



OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN EDEBİYAT FAKÜLTESİ DERGİSİ



$^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$, $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ Reaksiyonları için Tesir Kesitlerinin Seviye Yoğunluğu Modelleri ile İncelenmesi

Ercan YILDIZ¹

Received/20.10.2020

Published/21.12.2020

Özet

Nükleer reaksiyonların oluşma olasılıklarını ifade eden tesir kesiti kavramı nükleer fizik için oldukça önemlidir. Çalışmamızda nükleer tıp alanında önemli bir kullanım alanına sahip olan ^{124}I radyoizotopunun üretim reaksiyonları arasında bulunan $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$, $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ reaksiyonlarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması ile özellikle teorik hesaplamalara dayanan teorik nükleer reaksiyon modelleri yardımıyla deneysel ölçümlerin yapılamadığı değerler için bir bakış açısı elde edebilmektir. Bunun için $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$, $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamalarına seviye yoğunluğu modellerinin etkisinin incelenerek literatürdeki deneysel değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tesir Kesiti, radyoizotop, seviye yoğunluğu modelleri, ^{124}I

Investigation of Cross Sections for $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$, $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ Reactions with Level Density Models

Abstract

The cross section concept, which expresses the probability of occurrence of nuclear reactions, is very important in nuclear physics. In our study, comparing the cross-sections of the $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$, $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ reactions, which are among the production reactions of the ^{124}I radioisotope, which has an important area of use in nuclear medicine, and the values for which experimental measurements cannot be made, especially with the help of theoretical calculations, to get perspective. For this purpose, the effect of level density models on cross-section calculations of $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$, $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ reactions was investigated and compared with experimental values in the literature.

Keywords: cross section, radioisotope, level density models, ^{124}I

GİRİŞ

Radyoizotopların biyolojik bilimlerde kullanılması 1923 yılında von Hevesy'nin çalışmalarıyla başlar. Hevesy bu tür çalışmalar için gerekli radyasyon miktarının çok küçük olması icap ettiğini göstermiştir. O zaman bu tür çalışmalar için gerekli radyoizotoplar henüz mevcut değildi. Bu problem Curie ve Joliotun 1934'te radyoizotopların suni olarak üretilebileceğini keşfetmeleriyle çözümlendi. Bir çok bilim adamı yeni radyonüklid üretimi çalışmalarına kendilerini adadı ve kısa bir süre içinde çok sayıda radyonüklid biyolojik bilimcilerin kullanımını için hazırlandı (Ercan, 1985).

^{124}I ($T_{1/2}=4,18$ gün; $E_{\beta^+}=2,13$ MeV; $I_{\beta^+}=\%22$) radyonüklidi, pozitron emisyon tomografisi (PET) ile radyoimmünoterapi için uygun kullanım alanlarıyla nükleer tıp için önemli pozitron yayıcılarından biridir (Demirkayık, 2014).

Radyoizotop üretiminde özellikle uygulamaya dönük kliniksel çalışmalar önemli yer tutmaktadırlar ancak bu süreçte teorik araştırma sonuçlarının da literatüre katkı getireceği açıktır. Literatür incelenmesi ve sonuçların karşılaştırılması açısından geçmişte yapılmış bulunan (Aydın vd., 2008), (Tel vd., 2009), (Kaplan vd., 2013),(Sekerci, 2019) çalışmalarının incelenmesi de ayrıca önemlidir.

Bir nükleer çarpışmanın farklı son durumlarının her biri, kendine özgü meydana gelme ihtimaline veya tesir kesitine sahiptir. Genellikle başlangıç kurallarından faydalanarak özel bir tesir kesitini hesaplamak zordur (Lilley, 2018).

Deneysel çalışmaların yapılabilmesi için gereken şartlar maddi ve teknik şartlar her reaksiyon için her zaman mümkün olmamaktadır. Bu noktada reaksiyonları gerçekleştirebilmek ve sonuçları değerlendirebilmek için çeşitli teorik nükleer reaksiyon modelleri kullanılmaktadır. Bu sayede elde edilen veriler yoluyla araştırmacılar belli bir bakış açısına sahip olmaktadır. Hem zaman hem maddi, hem de teknolojik açıdan kolaylıklar sağlayan teorik nükleer reaksiyon modelleri çeşitli simülasyon programları ile elle yapılması oldukça güç olan matematiksel işlemleri kullanarak deneysel sonuçların değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır (Sekerci, 2019).

