerini hesaba katan yeni bir küresel α optik potansiyeli ortaya koymuşlardır. Optiksel potansiyel; $V_C(r)$ coloumb potansiyeli $V(r)$ ve $W(r)$ reel ve sanal bileşenler olmak üzere,

$$U(r) = V_C(r) + V(r) + iW(r) \quad (6)$$

olarak tanımlanmıştır. Optiksel potansiyelin reel kısmı;

$$V(r) = \lambda \iint \rho_p(r_p) \rho_T(r_T) \times v_{eff}(E, \rho = \rho_p + \rho_T, s = |\vec{R} + \vec{r}_p - \vec{r}_T|) d^3r_p d^3r_T \quad (7)$$

olarak verilir. Burada; λ deneysel verilerden elde edilen parametre, $\rho_p(r_p)$ ve $\rho_T(r_T)$ sırasıyla mermi ve hedef çekirdeklerin yoğunluklarını, \vec{R} mermi ve hedef çekirdeğin kütle merkezleri arasındaki vektör; v_{eff} ise, nükleon-nükleon etkileşimi potansiyelidir. Sanal kısım ise, sadece hacim terimi içerir ve şu şekilde verilir.

$$W(r; E) = W_{0,v} F(E) f_v(r) \quad (8)$$

$$f_v(r) = \frac{1}{1 + \exp((r - r_v A^{1/3})/a_v)} \quad (9)$$

$F(E)$ enerji bağımlılığını ifade ederken, hacim teriminin geometrik parametreleri a_v ve r_v A kütle numarasını belirtmek üzere,

$$r_v = B_0 + B_1 A + B_2 A^2 + B_3 A^3 + B_4 A^4 \quad (10)$$

$$a_v = C_0 + C_1 A + C_2 A^2 + C_3 A^3 + C_4 A^4 \quad (11)$$

olarak hesaplanır. Burada, B ve C katsayıları deneysel verilere fit edilerek bulunur [28].

Avriganu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, $121 \leq A \leq 197$ kütle numarası aralığındaki çekirdekler üzerinde Coloumb engeli altında gelme enerjisine sahip (α, x) reaksiyonları için mevcut tüm reaksiyon kanallarını ait tesir kesitlerinin analizi yapmışlardır. Yüzeysel sanal potansiyel derinliğinin enerji bağımlılığının, Coloumb engelinin altındaki α parçacık etkileşim davranışının anlaşılması için gerekli olduğunu ortaya koymuşlardır. Optiksel potansiyel denklemleri;

$$V_R = 165 + 0,733 Z/A^{1/3} - 2,64E, \quad E \leq E_3 \quad (12)$$

$$V_R = 116,5 + 0,337 Z/A^{1/3} - 0,453E, \quad E > E_3 \quad (13)$$

$$W_V = 2,73 - 2,88A^{1/3} + 1,11E \quad (14)$$

$$W_D = \begin{cases} 2,5 \pm 1,0, & E \leq E_1 \\ 22,2 + 4,57A^{1/3} - 7,446E_2 + 6E, & E_1 < E \leq E_2 \\ 22,2 + 4,57A^{1/3} - 1,446E, & E > E_2 \end{cases} \quad (15)$$

olarak verilir. Burada;

$$E_1 = -3,28 - 0,762A^{1/3} + 1,24E_2 \quad (16)$$

$$E_2 = (2,59 + 10,4/A)Z / (2,66 + 1,36A^{1/3}) \quad (17)$$

$$E_3 = 22,2 + 0,181 Z/A^{1/3} \quad (18)$$

olarak verilmiştir [29].

Yaygın olarak kullanılan çoğu seviye yoğunluğu modeli, çekirdeğin uyarılmış seviyelerinin eşit aralıklı olduğu ve kolektif seviyelerinin bulunmadığı tek parçacık durumu varsayımına dayanan Fermi Gaz Modeli'ne [30] dayanır. Fermi Gaz Modeli yüksek enerjilerde deneysel verilerle uyum sağlarken, düşük enerjilerde deneyleri açıklamada başarısız olmaktadır. TALYS 1.8'in ön tanımlı olarak kullandığı, SFGM'de [31], uyarılma enerjisi ikiye ayrılmıştır. Birinci aralık; sabit sıcaklık yasalarının geçerli olduğu, 0 MeV ile eşleşme enerjisi E_M ' ye kadar olan düşük enerji bölgesidir. E_M ' nin üstünde kalan daha yüksek enerji bölgesinde ise Fermi Gaz Modeli uygulanır. GFGM'de eşleşme enerjisi ayarlanabilir parametre gibi davranır. Fermi Gaz ifadesi, 0 MeV'e kadar olan tüm yol boyunca kullanılır. GSM'de süper akışkan davranışı gösteren düşük enerjili bölgeden, GFGM tarafından tanımlanan yüksek enerji bölgesine faz geçişleri ile karakterize edilir. GSM, SFGM'deki gibi uyarılma enerjisini düşük ve yüksek enerji bölgesine ayırmasına rağmen, SFGM gibi spesifik ayrık seviyelerden gelen eşleştirme enerjisi bulmayı gerektirmez [32].

