

^{209}Bi izotopunun (p,xn), (p,xp), (p,xd) ve (p,xt) Reaksiyonlarının Teorik Nükleer Modeller İle İncelenmesi

Hasan Özdoğan^{*1}, Yiğit Ali Üncü²

¹Antalya Bilim Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, 07190, Antalya, TÜRKİYE
<https://orcid.org/0000-0001-6127-9680>

*yazışılan yazar: hasan.ozdogan@antalya.edu.tr

²Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı, 07070, Antalya, TÜRKİYE
<https://orcid.org/0000-0001-7398-9540>

(Alınış / Received: 12.12.2022, Kabul / Accepted: 21.02.2023, Yayınlanma / Published: 22.06.2023)

Öz: Nükleer fizik alanındaki gelişmeler; arkeoloji, jeoloji, mühendislik, astrofizik, kozmoloji, kimya, biyoloji, tıp gibi bilim dallarını da etkilemektedir. Nükleer reaksiyon mekanizmalarını anlamak, reaksiyon modelleri oluşturmak ve mevcut nükleer reaksiyon modellerinin geçerliliğini değerlendirmek için nükleer modellerin incelenmesi gereklidir. Bu çalışmada protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun nötron, proton, döteryum ve trityum yayınlanma spektrumları incelenmiştir. Çalışmadaki sonuçlar, TALYS 1.95 nükleer reaksiyon kodu kullanılarak yapılmış, elde edilen sonuçlar Uluslararası Deneysel Nükleer Reaksiyon Data (EXFOR) kütüphanesinden elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak incelenen, direkt reaksiyon, bileşik çekirdek ve denge öncesi mekanizmalarının sonuçları deneysel veriler ile uyumlu olarak çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Direkt reaksiyonlar, Bileşik çekirdek reaksiyonları, Denge öncesi reaksiyonlar, TALYS

The Investigation of (p,xn), (p,xp), (p,xd) and (p,xt) Reactions of ^{209}Bi isotope with Theoretical Nuclear Models

Abstract: Recent developments in nuclear physics also affect branches of science such as archeology, geology, engineering, astrophysics, cosmology, chemistry, biology, and medicine. Examining nuclear models is necessary to understand nuclear reaction mechanisms, construct reaction models, and evaluate the validity of existing nuclear reaction models and for use in nuclear physics applications. In this study, neutron, proton, deuterium, and tritium emission spectra of ^{209}Bi isotope bombarded with protons has been investigated. The results of the study have been made using the TALYS 1.95 nuclear reaction code, and the results have been compared with the experimental data obtained from the International Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR) library. Consequently, the results of the direct reaction, compound nuclei, and pre-equilibrium mechanisms examined have been in agreement with the experimental data.

Key words: Direct reactions, Compound nucleus reactions, Pre-equilibrium reactions, TALYS

1. Giriş

Nükleer reaksiyonlar yönetildiği mekanizmalar olarak direkt reaksiyonlar, bileşik çekirdek reaksiyonları, ve bu iki reaksiyonun arasındaki durum olan denge öncesi reaksiyonları olarak sınıflandırılırlar. Direkt reaksiyonlarda öncelikli olarak mermi çekirdek, çekirdeğin yüzeyinde etkileşmektedir. Artan mermi parçacığın enerjisinde dalga boyu çekirdek mertebesinde nükleon mertebesine kadar küçülür. Bu nedenle; düşük enerjilerde bileşik çekirdek reaksiyonları, yüksek enerjilerde ise, direkt reaksiyonları gözlemlemek daha olasıdır [1].

Bileşik çekirdek teorisi, ilk olarak Bohr tarafından ortaya konmuştur [2]. Bohr bileşik çekirdek reaksiyonlarını, reaksiyona ilk olarak giren parçacıkların birleşmesi ile bileşik çekirdeği oluşturduğu sonrasında oluşacak bileşik çekirdeğin bozularak son ürünler kümesini meydana getirdiği iki aşamada gerçekleştiğini öne sürmüştür [3]. Bileşik çekirdek reaksiyonlarında gelen parçacıklar çekirdeklerin yarıçaplarına göre daha küçük çarpışma parametresi ile hedef çekirdeğe girer. Parçacıklardaki olası saçılmalar ile hedef nükleonlardan biriyle etkileşme olasılığı fazladır. Diğer nükleonlarla ardışık çarpışmalar ise geri tepen nükleon ve gelen parçacık ile olabilir [1].