Materyal ve Yöntem

Çalışmada ^{124}I ($T_{1/2}=4,18$ gün ; $E_{\beta^+}=2,13$ MeV; $I_{\beta^+}=22\%$) radyonüklidi için üretim reaksiyonlarından olan $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$, $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ reaksiyonlarının tesir kesitlerine Seviye Yoğunluğu Modelleri (SYM) etkileri incelendi.

Çalışmada kullandığımız nükleer reaksiyon kodu TALYS (Koning ve Hilaire , 2017) TALYS, Linux işletim sisteminde çalışan ve fortran programlama diline sahip, nükleer reaksiyonların analizi ve tahmini için oluşturulmuş bir bilgisayar kodudur. Simülasyon reaksiyonlarında, nötron, proton, döteron, triton, ^3He , α parçacıkları ve γ ışınları ile 1 keV – 1 GeV enerji bölgesinde çalışılabilir. TALYS kodu, seviye yoğunluğu modelleri, optiksel modeller, fisyon reaksiyon modelleri, direk reaksiyon modelleri, bileşik çekirdek reaksiyon modelleri ve denge–öncesi reaksiyon modellerini nükleer reaksiyon tesir kesiti hesaplamalarında kullanmaktadır.

Tesir kesit etkilerini incelemek için kullandığımız Seviye Yoğunluğu Modelleri (SYM) Tablo 1’ de gösterilmiştir. (SYM) ile EXFOR (Zerkin ve Pritychenko, 2018) veri tabanından alınan değerler ile karşılaştırılmıştır.

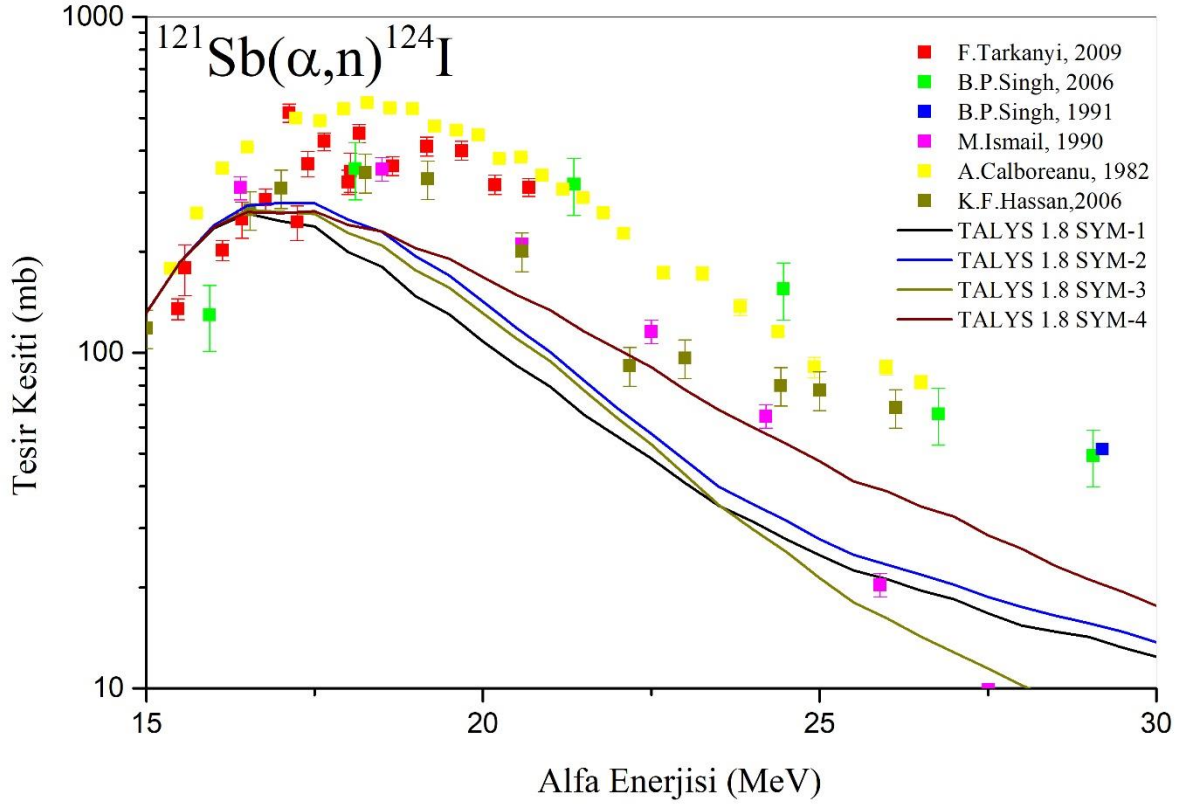
Tablo 1. Tesir kesiti hesaplamalarında kullandığımız (SYM)