Hesaplanan tesir kesiti verilerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması görelî varyans analizi, D , [33] kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

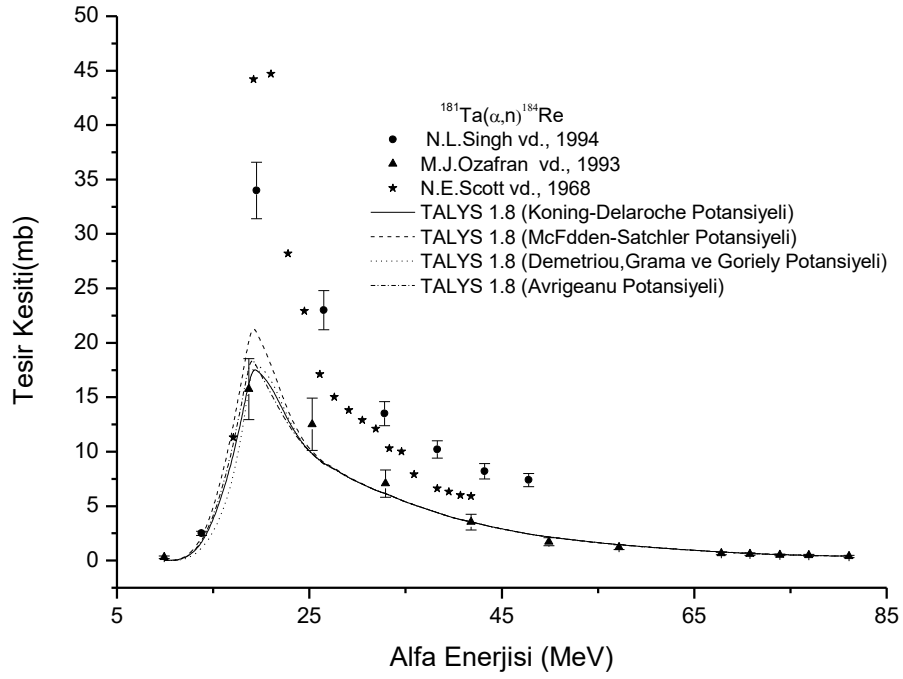
$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\sigma_i^{teorik} - \sigma_i^{deneysel}| / \sigma_i^{deneysel} \quad (19)$$

Burada; σ^{teorik} TALYS 1.8 hesaplama sonuçlarını, $\sigma^{deneysel}$ ise EXFOR verilerini ifade etmektedir. En küçük D değeri, en uyumlu sonucu belirtmektedir.

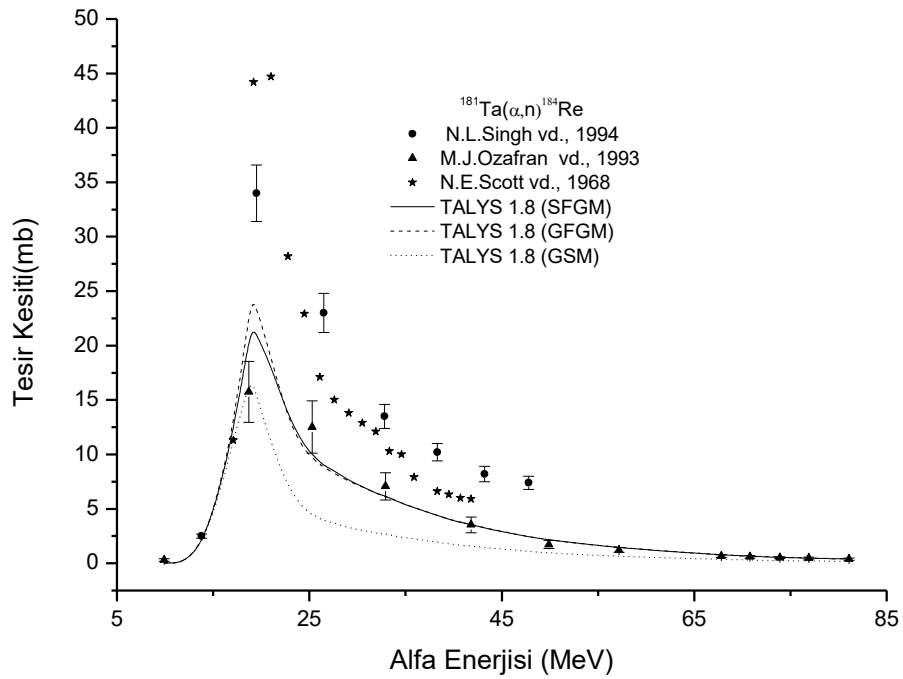
Bu çalışmada, ¹⁸¹Ta(α ,xn) reaksiyonuna ait tesir kesiti hesaplamaları farklı alfa optiksel modellerine göre hesaplanarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, en uyumlu bulunan alfa optiksel model için seviye yoğunluğu modellerinin tesir kesiti değerlerine etkisi araştırılmıştır.