Denge öncesi reaksiyon modelleri yayınlanan parçacıkların açısal dağılımlarını tahmin etmede çokta başarılı olmasa da 10-60 MeV enerjili proton, nötron ve alfa parçacıkları ile oluşturulan reaksiyonlarda enerji spektrumunun yüksek enerji bölgelerini açıklamakta başarılıdır. Denge öncesi modeller, 200 MeV enerjinin altındaki enerjilerde nükleer tesir kesitlerinin modellenmesinde genellikle kullanılır. 10 MeV enerjinin üstündeki enerjilerde ise denge öncesi bileşenler nükleer reaksiyonlara göz ardı edilmeyecek derecede katkıda bulunur [4].

Nükleer reaksiyon deney sonuçları, temel nükleer fiziği anlamak için kritik öneme sahiptir. Nükleer reaksiyonların enerji bağımlılığı iyi anlaşılmadığında, çok çeşitli enerjiler için tesir kesitlerinin ve emisyon modellerinin araştırılması gerekmektedir. Çekirdeklerin tesir kesitleri ve parçacık emisyon spektrumlarını direkt olarak ölçmek her zaman mümkün değildir. Doğrudan ölçülemeyen tesir kesiti hesapları daha önceden teorik hesaplanarak bu konu hakkında işlem yapmak isteyenler için kullanılır [5-41].

Bu çalışmada mono-enerjetik protonlarla bombardıman edilen, 209-Bi (²⁰⁹Bi) izotopunun parçacık yayınlanma spektrumlarına direkt, bileşik çekirdek, ve denge-öncesi reaksiyonlarının etkisi incelenmiştir. Bu çalışma, TALYS 1.95 nükleer reaksiyon kodu kullanılarak yapılmış, elde edilen hesaplamalar Uluslararası Deneysel Nükleer Reaksiyon Data (EXFOR) kütüphanesinden elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılıp yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

TALYS nükleer reaksiyon programı, nükleer modeller kullanarak nükleer reaksiyonların eksiksiz ve doğru bir simülasyonunu sağlamak amacıyla, NRG (Hollanda) ve CEA'da (Fransa) Koning ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş bir bilgisayar kodudur. TALYS, temel bilimsel deneylerin analizi veya uygulamaları için nükleer veri üretmek amacıyla kullanılmaktadır.

TALYS ile yapılan hesaplamalarda optiksel modeller, seviye yoğunluğu modelleri, fisyon reaksiyon modelleri, direkt reaksiyon modelleri, bileşik çekirdek reaksiyon modelleri ve denge-öncesi reaksiyon modelleri gibi çeşitli modeller kullanılabilir. Bu modellere bağlı olarak; yayınlanma spektrumu, toplam ve kısmi tesir kesiti, açrya

bağlı çift katlı tesir kesiti, elastik ve inelastik saçılma tesir kesiti, gama ve fisyon yayınlanma tesir kesiti, üretim tesir kesitleri, radyoizotop üretimi hesaplanabilir. Ayrıca bolluk oranları analizi, yarıömür, astrofizik reaksiyon hızları, reaksiyonlar üzerine seviye yoğunluğu parametrelerinin etkisi açığa bağlı yayınlanma spektrumu gibi birçok hesaplamalar TALYS ile yapılabilir [42].

Bu çalışmada, 10,14, 11,2 ve 90 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun nötron, proton, döteryum ve trityum yayınlanma spektrumları TALYS 1.95 kodu ile incelenmiştir. Hesaplamalarda, bileşik çekirdek, direkt ve denge-öncesi reaksiyonların katkıları tek tek hesaplanmış ve toplam spektrum elde edilmiştir. Hesaplamalarda TALYS 1.95 kodunda seviye yoğunluğu olarak Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli kullanılmıştır [43]. Denge-öncesi katkısı; İki Bileşenli Eksiton Modelle [44], bileşik çekirdek reaksiyonu ise Hauser-Feshbach Modeli ile hesaplanmıştır [45]. Çalışmadaki sonuçlar, EXFOR kütüphanesinden alınan sonuçlar ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir [46].

