



## 0-8 MeV Enerji Bölgesinde $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$ Reaksiyonu için Tesir Kesitleri ve Astrofiziksel S-Faktörlerin Hesaplanması

Ercan YILDIZ<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> Milli Eğitim Bakanlığı, Esertepe Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, 06220, Ankara, Türkiye,  
<sup>\*</sup>yazışılan yazar e-posta: ercan7306@hotmail.com

(Alınış: 11.07.2018, Kabul: 10.08.2018, Yayınlanma: 30.11.2018)

**Özet:** Reaksiyon tesir kesiti bir nükleer reaksiyonun gerçekleşme olasılığını ifade eder. Ayrıca reaksiyon tesir kesiti verileri çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Kimyasal elementlerin kökeni, modern fiziğin doğmasından bu yana nicel çalışmalara konu olmuştur ve on yıllar boyunca, deneysel ve teorik çalışan nükleer fizikçilerin yanı sıra kozmologların, astrofizikçilerin ve astronomların ilgisini çekmiştir.  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaksiyonu, s-sürecinin ana bileşeni olarak  $90 < A < 208$  kütle aralığındaki çoğu çekirdeğin üretim sürecinden sorumlu olan nötron kaynağıdır. Özellikle model hesaplamalarının doğruluğunun test edilmesi için düşük enerji bölgesindeki değişimin bilinmesi önemlidir. Bu çalışmada,  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaksiyonuna ait tesir kesitleri ve düşük enerjilerde reaksiyon olasılığını açıklayan astrofiziksel S-faktörleri 0-8 MeV enerji aralığında hesaplandı. Teorik hesaplamalarda TALYS 1.8 kodu kullanıldı. Elde edilen teorik değerler, EXFOR veri tabanından elde edilen deneysel verilerle karşılaştırıldı.

**Anahtar kelimeler:**  $^{13}\text{C}$ , Tesir kesiti, S-Faktör, TALYS 1.8

## Calculation of Cross Sections and Astrophysical S-Factors for $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$ Reaction in 0-8 MeV Energy Zone

**Abstract:** Reaction cross section refers to the probability of a nuclear reaction's occurrence. In addition, data is also used in a wide range of reaction area. The origin of the chemical elements has been the subject of quantitative work since the birth of modern physics, and for decades has attracted the attention of cosmologists, astrophysicists and astronomers as well as experimental and theoretical nuclear physicists. The  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaction is the origin of the neutron for the major component of the s-process, in charge of for the production process of plenty of the nuclei in the mass range  $90 < A < 208$ . In particular, it is important to know the variation in the region of low energies in order to test the accuracy of the model calculations. This working cross sections of the  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaction have been evaluated at 0-8 MeV energy area and the astrophysical S-factors that explain the probability of reaction in flow energy were evaluated. Theoretical calculations used TALYS 1.8 codes have been used. Conclusions of our calculations were compared with the experimental data obtained from EXFOR database.

**Key words:**  $^{13}\text{C}$ , Cross-Section, S-Factor, TALYS 1.8

## 1. Giriş

Nükleer astrofizikte genel bir sorun, Gamow enerjisindeki tesir kesitlerin laboratuvarında ölçülemeyecek kadar küçük olmasıdır [1].

$^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaksiyonu, asimptotik dev (Thermally-Pulsing Asymptotic Giant Branch: TP-AGB) yıldızlarında s-sürecinin baskın nötron kaynağıdır. Sıcaklık s-süreci aşamasında sıcaklık  $90 \times 10^6$  K olmakta ve bu 140-230 keV' luk Gamow enerji aralığına karşılık gelmektedir. Bu enerji, Coulomb bariyerinin çok altında olduğu için, bu reaksiyonun tesir kesiti çok küçüktür ve reaksiyon hızı sadece daha yüksek enerjilerdeki ölçümlerden hesaplanabilir [2].