Kısaltma	Seviye Yoğunluğu Modelleri (SYM)
SYM-1	Sabit Sıcaklık+Fermi gaz (Gilbert ve Cameron, 1965)
SYM-2	Geri-Kaydırılmış Fermi gaz (Dilg vd, 1973)
SYM-3	Genelleştirilmiş Süper Akışkan (Ignatyuk vd., 1979),(Ignatyuk vd., 1983)
SYM-4	Mikroskopik SYM (Goriely, Hilaire ve Koning, 2008)

Tablo1’de tesir kesiti hesaplamalarında kullandığımız (SYM) nükleer süreçleri anlayabilmek için bilim insanlarının geliştirdikleri çeşitli parametreler içeren teorik modellerden bazılarıdır. Farklı nükleer reaksiyonları açıklayabilecek modeller öne sürülebilir. Özellikle fenomenolojik modeller temel çıkış noktasını oluşturmalarından dolayı hala değerlerini korumaktadırlar. (Sekerci, 2019)

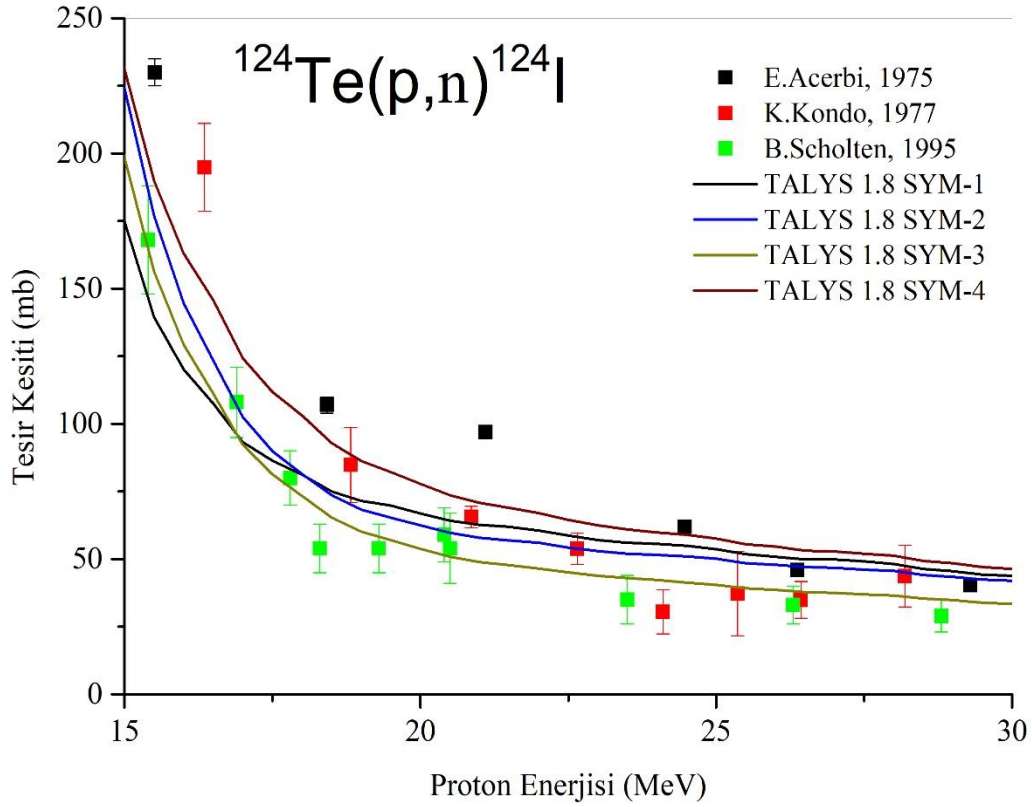
Bulgular ve Tartışma

Tesir kesit değerlerinin TALYS 1.8 (Koning ve Hilaire , 2017) kodu kullanılarak hesaplanması sürecinde (SYM) etkilerini görebilmek için diğer parametreler sabit tutulmuş olup farklı Seviye Yoğunluğu Modelleri (SYM)’nin $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$, $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ reaksiyonlarının tesir kesitleri ve EXFOR (Zerkin ve Pritychenko, 2018) veri tabanından elde edilen deneysel değerler Grafik 1 ve Grafik 2’de gösterilmiş ve karşılaştırılmıştır.