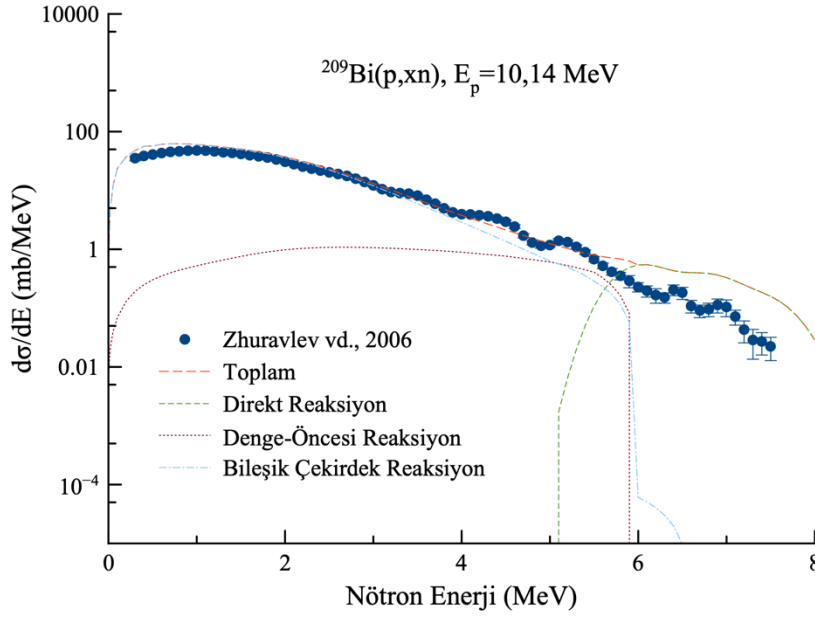
3. Bulgular

Bu çalışmada, ^{209}Bi izotopunun mono-enerjetik protonlarla bombardımanı sonrasında çıkan parçacıkların enerji spektrumları incelenmiştir. İncelenen enerji aralığında meydana gelebilecek bazı reaksiyonların Q değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

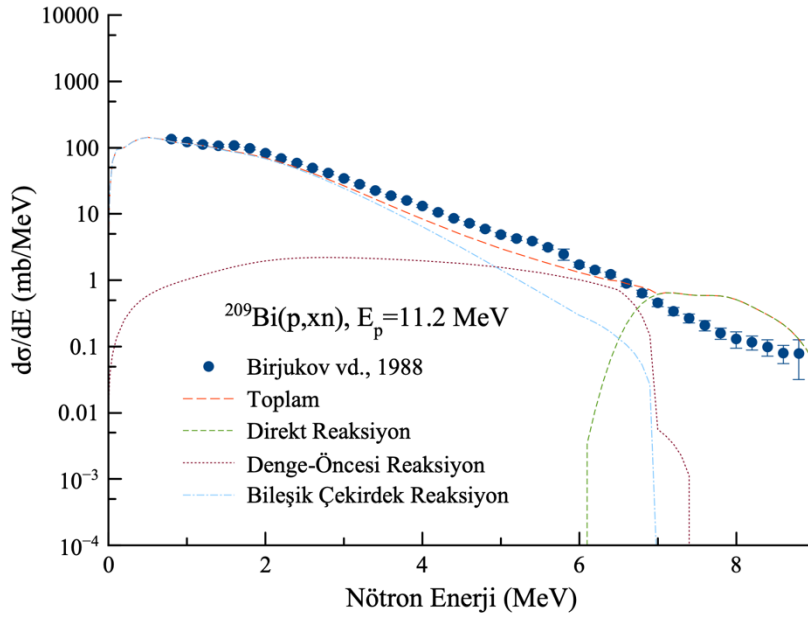
Tablo 1. Reaksiyonların Q Değerleri

Reaksiyonlar	(p,n)	(p,2n)	(p,3n)	(p,4n)	(p,d)	(p,2d)	(p,2p)	(p,3p)	(p,4p)	(p,xt)
Q Değeri (MeV)	-2.675	-9.643	-18.038	-25.070	-5.235	-13.466	-3.800	-11.802	-19.180	-5.865