Bir reaksiyonun ana karakteri, enerjiye bağlı ve yüzey boyutuna ( 1barn =  $10^{-28}$  m<sup>2</sup>) sahip olan  $\sigma(E)$  tesir kesitidir. Yıldızlardaki reaksiyonların tesir kesitleri Coulomb etkileri tarafından yönetilmektedir [1].

$$S(E)=\sigma(E).E. \exp (2\pi\eta) \quad (1)$$

ifadesiyle tanımlanmaktadır. Burada,  $\eta$  Sommerfeld parametresidir ve  $\eta=(Z_1 Z_2 e^2)/\hbar v$  ile ifade edilir. Burada  $Z_1$  ve  $Z_2$  etkileşmeye giren 1. ve 2. çekirdeklerinin yükleridir. Enerjiye bağlı astrofiziksel S-faktör  $S(E)$  fonksiyonu, Coulomb etkisine olan bağlılığın etkisini azaltarak tesir kesiti içindeki nükleer etkileşmeleri temsil eder. Astrofiziksel S-faktörünün enerjiye bağlı değişimi, tesir kesitinin enerjiye bağlı değişiminden çok daha yavaş olduğu için deneysel tesir kesiti ölçümünün mümkün olmadığı durumlarda, astrofiziksel S-faktörünün düşük enerjilere ekstrapole edilmesi çok daha kullanışlıdır. Böylece elde edilen S-faktör değerleri kullanılarak düşük enerjilerdeki tesir kesitlerinin tahmin edilmesi kolaylaşır. Model hesaplamalarının doğruluğunun test edilmesi için özellikle düşük enerjilerdeki değişimin bilinmesi önemlidir [3].

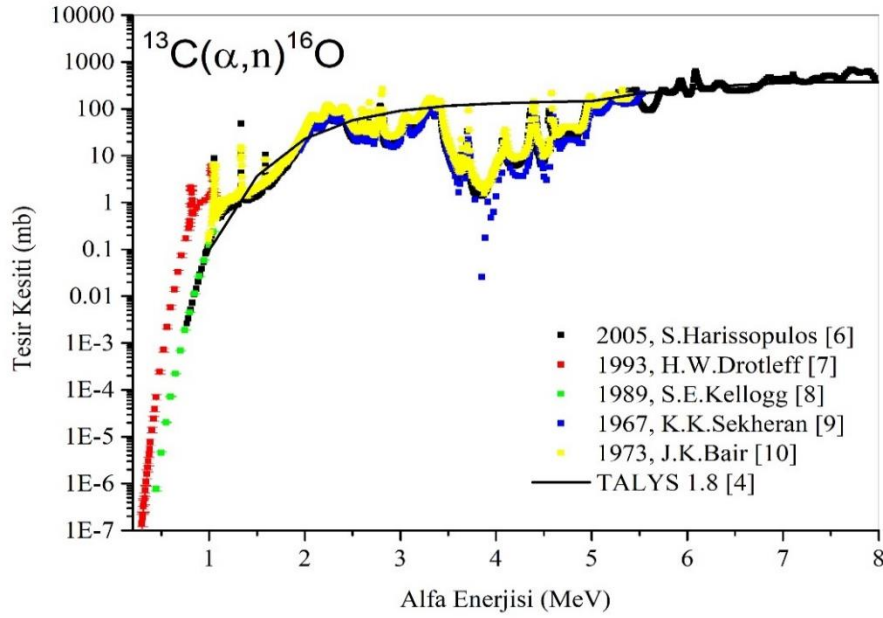
Bu çalışmada, s-sürecinin ana bileşeni olarak  $90 < A < 208$  kütle aralığındaki çoğu çekirdeğin üretim sürecinde gerekli olan nötronların sağlanmasında önemli rolü bulunan  $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$  reaksiyonu ele alındı. 0-8 MeV enerji aralığında bu reaksiyona ait tesir kesitlerinin ve astrofiziksel S-faktörlerin hesaplanması amaçlandı.