3. Bulgular

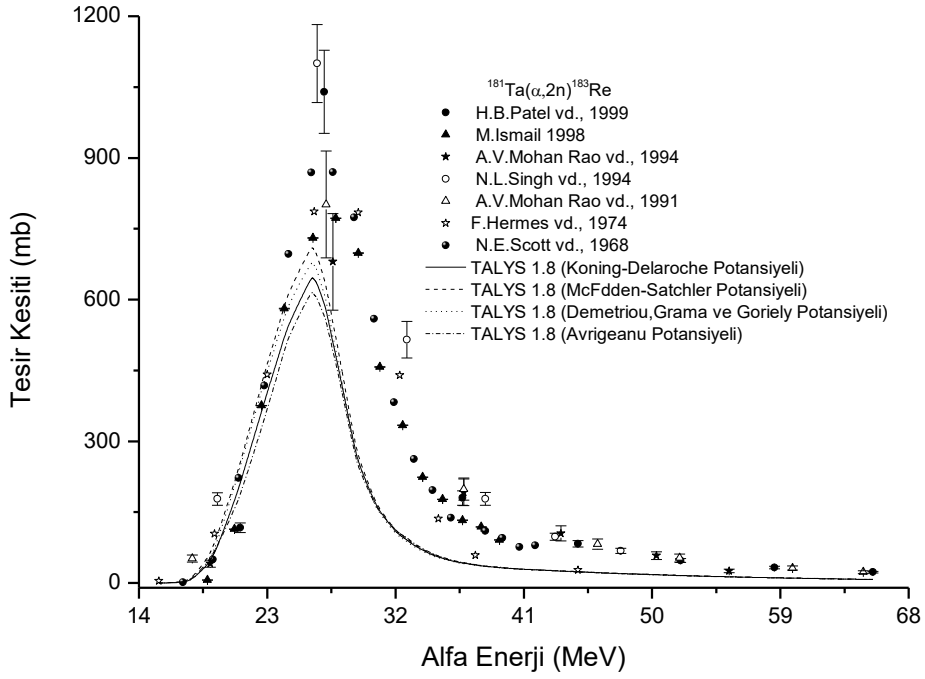
¹⁸¹Ta(α ,n)¹⁸⁴Re, ¹⁸¹Ta(α ,2n)¹⁸³Re, ¹⁸¹Ta(α ,3n)¹⁸²Re ve ¹⁸¹Ta(α ,4n)¹⁸¹Re reaksiyonlarına ait hesaplanan tesir kesitlerinin EXFOR'dan alınan verilerle karşılaştırılması Şekil 1-8'de verilmiştir. Tablo 1 ve 2'de ise görelî varyans analizi sonuçları yer almaktadır.



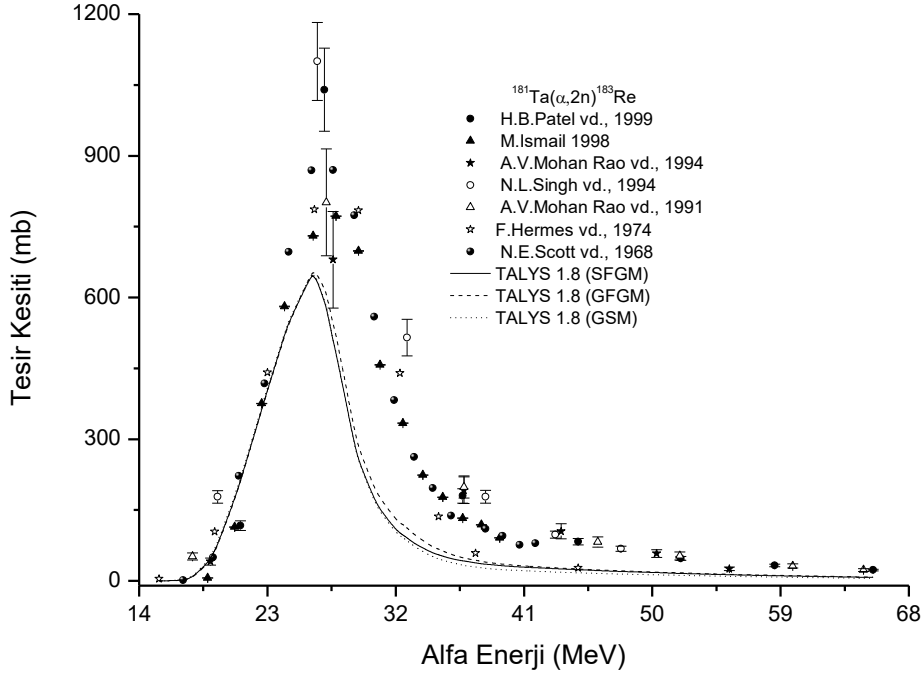
Şekil 1. ¹⁸¹Ta(α ,n)¹⁸⁴Re reaksiyonu için farklı optiksel modellere göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