Şekil 1’de 10,14 MeV protonlarla oluşturulan $^{209}\text{Bi}(p,xn)$ reaksiyon hesaplamalarının Zhuravlev vd. 2006 [47] deneysel verileriyle karşılaştırılması gösterilmiştir. Sonuca bakıldığında genel olarak hesaplamaları deneysel verilerle uyumlu bulunmuştur. Şekil 1.’de bileşik çekirdek reaksiyonunun 5 MeV nötron yayınlanma enerjisine kadar baskın olduğu gözlenmiştir. Direkt reaksiyon katkısı ise 5 MeV nötron yayınlanma enerjisinden sonra ortaya çıkmıştır. Denge-öncesi reaksiyonu ise 5 MeV nötron yayınlanma enerjisine kadar, reaksiyona katkı sağlamış, direkt reaksiyon mekanizmasının baskın hale gelmesiyle etkisini yitirmiştir.

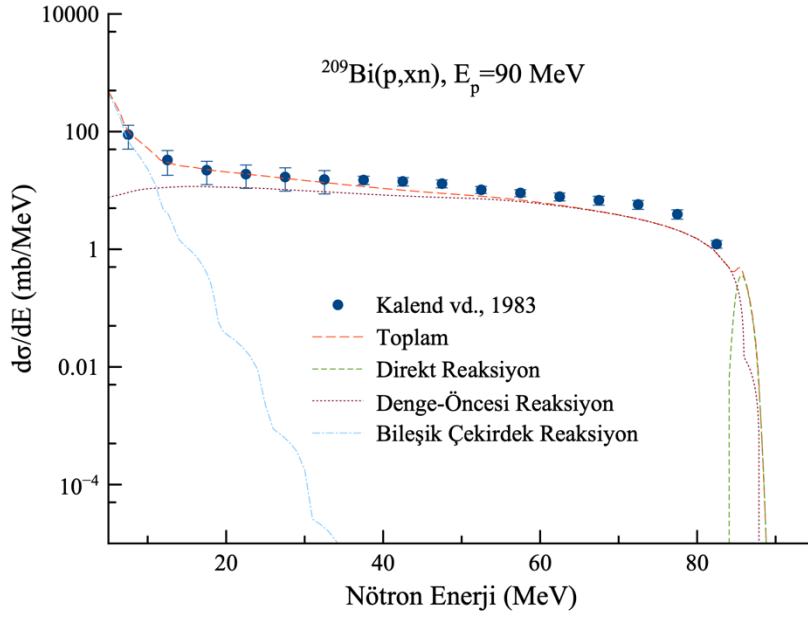


Şekil 1. 10,14 MeV protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun nötron yayınlama spektrum hesaplamaları



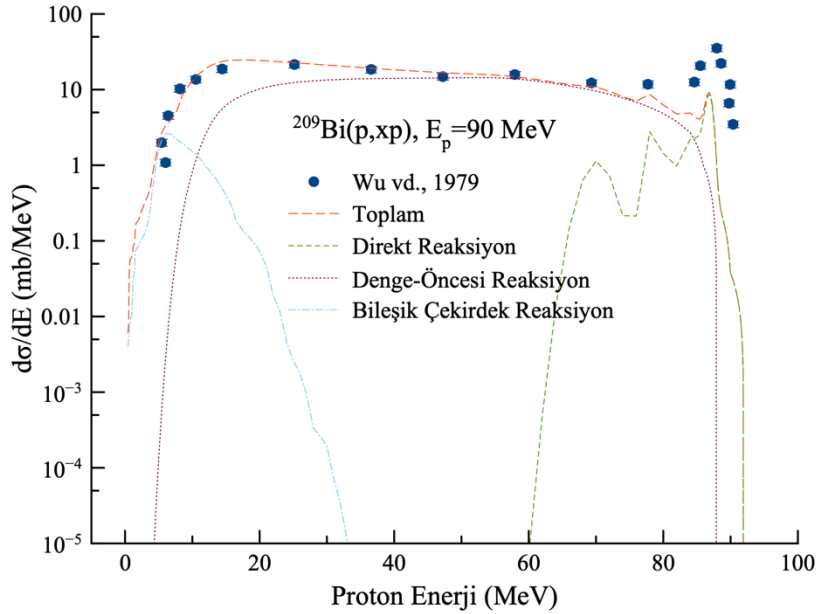
Şekil 2. 11,2 MeV protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun nötron yayınlama spektrum hesaplamaları