## 2. Materyal ve Metod

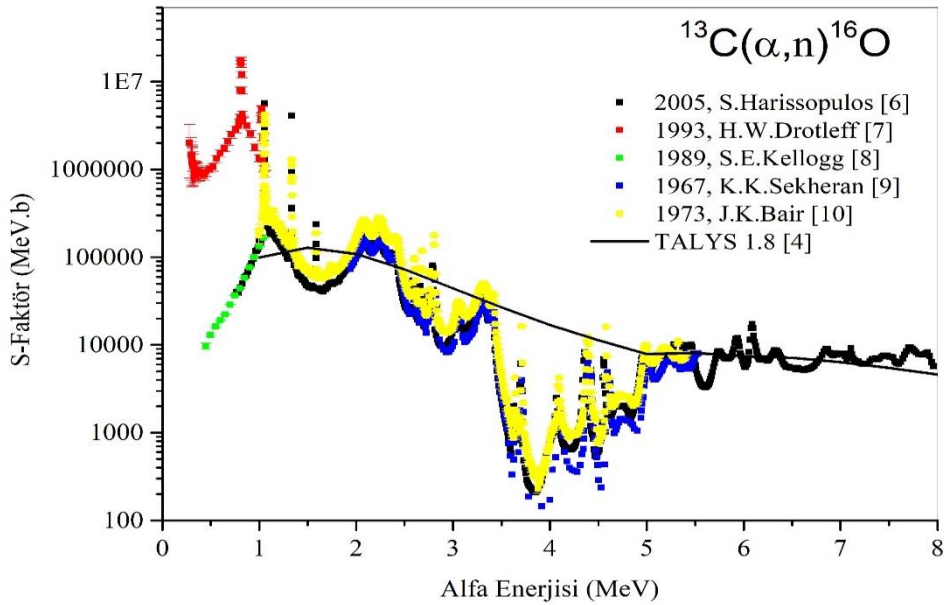
Bu çalışmada ele alınan  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaksiyonunun tesir kesitleri ve astrofiziksel S-faktörleri 0-8 MeV enerji aralığında hesaplandı. Hesaplanan astrofiziksel S-faktör değerleri Şekil 2'de y ekseninde MeV.b cinsinden ifade edildi. Tesir kesitlerinin hesaplanmasında TALYS 1.8 [4] kodu , astrofiziksel S-faktörlerin hesaplanmasında ise Denklem (1) kullanıldı. TALYS 1.8 simülasyon programı [4]; foton, nötron, proton, döteron, triton, helyum ve alfa parçacıklarını içeren, hedef çekirdek kütlelerinin ise 12 ve daha ağır olması şartıyla nükleer saçılma reaksiyonunun olasılığını öngörmek için kullanılan Unix tabanlı bir bilgisayar programıdır. Diğer taraftan, deneysel ve hesaplanmış veriler arasında karşılaştırma yapmak amacıyla, ilgili deneysel değerler EXFOR [5] nükleer reaksiyon kütüphanesinden alınmıştır.

### 3. Bulgular

0-8 MeV enerji aralığındaki  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaksiyonu için TALYS 1.8 [4] kodu ile hesaplanan teorik tesir kesitleri ve astrofiziksel S-faktör değerlerinden elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 1 ve Şekil 2’de EXFOR’ dan [5] elde edilen deneysel veriler de karşılaştırmak amacıyla verilmiştir.



Şekil 1.  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaksiyonu için TALYS 1.8 [4] kodu ile elde edilen teorik ve deneysel EXFOR [5] tesir kesitleri



Şekil 2.  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaksiyonu için deneysel ve teorik astrofiziksel S-faktör değerleri

### 4. Sonuç ve Yorum

Yukarıda belirtildiği gibi, astrofiziksel S-faktörünün enerjiye olan bağılılığı, tesir kesitlerine göre daha yavaş olduğu için deneysel astrofiziksel S-faktörlerin

ekstrapolasyonu, düşük enerjilerdeki tesir kesitlerinin tahmin edilmesinde yararlı sonuçlar verir.

Çalışmamızda  $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$  reaksiyonu için 0-8 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.8 [4] kodu kullanılarak elde ettiğimiz tesir kesitleri ve Denklem (1) kullanılarak elde edilen astrofiziksel S-faktörlerini sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’de ifade edilmiş. Deneysel ve teorik verileri karşılaştırabilmek için EXFOR [5] nükleer reaksiyon kütüphanesinden faydalanılmıştır.