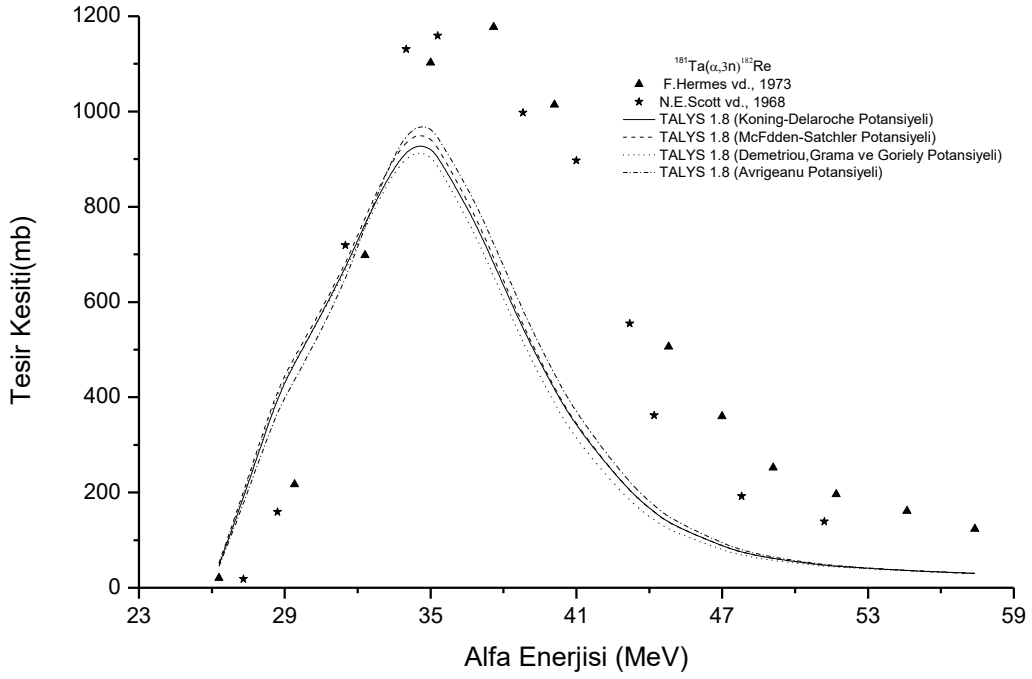
Şekil 2. ¹⁸¹Ta(α ,n)¹⁸⁴Re reaksiyonu için farklı seviye yoğunluğu modellerine göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



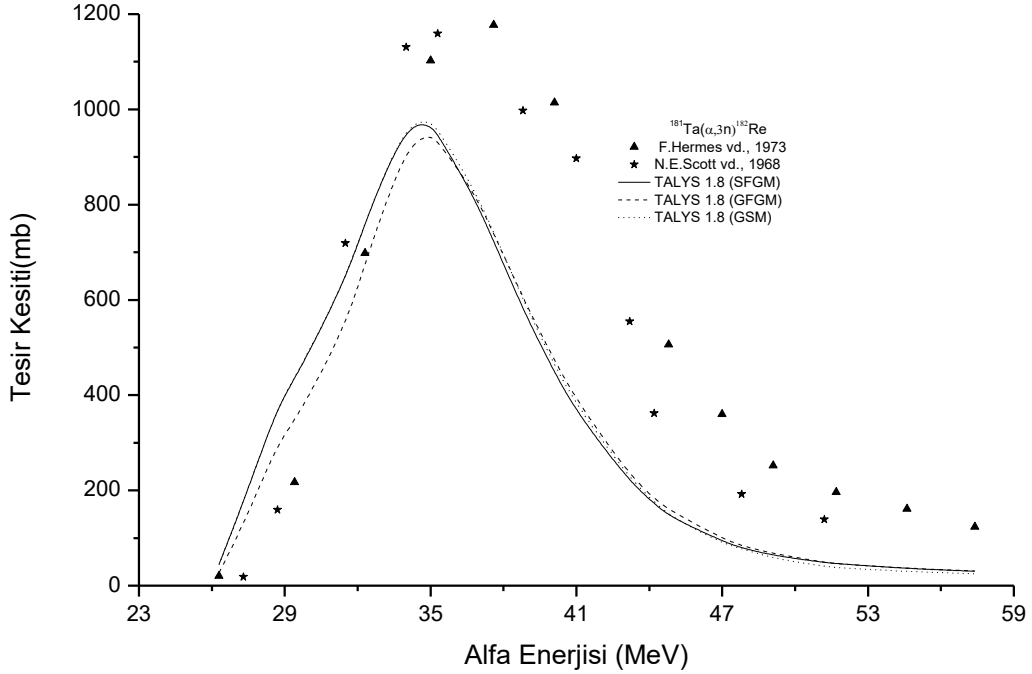
Şekil 3. ¹⁸¹Ta(α ,2n)¹⁸³Re reaksiyonu için farklı optiksel modellere göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