11,2 MeV protonlarla oluşturulan $^{209}\text{Bi}(p,xn)$ reaksiyon hesaplamalarının deneysel verilerle [48] karşılaştırılması Şekil 2.'de verilmiştir. Tüm reaksiyon mekanizmalarının toplam katkısı deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 2'de bileşik çekirdek reaksiyonu yaklaşık 4 MeV nötron enerjisine kadar deneysel verilerle uyum göstermiştir. Denge-öncesi mekanizması 7,5 MeV nötron yayınlama enerjisine kadar reaksiyona katkıda bulunmuştur. Direkt reaksiyon 6 MeV nötron enerjisinden sonra reaksiyona katkı sağlamış ve baskın etkileşim olmuştur.



Şekil 3. 90 MeV protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun nötron yayınlanma spektrum hesaplamaları

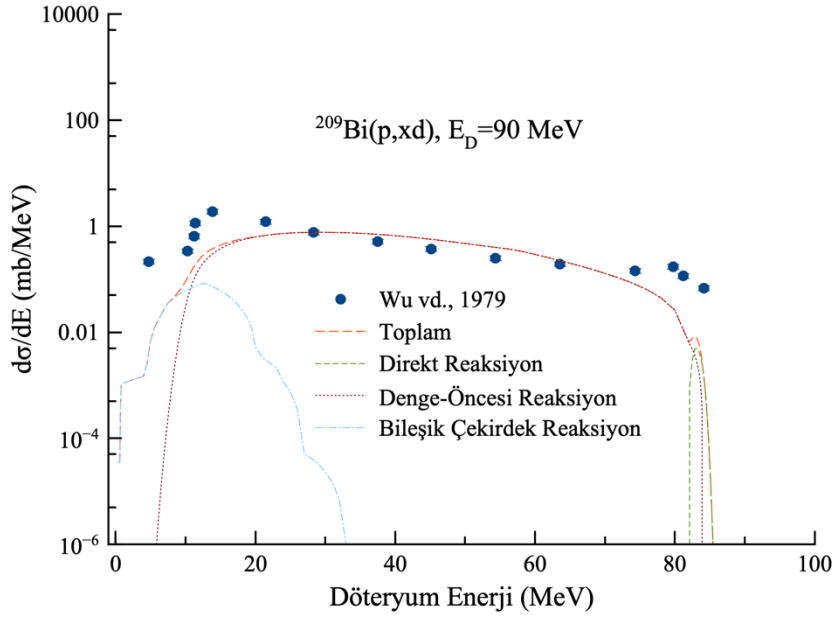
Şekil 3'te 90 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun nötron yayınlanma spektrum hesaplamalarının deneysel verilerle [49] karşılaştırılması verilmiştir. Tüm reaksiyon mekanizmalarının toplamının deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 3'te bileşik çekirdek mekanizması yaklaşık 10 MeV nötron enerjisinden sonra etkisini yitirmiştir. Denge-öncesi reaksiyon mekanizmasının 80 MeV nötron enerjisine kadar baskın etkileşim olduğu görülmüştür. Direkt reaksiyon etkisi 80 MeV nötron enerjisinden sonra ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4. 90 MeV protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun proton yayınlanma spektrum hesaplamaları