Grafik 1. $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$ reaksiyonu için Seviye Yoğunluğu Modelleri (SYM) ile karşılaştırılması.

$^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$ reaksiyonu için (SYM) ni içeren Grafik 1 için alfa enerjisi 15-30 MeV aralığında alınmış olup Seviye Yoğunluğu Modelleri (SYM) için yaklaşık 17 MeV civarında bir pik oluşmuş ve bu pik farkedilir şekilde ayrılmaya başlamıştır. Bu enerji değerinde (SYM) içinde SYM-4 (Goriely vd., 2008) (Calboreanu vd., 1982), (Hassan vd., 2006) ile belirgin şekilde uyumu gözlenmiştir. (Ismail, 1990) ile (Hassan ve diğerleri, 2006) ile yaklaşık 24,5 MeV'e kadar uyumluluk gözlenmiştir. (Singh vd., 2006) ile (Tárkányi vd., 2009) 16- 21,5 MeV aralığında paralellik göstermiştir. Diğer taraftan (Singh vd., 1990) için benzer uyum gözlenmemiştir. SYM-2 (Dilg vd., 1973) ve SYM-3 (Ignatyuk vd., 1979) ,(Ignatyuk vd., 1983) hemen hemen benzer tesir kesit değerleri vermişlerdir. EXFOR (Zerkin ve Pritychenko, 2018) verilerine SYM-4 (Goriely vd., 2008) genel anlamda uyumlu olduğu SYM-1 (Gilbert ve Cameron, 1965) ise belirli bir katsayı ile çarpıldığında EXFOR (Zerkin ve Pritychenko, 2018) verilerine benzer sonuçlar vereceği anlaşılmaktadır. $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$ reaksiyonu için en uyumlu modelin SYM-4 (Goriely vd., 2008) olduğu söylenebilir.



Grafik 2. $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ reaksiyonu için Seviye Yoğunluğu Modelleri (SYM) ile karşılaştırılması.

Grafik 2 incelendiğinde $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ reaksiyonu için SYM-3 (Ignatyuk vd., 1979), (Ignatyuk vd., 1983) ile (Scholten vd., 1995) değerlerinin oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. (Acerbi vd., 1975) ve (Kondo vd., 1977) içinde uyumlu tesir kesiti değerleri olmakla birlikte bu uyumun 25-30 MeV aralığında daha da belirginleştiği söylenebilir. Ayrıca SYM-1 (Gilbert ve Cameron, 1965) ve SYM-2 (Dilg vd., 1973) deneysel verilerle oldukça uyumlu tesir kesiti değerleri vermişlerdir. SYM-4 (Goriely vd., 2008) 15 MeV'de pik değeri vermiştir.