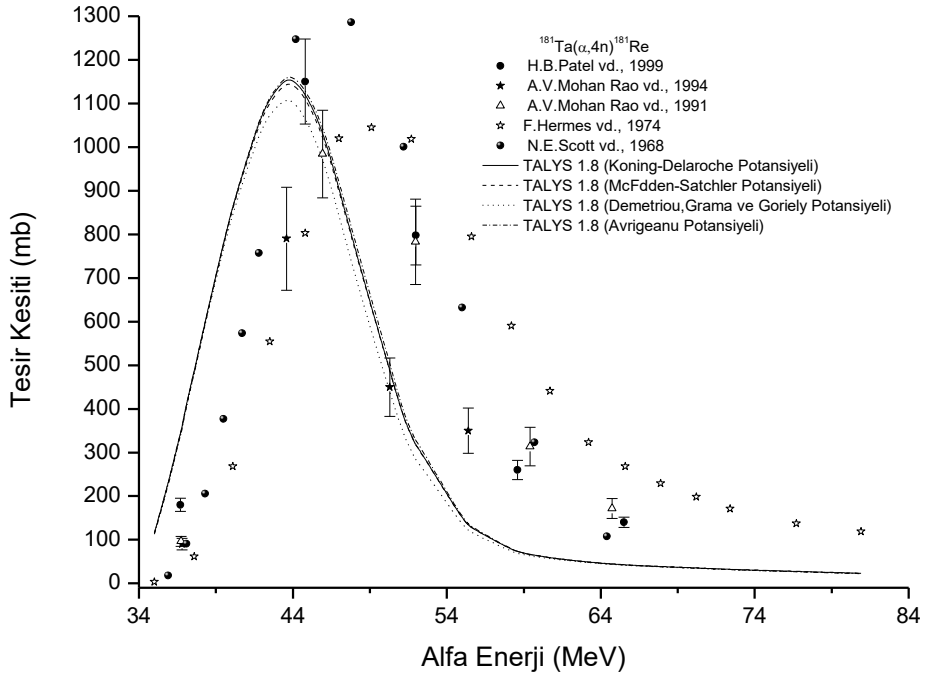
Şekil 4. ¹⁸¹Ta(α ,2n)¹⁸³Re reaksiyonu için farklı seviye yoğunluğu modellerine göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



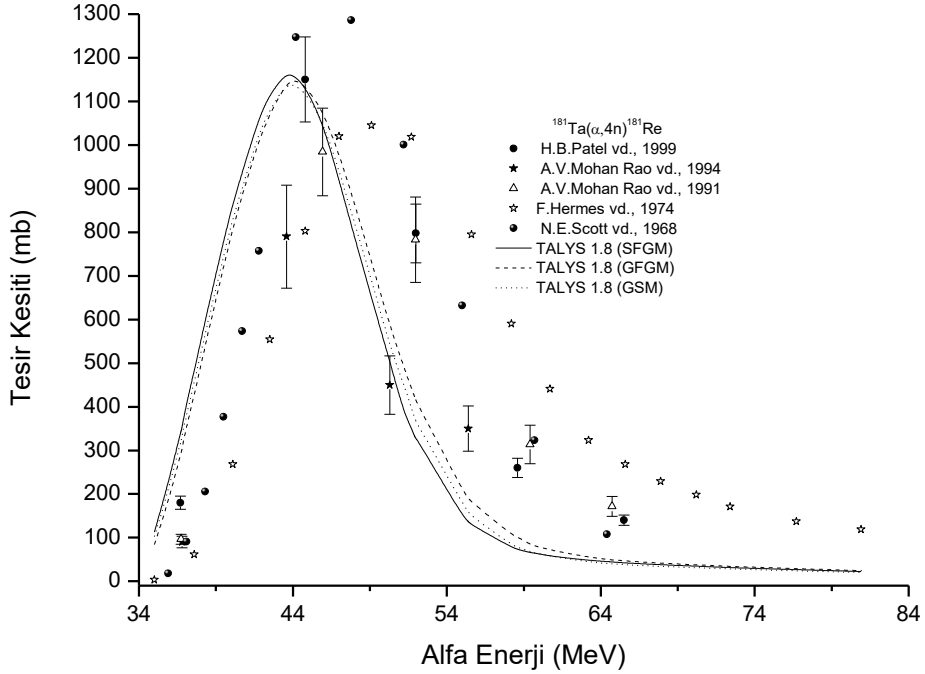
Şekil 5. ¹⁸¹Ta(α ,3n)¹⁸²Re reaksiyonu için farklı optiksel modellere göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 6. ¹⁸¹Ta(α ,3n)¹⁸²Re reaksiyonu için farklı seviye yoğunluğu modellerine göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 7. ¹⁸¹Ta(α ,4n)¹⁸¹Re reaksiyonu için farklı optiksel modellere göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 8. ¹⁸¹Ta(α ,4n)¹⁸¹Re reaksiyonu için farklı seviye yoğunluğu modellerine göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Tablo 1. Optiksel modellere göre hesaplanan tesir kesitlerinin istatistiksel analiz sonuçları

Reaksiyon	Watanebe Düzeltilmeli Koning- Delaroche	McFadden- Satchler	Demetriou, Grams ve Goriely	Avrigeanu
(α ,n)	0,4023	0,3863	0,4082	0,4039
(α ,2n)	0,6221	0,6561	0,6384	0,6389
(α ,3n)	0,9657	1,0037	1,0111	0,9001
(α ,4n)	2,069	2,0613	2,0649	2,0347