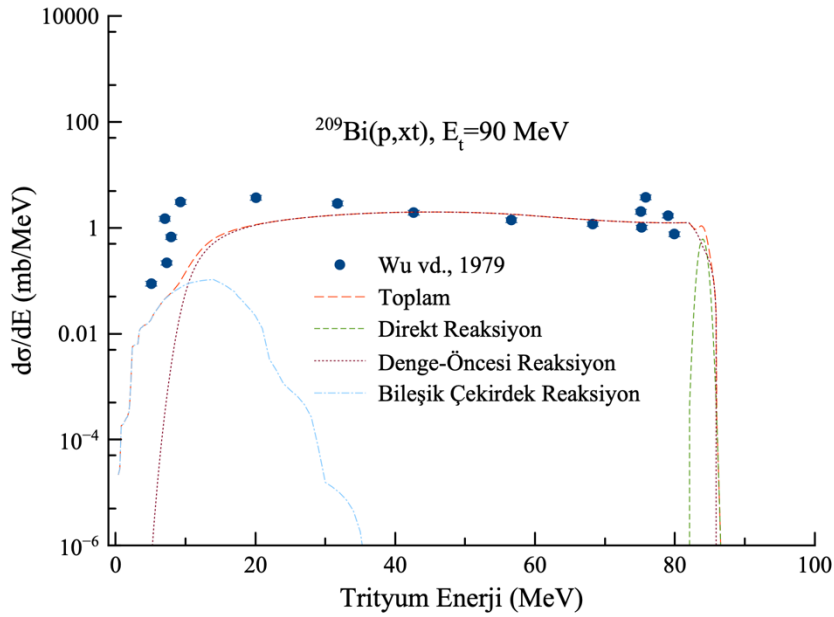
90 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun proton yayınlanma spektrum hesaplamaları Şekil 4'de verilmiştir. Bileşik çekirdek mekanizmasına ait katkının 10 MeV proton enerjisinden sonra etkisini yitirdiği görülmektedir. Denge-öncesi reaksiyon mekanizması 20-60 MeV proton enerji aralığında reaksiyondaki tek etkileşim

mekanizmasıdır. Direkt reaksiyon etkisi 60 MeV enerjiden sonra görülmüş ve 80 MeV enerjiden daha sonra baskın etkileşim olmuştur. Deneysel olarak elde edilen verilerde de [50] 80 MeV enerjisinden sonra direkt reaksiyon pikleri görülmüştür.



Şekil 5. 90 MeV protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun döteryum yayınlanma spektrum hesaplamaları

90 MeV protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun döteryum yayınlanma spektrum hesaplamalarının Wu ve arkadaşlarının [50] deneysel sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 5.'de verilmiştir. Bileşik çekirdek reaksiyonu 10 MeV döteryum yayınlanma enerjisine kadar reaksiyona katkı vermiş, 10 MeV'den sonra baskın etkileşim denge-öncesi reaksiyon mekanizması olmuştur. Direkt reaksiyonun 80 MeV döteryum yayınlanma enerjisinden sonra olduğu görülmektedir.



Şekil 6. 90 MeV protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun trityum yayınlanma spektrum hesaplamaları

Şekil 6'da 90 MeV enerjili protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun trityum yayınlanma spektrum hesaplamalarının deneysel verilerle [50] karşılaştırılması verilmiştir. Bileşik çekirdek reaksiyonu 15 MeV trityum enerjisine kadar gözlenmiştir.

Denge-öncesi reaksiyonun ise 15 MeV-80 MeV trityum enerji aralığında gerçekleşmiş olduğu gözlenmiştir. Direkt reaksiyonun 85 MeV trityum yayınlanma enerjisinden sonra oluştuğu görülmektedir.

4. Sonuç ve Yorum

Bu çalışmada mono-enerjetik protonlarla bombardıman edilen ^{209}Bi izotopunun (p,xn), (p,xp), (p,xd) ve (p,xt) reaksiyonlarına bileşik çekirdek, denge-öncesi ve direkt reaksiyon mekanizmalarının etkisi incelenmiş ve reaksiyonların enerji (Q) değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1). Hesaplamalar, TALYS 1.95 kodu ile kullanılarak yapılmış, sonuçlar EXFOR kütüphanesinden elde edilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Genel olarak incelenen, bileşik çekirdek, denge-öncesi ve direkt reaksiyon mekanizmalarının toplamının deneysel verilerle uyum sağladığı gözlenmiştir. Bileşik çekirdek reaksiyonunun, reaksiyon sonrasında yayınlanan parçacık enerjisinin düşük olduğu enerjilerde meydana geldiği gözlenmiştir. Direkt reaksiyon ise, bileşik çekirdek reaksiyonunun aksine, yayınlanan parçacık enerjisinin yüksek olduğu enerjilerde gözlenmiştir. Direkt reaksiyon mekanizmasında $d\sigma/dE$ – Enerji grafiğinde, pikler meydana gelmiştir. Denge-öncesi reaksiyon ise, bileşik çekirdek reaksiyonunun etkisini yitirmesiyle baskın mekanizma olarak gözlenmiş ve direkt reaksiyon meydana gelinceye kadar toplam tesir kesitine daha fazla katkı sağlamıştır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Hasan Özdoğan: Araştırma, Biçimsel Analiz, Veri İyileştirme, Orijinal Taslak Yazımı.
Yiğit Ali Üncü: Araştırma, Doğrulama, İnceleme ve Düzenleme, Orijinal Taslak Yazımı