Genel anlamda ölçümlerin yapılamadığı durumlar için Seviye Yoğunluğu Modelleri (SYM) ile hesaplanan tesir kesiti değerlerinin radyoizotop üretim süreçlerine katkı getirebileceğini benzer çalışmaların ya da farklı modellerin ^{124}I üretim süreçlerine nükleer tıp açısından fayda getireceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Acerbi, E., Birattari, C., Castiglioni, M., Resmini, F. ve Villa, M. (1975). Production of ^{123}I for medical purposes at the Milan AVF cyclotron. *The International Journal Of Applied Radiation And Isotopes*, 26(12), 741–747. doi:10.1016/0020-708X(75)90132-5
- Aydin, E. G., Tel, E., Kaplan, A. ve Aydin, A. (2008). Equilibrium and pre-equilibrium calculations of neutron production in medium-heavy targets irradiated by protons up to 100 MeV. *Annals of Nuclear Energy*, 35(12), 2306–2312. doi:10.1016/j.anucene.2008.08.007
- Calboreanu, A., Pencea, C. ve Salagean, O. (1982). The effect of gamma de-excitation competition on the (α, n) and $(\alpha, 2n)$ reactions on gold and antimony. *Nuclear Physics, Section A*, 383(2), 251–263. doi:10.1016/0375-9474(82)90451-1
- Demirkayık, M. (2014). *FARKLI REAKSİYONLAR YOLUYLA ANTIMON HEDEFLERDEN ÜRETİLEN İYOT-124 RADYOİZOTOPUNUN TESİR KESİTLERİNİN HESAPLANMASI. KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ.*
- Dilg, W., Schantl, W., Vonach, H. ve Uhl, M. (1973). Level density parameters for the back-shifted fermi gas model in the mass range $40 < A < 250$. *Nuclear Physics, Section A*, 217(2), 269–298. doi:10.1016/0375-9474(73)90196-6
- Ercan, M. T. (1985). Tıp’da Radyoizotoplar. *Turkiye Klinikleri J Med Res.*, 3, 201–202.
- Gilbert, A. ve Cameron, A. G. W. (1965). A composite nuclear-level density formula with shell corrections, 43.
- Goriely, S., Hilaire, S. ve Koning, A. J. (2008). Improved microscopic nuclear level densities within the Hartree-Fock-Bogoliubov plus combinatorial method. *Physical Review C - Nuclear Physics*, 78(6), 1–14. doi:10.1103/PhysRevC.78.064307
- Hassan, K. F., Qaim, S. M., Saleh, Z. A. ve Coenen, H. H. (2006). Alpha-particle induced reactions on ^{124}Sb and ^{121}Sb with particular reference to the production of the medically interesting radionuclide ^{124}I . *Applied Radiation and Isotopes*, 64(1), 101–109. doi:10.1016/j.apradiso.2005.07.007
- Ignatyuk, A. V., Istekov, K. K. and Smirenkin, G. N. (1979). The Role of Collective Effects in the Systematics of Nuclear Level Densities. *Sov. J. Nucl. Phys*, 29(4), 450.
- Ignatyuk, A. V., Istekov, K. K. and Smirenkin, G. N. (1983). Influence of Collective Effects on Neutron-to-Fission Widths Ratio in the Vicinity of $N = 126$ Shell. *Yad.Fiz.*, 37, 883.
- Ismail, M. (1990). Measurement and analysis of the excitation function for alpha-induced reactions on Ga and Sb isotopes. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydin, A. ve Tel, E. (2013). Photo-neutron cross section calculations of several structural fusion materials. *Journal of Fusion Energy*, 32(3), 344–349.

doi:10.1007/s10894-012-9575-8

- Kondo, K., Lambrecht, R. M. ve Wolf, A. P. (1977). Iodine-123 production for radiopharmaceuticals—XX. *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 28(4), 395–401. doi:10.1016/0020-708x(77)90132-6
- Koning A, Hilaire S, G. S. (2017). TALYS–1.8.
- Lilley, J. S. (2018). *Nükleer Fizik İlkeler ve Uygulamalar*. (A. Aydın, A; Sarpün, İ, H.; Tel, Eyyup;Kaplan, Ed.). Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Scholten, B., Kovács, Z., Tárkányi, F. ve Qaim, S. M. (1995). Excitation functions of $^{124}\text{Te}(p, xn)^{124,123}\text{I}$ reactions from 6 to 31 MeV with special reference to the production of ^{124}I at a small cyclotron. *Applied Radiation and Isotopes*, 46(4), 255–259. doi:10.1016/0969-8043(94)00145-P
- Sekerci, M. (2019). Bazı Medikal Radyoizotopların (α, xn) Reaksiyonlarıyla Üretim Tesir Kesiti Hesaplamalarında Seviye Yoğunluğu Modellerinin Etkilerinin İncelenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(4), 2035–2047. doi:10.21597/jist.541463
- Singh, B. ve P. (1990). A study of pre-equilibrium emission in α -induced reactions on $^{121,123}\text{Sb}$. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Singh, B. P., Sharma, M. K., Musthafa, M. M., Bhardwaj, H. D. ve Prasad, R. (2006). A study of pre-equilibrium emission in some proton- and alpha-induced reactions. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 562(2), 717–720. doi:10.1016/j.nima.2006.02.030
- Tárkányi, F., Takács, S., Király, B., Szelecsényi, F., Andó, L., Bergman, J., ... Ignatyuk, A. V. (2009). Excitation functions of ^3He - and α -particle induced nuclear reactions on natSb for production of medically relevant ^{123}I and ^{124}I radioisotopes. *Applied Radiation and Isotopes*, 67(6), 1001–1006. doi:10.1016/j.apradiso.2009.02.067
- Tel, E., Aydın, E. G., Kaplan, A. ve Aydın, A. (2009). New calculations of cyclotron production cross sections of some positron emitting radioisotopes In proton induced reactions. *Indian Journal of Physics*, 83(2), 192–212. doi:10.1007/s12648-009-0074-3
- Zerkin, V. V. ve Pritychenko, B. (2018). The experimental nuclear reaction data (EXFOR): Extended computer database and Web retrieval system. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 888(January), 31–43. doi:10.1016/j.nima.2018.01.045