Tablo 2. Seviye yoğunluğu modellerine göre hesaplanan tesir kesitlerinin istatistiksel analiz sonuçları

Reaksiyon	SFGM	GFGM	GSM
(α ,n)	0,3863	0,3907	0,6635
(α ,2n)	0,6221	0,5894	0,6688
(α ,3n)	0,9001	0,7185	0,9034
(α ,4n)	2,0347	1,6593	1,8931

4. Sonuç ve Yorum

Şekil 1’de ¹⁸¹Ta(α ,n)¹⁸⁴Re reaksiyonu için farklı optiksel modellere göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Genel olarak, tüm modeller birbirine yakın sonuçlar vermişlerdir. Hesaplamalar maksimum değer dışında deneysel verilerle uyum sağlamıştır. Tablo 1’den görüleceği üzere, McFadden-Satchler optiksel modeli deneysel verilerle en uyumlu model olarak bulunmuştur.

Şekil 2’de ¹⁸¹Ta(α ,n)¹⁸⁴Re reaksiyonu için farklı seviye yoğunluğu modellerine göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Hesaplamalarda alfa optiksel model olarak Şekil 1’de en uyumlu model olarak bulunan McFadden-Satchler Modeli seçilmiştir. SFGM ve GFGM hesaplamalarının birbirlerine yakın sonuçlar verdiği, GSM hesaplamalarının ise yaklaşık olarak 15-50 MeV aralığında diğer iki modelden düşük sonuç verdiği gözlenmiştir. Tablo 2’de verilen istatistiksel hesaplama sonucunda, SFGM’nin deneysel verilerle en uyumlu seviye yoğunluğu modeli olduğu görülmüştür.

¹⁸¹Ta(α ,2n)¹⁸³Re reaksiyonu için farklı optiksel modellere göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 3’de verilmiştir. Hesaplamaların birbirlerine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Tüm modeller yaklaşık olarak 30 MeV enerjisine kadar deneysel verilerle uyum göstermiş, 30-45 MeV aralığında ise deneysel verileri aşağıdan takip etmişlerdir. Tablo 1’de verilen analiz sonuçlarına göre en uyumlu optiksel model Koning-Delaroche Modeli’dir.

Şekil 4’de, ¹⁸¹Ta(α ,2n)¹⁸³Re reaksiyonu için Koning-Delaroche optiksel modeli seçilerek farklı seviye yoğunluğuna bağlı olarak hesaplanan tesir kesiti değerlerinin EXFOR

verileriyle karşılaştırılması verilmiştir. Tüm modellerin birbirine çok yakın sonuçlar verdikleri ve deneysel verilerle benzer geometriye sahip oldukları görülmüştür. Analiz sonucunda, GFGM en uyumlu model olarak bulunmuştur.

Farklı optiksel modellere göre hesaplanan ¹⁸¹Ta(α ,3n)¹⁸²Re reaksiyonu tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 5’de verilmiştir. Tüm modellerin deneysel verilerden farklı sonuçlar vermelerine rağmen, benzer geometriye sahip oldukları gözlenmiştir. Tablo 1’de verilen analiz sonuçlarına göre Avrigeanu optiksel modeli deneysel verilerle en uyumlu model olarak bulunmuştur.

¹⁸¹Ta(α ,3n)¹⁸²Re reaksiyonu için farklı seviye yoğunluğu modellerine göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 6’da verilmiştir. SFGM ve GSM hesaplamalarının benzer sonuçlar ortaya koyduğu, GFGM’in ise 35 MeV enerjisine kadar diğer iki modelden düşük tesir kesiti değerleri hesapladığı gözlenmiştir. GFGM deneysel verilerle en uyumlu seviye yoğunluğu modeli olarak bulunmuştur.

¹⁸¹Ta(α ,4n)¹⁸¹Re reaksiyonu için farklı optiksel modellere göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 7’de görülmektedir. Tüm modellerin birbirlerine yakın sonuçlar verdikleri gözlenmiştir. Hesaplama sonuçlarının deneysel verilerle benzer geometri sergiledikleri görülmüştür. Tablo 1’de görülen analiz sonuçlarına göre Avrigeanu optiksel modeli deneysel verilerle en uyumlu model olarak saptanmıştır.