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir destek ve teşekkür beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Çatışma Beyanı

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir çatışma beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Etik Kurul Onayı ve/veya Aydınlatılmış Onam Bilgileri

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir etik kurul onayı ve/veya aydınlatılmış onam bilgileri beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Kaynakça

- [1] K. S. Krane, *Nükleer Fizik-II*. Çev. Şarer, B., Palme Yayıncılık, Ankara. 2002, 460s.
- [2] N. Bohr, "Neutron capture and nuclear constitution", *Nature*, 137, 344–348, 1936.
- [3] E. Gadioli and P.E. Hodgson, *Pre-Equilibrium Nuclear Reactions*, Oxford University Press, New York, 199., 518s.
- [4] A. J. Koning and J.M. Akkermans, "Pre-equilibrium nuclear reactions: An introduction to classical and quantum-mechanical mod," 1998 Erişim Tarihi:13.10.2022. ftp://ftp.nrg.eu/pub/www/talys/bib_koning/1998_Koning_preeq_ICTP.pdf.
- [5] A. Aydın, H. Pekdoğan, A. Kaplan, İ. H. Sarpün, E. Tel, B. Demir, 2015. Comparison of Level Density Models for the 60,61,62,64Ni(p,n) Reactions of Structural Fusion Material Nickel from Threshold to 30 MeV. *J. Fusion Energ.*, 34 (5), 1105-1108.
- [6] H. Özdoğan, M. Şekerci, İ. H. Sarpün, and A. Kaplan, "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, 2018.