Şekil 1  $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$  reaksiyonu için deneysel ve teorik tesir kesitleri incelendiğinde 3,5-5 MeV enerji aralığı dışında TALYS 1.8 [4] kodu ile elde edilen teorik tesir kesitleri EXFOR’dan [5] alınan deneysel değerlerle genel olarak uyumludur. Bu uyum özellikle 5-8 MeV enerji aralığında S. Harrissopulos [6] deneysel verilerinde daha iyi gözlenmektedir.

Şekil 1’de özellikle düşük enerji bölgesi ve Gamow enerji bölgesinde, veri eksikliği dikkat çekmektedir. 1 MeV’in altındaki enerjilerde TALYS 1.8 [4] kodunun tesir kesitlerini hesaplamadığı görülmektedir. Daha iyi bir teorik yaklaşım ve astrofiziksel sistemlere katkı için özellikle 1 MeV’in altındaki enerjilere uzanan yeni ölçümlere ihtiyaç vardır.

Şekil 2  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaksiyonu için deneysel ve teorik astrofiziksel S-faktör değerlerinin 1-3,5 MeV aralığında TALYS 1.8 [4] kodu kullanılarak elde edilen değerlerin S. Harrisopulos [6], K.K. Sekheran [9] ve J.K. Bair [10] değerleriyle uyumlu olduğu benzer uyumun 5-8 MeV aralığında da devam ettiği görülmektedir.

Daha iyi bir teorik yaklaşım ve astrofiziksel sistemlere katkı için özellikle düşük enerji bölgesindeki ölçümlere ihtiyaç vardır. Bu nedenle, teorik hesaplamalar, deneysel verilerle en iyi uyumu elde etmek için yeni nükleer parametrelerle de tekrarlanabilir. Bu çalışmanın gelecekte reaksiyon tesir kesiti çalışmaları ve nükleer model hesaplamaları için iyi bir referans sağlayacağı düşünülmektedir.

## Kaynakça

- [1] L. S. Alinka and P. Descouvement, “Nuclear astrophysics: Nucleosynthesis in the Universe,” *Int. J. Astrobiol.*, vol. 11, pp. 243-250, 2012.
- [2] I. Kochanek, A. Boeltzig, and G. F. Ciani, EPJ Web of Conferences, 136, 01010, 2017.
- [3] E. Yildiz and A. Aydın, “Calculation of cross-sections and astrophysical s-Factors for  $^{62}\text{Ni}(\alpha,n)$  and  $^{62}\text{Ni}(\alpha,\gamma)$  reactions of structural fusion material nickel,” *J. Fusion Energ.*, vol. 35, pp. 605-607, 2016.
- [4] <http://www.talys.eu>, Date of access 09.07.2017
- [5] EXFOR/CSISRS, Brookhaven National Laboratory, National Nuclear Data Center, Database Version of September 2017.
- [6] S. Harissopulos, H. W. Becker, and et al., “Cross section of the  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  reaction: A background for the measurement of geo-neutrinos,” *Phys. Rev. C.*, vol. 72, pp. 062801-062806, 2005.
- [7] H. W. Drotleff, A. Denker, and et al., “Reaction rates of the s-process neutron sources  $^{22}\text{Ne}(\alpha,n)^{25}\text{Mg}$  and  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$ ,” *Astrophys. J.*, vol. 414, pp. 735-739, 1993.
- [8] S. E. Kellogg, S. E. R. B. Vogelaar, and R. W. Kavanagh, “ $^{13}\text{C}(\alpha,n)$  and  $^{14}\text{C}(p,n)$  Astrophysical Neutron Sources and Sinks,” *B. Am. Phys. Soc.*, vol. 34, pp. 1192-1197, 1989.
- [9] K. K. Sekheran, A. S. Divatia, and et al., “ $^{13}\text{C}(\alpha,n)$  reaction cross section between 1.95 and 5.57 MeV,” *Phys. Rev.* 156-4, pp. 1187-1190, 1967.
- [10] J. K. Bair and F. X. Haas, “Total neutron yield from the reactions  $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$  and  $^{17,18}\text{O}(\alpha,n)^{20,21}\text{Ne}$ ,” *Phys. Rev. C.*, vol. 7, pp. 1356-1364, 1973.