Şekil 8’de ¹⁸¹Ta(α ,4n)¹⁸¹Re reaksiyonu için farklı seviye yoğunluğu modellerine göre hesaplanan tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Hesaplamalarda Avrigeanu optiksel modeli kullanılmıştır. Hesaplamalar birbirlerine yakın tesir kesiti değerleri ortaya koymuştur. Tablo 2’de verilen analiz sonuçlarına göre GFGM EXFOR verileriyle en uyumlu seviye yoğunluğu modeli olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak, optiksel modeller kullanılarak gerçekleştirilen tesir kesiti hesaplamaları üzerinde seviye yoğunluğu modellerinin etkisi olduğu gözlenmiştir. Kaplan yaptığı çalışmada ön tanımlı olarak SFGM’yi kullanmış ve ¹⁸¹Ta(α ,3n)¹⁸²Re, ¹⁸¹Ta(α ,4n)¹⁸¹Re reaksiyon tesir kesiti hesaplamalarının deneysel verilerle uyumlu olduğunu göstermiştir [34]. Bu çalışmada, seviye yoğunluğu modeli değiştirilince ¹⁸¹Ta(α ,n)¹⁸⁴Re reaksiyonu dışındaki diğer reaksiyonların deneysel verilerle uyumu artmıştır. GFGM, bu çalışmada deneysel verileri açıklamada en uyumlu model olarak bulunmuştur. Seviye yoğunluğu modellerinin hesapladığı farklı seviye yoğunluğu parametrelerinin tesir kesiti hesaplamaları üzerinde etkili olduğu bilinmektedir [19]. Bu çalışmada en uyumlu seviye yoğunluğu olarak bulunan GFGM tarafından kullanılan parametrelerin talyum için gerçekleştirilecek deneysel veya teorik hesaplamalarda araştırmacılara bir öngörü sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] J. Lilley, “Nükleer Fizik İlkeler ve Uygulamalar,” A. Aydın, İ. H. Sarpün, E. Tel, A. Kaplan, Çeviri Ed. Ankara: Nobel, 2018, pp. 106.
- [2] B. Canbula, “Bazı tellür izotoplarının nötron yakalama tesir kesiti analizi,” *CBÜ F Bil.Dergi*, vol. 13, no. 2, pp. 445-455, 2017.
- [3] A. Kaplan, E. Tel, A. Aydın, “The Equilibrium and Pre-equilibrium Neutron Emission Spectra of Some Structural Fusion Materials for (n,xn) Reactions up to 16 MeV Energy” *Phys. Atom Nucl.* vol. 72, pp. 903-910, 2009.

- [4] H. A. Yalın, A. Aydın, İ. H. Sarpün, R. Ünal, B. Oruncak, A. Kaplan, E. Tel, "Investigation of Nucleon Mean Free Path Dependence in Tritium Emission Spectra Produced by Proton Induced Reactions at 62 MeV", *J. Fusion Energ.* vol. 29, pp. 55-61, 2010.
- [5] A. Aydın, E. Tel, H. Pekdoğan, A. Kaplan, "Nuclear Model Calculations on the Production of ^{125,123}Xe and ^{133,131,129,128}Ba Radioisotopes", *Phys. Atom Nucl.* vol. 75, pp. 310-314, 2012.
- [6] A. Aydın and A. Kaplan, "The Calculations of (p,xn) Reactions Cross Sections of ^{203,205}Tl Target Nuclei by Using Proton Cyclotron," *Süleyman Demirel University, Arts and Sciences Faculty, Journal of Science (e-journal)*, vol. 2, pp. 152-159, 2007.
- [7] A. Kaplan, M. Şekerci, V. Çapalı, H. Özdoğan, "Photon Induced Reaction Cross Section Calculations of Several Structural Fusion Materials," *J. Fusion Energ.* vol. 36, pp. 213-217, 2017.
- [8] A. Kaplan, M. Şekerci, V. Çapalı, H. Özdoğan, "Computations of (α ,xn) Reaction Cross-Section for ^{107,109}Ag Coated Materials with Possible Application in Accelerators and Nuclear Systems," *J. Fusion Energ.* vol. 35, pp. 715-723, 2016.
- [9] A. Aydın, G. Türeci, E. Tel, A. Kaplan, "Investigation of Deuteron Emission Spectra at 62 MeV Proton Incident Energy," *J. Fusion Energ.* vol. 29, pp. 327-331, 2010.
- [10] A. Kaplan, A. Aydın, E. Tel, B. Şarer, "Equilibrium and Pre-Equilibrium Emissions In Proton - Induced Reactions on ^{203,205}Tl," *Pramana-J. Phys.* vol. 72, pp. 343-353, 2009.
- [11] E. Tel, E. G. Aydın, A. Kaplan, A. Aydın, "New calculations of cyclotron production cross sections of some positron emitting radioisotopes in proton induced reactions," *Indian J. Phys.* vol. 83, pp. 193-212, 2009.
- [12] A. Kaplan, E. Tel, A. Aydın, "The Equilibrium and Pre-equilibrium Neutron Emission Spectra of Some Structural Fusion Materials for (n,xn) Reactions up to 16 MeV Energy," *Phys. Atom Nucl.* vol. 72, pp. 903-910, 2009.
- [13] A. Kaplan, E. Tel, E. G. Aydın, A. Aydın, M. Yılmaz, "Spallation neutron emission spectra in medium and heavy target nuclei by a proton beam up to 140 MeV energy," *Appl. Radiat. Isotopes* vol. 67, pp. 570-576, 2009.
- [14] E. G. Aydın, E. Tel, A. Kaplan, A. Aydın, "Equilibrium and Pre-equilibrium Calculations of Neutron Production In Medium-Heavy Targets Irradiated By Protons Up to 100 MeV," *Ann. Nucl. Energy* vol. 35, pp. 2306-2312, 2008.
- [15] H. Özdoğan, M. Şekerci, A. Kaplan, "Füzyon Reaktörü Yapısal Malzemelerinde Kullanılan Bazı Elementler için Proton Girişli Reaksiyonlarda ³He Yayınlanma Spektrumlarının İncelenmesi," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, vol. 13, pp. 12-18, 2018.
- [16] A. Aydın, İ. H. Sarpün, A. Kaplan, E. Tel, "Calculations of Double-Differential Deuteron Emission Cross Sections at 62 MeV Proton Induced Reactions," *J. Fusion Energ.* vol. 32, pp. 378-381, 2013.
- [17] A. Kaplan, H. Özdoğan, A. Aydın, E. Tel, "Deuteron-Induced Cross Section Calculations of Some Structural Fusion Materials," *J. Fusion Energ.* vol. 32, pp. 97-102, 2013.
- [18] Aydın, A., Sarpün, İ. H., Kaplan, A., 2014, "Calculations of Double-Differential Triton Emission Cross Sections at 62-MeV Proton-Induced Reactions", *Phys. Atom Nucl.* 77 (3), 321-324.
- [19] H. Özdoğan, M. Şekerci, İ. H. Sarpün, A. Kaplan, 2018, "Investigation of level density parameter effects on (p,n) and (p,2n) reaction cross-sections for the fusion structural materials ⁴⁸Ti, ⁶³Cu and ⁹⁰Zr," *Appl. Radiat. Isot.* 140, 29-34.
- [20] A. Aydın, H. Pekdoğan, A. Kaplan, İ. H. Sarpün, E. Tel, B. Demir, "Comparison of Level Density Models for the ^{60,61,62,64}Ni(p,n) Reactions of Structural Fusion Material Nickel from Threshold to 30 MeV," *J. Fusion Energ.* vol. 34, pp. 1105-1108, 2015.
- [21] İ. H. Sarpün, A. Aydın, A. Kaplan, H. Koca, E. Tel, "Comparison of Fission Barrier and Level Density Models in (a,f) Reactions of Some Heavy Nuclei", *Ann. Nucl. Energy* vol. 70, pp. 175-179, 2014.
- [22] EXFOR: Experimental Nuclear Reaction Data. Database Version of 2018-01-09, <https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm>. Erişim Tarihi: 09.07.2018
- [23] A. J. Koning, S. Hilaire and S. Goriely (2015) *TALYS-1.8 A Nuclear Reaction Program*, <http://www.talys.eu/fileadmin/talys/user/docs/talys1.8.pdf>
- [24] N. V. Kurenkov, V. P. Luneva, Yu. N. Shubina, "Evaluation of calculation methods for excitation functions for production of radioisotopes of iodine, thallium and other elements," *Appl. Radiat. Isot.* vol. 50, pp. 541-549, 1999.
- [25] J. J. Griffin, "Statistical model of intermediate structure," *Phys. Rev. Lett.* vol. 17, pp. 478-481, 1966.
- [26] S. Watanabe, "High energy scattering of deuterons by complex nuclei," *Nuclear Physics*, vol. 8, pp. 484-492, 1958.
- [27] L. McFadden ve G. R. Satchler, "Optical model analysis of the scattering of 24,7 MeV alpha particles," *Nuclear Physics*, vol. 84, pp. 177-200, 1966.
- [28] P. Demetriou, C. Grama, S. Goriely, "Improved global α -optical model potentials at low energies," *Nuclear Physics A*, vol. 707, pp. 253-276, 2002.
- [29] M. Avrigeanu ve V. Avrigeanu, " α -particle nuclear surface absorption below the Coulomb barrier in heavy nuclei," *Physical Review C* vol. 82, pp. 1-7, 2010.

- [30] H. A. Bethe, "Nuclear Physics B. Nuclear Dynamics," *Theoretical. Reviews of Modern Physics*, vol. 9, pp. 69-244, 1937.
- [31] A. Gilbert, A. G. W. Cameron, "A composite nuclear level density formula with shell corrections," *Canadian Journal of Physics*, vol. 43, pp. 1446-1496, 1965.
- [32] A. J. Koning, S. Hilarie, S. Goriely, "Global and Local Level Density Models," *Nuclear Physics A*, vol. 810, pp. 13-76, 2008.
- [33] N. V. Kurenkovb, V. P. Luneva, Yu. N. Shubina, "Evaluation of calculation methods for excitation functions for production of radioisotopes of iodine, thallium and other elements," *Appl. Radiat. Isot.* vol. 50, pp. 541-549, 1999.
- [34] A. Kaplan, "Investigation of Neutron-Production Cross Sections of the Structural Fusion Material ¹⁸¹Ta for (α ,xn) Reactions up to 150 MeV Energy," *J. Fusion Energ.* vol. 32, pp. 382-388, 2013.

Hasan ÖZDOĞAN, hasanozdogan@akdeniz.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6127-9680>