- [7] H. Özdoğan, Y. A. Üncü, M. Şekerci, and A. Kaplan, "Estimations of level density parameters by using artificial neural network for phenomenological level density models," *Appl. Radiat. Isot.*, 169, 109583, 2021.
- [8] O. Karaman, H. Özdoğan, Y. A. Üncü, C. Karaman, and A. G. Tanır, "Investigation of the effects of different composite materials on neutron contamination caused by medical LINAC," *Kerntechnik*, 85, 401-407, 2020.
- [9] M. Şekerci, H. Özdoğan, and A. Kaplan, "Level density model effects on the production cross section calculations of some medical isotopes via (α , xn) reactions where $x=1-3$," *Mod. Phys. Lett. A*, 35, 2050202, 2020.
- [10] H. Özdoğan, Y. A. Üncü, O. Karaman, M. Şekerci, and A. Kaplan, "Estimations of giant dipole resonance parameters using artificial neural network," *Appl. Radiat. Isotopes*, 169, 109581, 2021.
- [11] H. Özdoğan, İ. H. Sarpün, M. Şekerci, and A. Kaplan, "Production cross-section calculations of ^{111}In via proton and alpha-induced nuclear reactions," *Mod. Phys. Lett. A*, 36 (8), 2150051, 2021.
- [12] H. Özdoğan, M. Şekerci, and A. Kaplan, "An investigation on the effects of some theoretical models in the cross-section calculations of $^{50,52,53,54}\text{Cr}(a,x)$ reaction," *Phys. Atom. Nuclei.*, 83, 820-827, 2020.
- [13] M. Şekerci, H. Özdoğan, and A. Kaplan, "Astrophysical s-factor calculations under the effects of gamma-ray strength functions for some alpha capture reactions," *Mosc. Univ. Phys. Bull.*, 75, 585-589, 2020.
- [14] H. Özdoğan, M. Şekerci, and A. Kaplan, "Photo-neutron cross-section calculations of $^{54,56}\text{Fe}$, $^{90,91,92,94}\text{Zr}$, ^{93}Nb and ^{107}Ag Isotopes with newly obtained giant dipole resonance parameters," *Appl. Radiat. Isotopes*, 165, 109356, 2020.
- [15] M. Şekerci, "An investigation of the effects of level density models and alpha optical model potentials on the cross-section calculations for the production of the radionuclides ^{62}Cu , ^{67}Ga , ^{86}Y and ^{89}Zr via some alpha induced reactions," *Radiochim. Acta*, 108 (6), 459-467, 2020.
- [16] M. Şekerci, "Theoretical cross-section calculations for the (a, n) and (a, 2n) reactions on ^{46}Ti , ^{50}Cr , ^{54}Fe , and ^{93}Nb Isotopes," *Mosc. Univ. Phys. Bull.*, 75, 123-132, 2020.
- [17] M. Şekerci, H. Özdoğan, and A. Kaplan, "An investigation of effects of level density models and gamma ray strength functions on cross-section calculations for the production of ^{90}Y , ^{153}Sm , ^{169}Er , ^{177}Lu and ^{186}Re therapeutic radioisotopes via (n,g) reactions," *Radiochim. Acta*, 108 (1), 11-17, 2020.
- [18] H. Özdoğan, M. Şekerci, and A. Kaplan, "Investigation of gamma strength functions and level density models effects on photon induced reaction cross-section calculations for the fusion structural materials $^{46,50}\text{Ti}$, ^{51}V , ^{58}Ni and ^{63}Cu ," *Appl. Radiat. Isotopes*, 143, 6-10, 2019.
- [19] H. Özdoğan, M. Şekerci, and A. Kaplan, "A new developed semi-empirical formula for the (a,p) reaction cross-section at 19 ± 1 MeV," *Mod. Phys. Lett. A*, 34 (6), 1950044, 2019.
- [20] M. Şekerci, H. Özdoğan, and A. Kaplan, "Investigation on the different production routes of ^{67}Ga radioisotope by using different level density models," *Mosc. Univ. Phys. Bull.*, 74, 277-281, 2019.
- [21] H. Özdoğan, M. Şekerci, and A. Kaplan, "S-Factor Analysis of Proton Capture Reactions on $^{112,114,116,119}\text{Sn}$ and $^{113,115}\text{In}$ Isotopes," *Phys. Atom. Nuclei*, 82, 324-329, 2019.
- [22] M. Şekerci, H. Özdoğan, and A. Kaplan, "75-77Br radyoizotoplarının üretim tesir kesiti hesaplamalarında bazı seviye yoğunluğu modellerinin etkilerinin incelenmesi," *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (2), 719-729, 2020.
- [23] M. Şekerci, "Gamma kuvvet fonksiyonlarının bazı samaryum izotoplarının (g,n) ve (g,2n) reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamaları üzerindeki etkileri," *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (2), 643-654, 2020.
- [24] A. Kaplan, M. Şekerci, H. Özdoğan, and B. Demir, "A study on the calculations of cross-sections for $^{66,67}\text{Ga}$ and ^{75}Se radionuclides production reactions via ^3He particles," *ESTUJST-A*, 21 (4), 554-561, 2020.
- [25] M. Şekerci, H. Özdoğan, and A. Kaplan, "Charged particle penetration distance and mass stopping power calculations on some nuclear reactor control rod materials," *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2), 1103-1115, 2019.
- [26] M. Şekerci, "Bazı medikal radyoizotopların (a,xn) reaksiyonlarıyla üretim tesir kesiti hesaplamalarında seviye yoğunluğu modellerinin etkilerinin incelenmesi," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (4), 2035-2047, 2019.
- [27] H. Özdoğan, M. Şekerci, and A. Kaplan, "Füzyon reaktörü yapısal malzemelerinde kullanılan bazı elementler için proton girişli reaksiyonlarda ^3He yayınlanma spektrumlarının incelenmesi," *SDÜFEFFD*, 13 (1), 12-18, 2018.
- [28] M. Şekerci and A. Kaplan, " $^{151,153}\text{Eu}$ izotoplarında (p,n) ve (p,3n) reaksiyonları için tesir kesiti hesaplamaları ve seviye yoğunluğu modellerinin incelenmesi," *SDÜFEFFD*, 13(2), 132-143, 2018.
- [29] A. Nikjou, M. Sadeghi, M. Sharifian, and R. Baghbani, "Nuclear model calculations on the production of auger electron emitter ^{111}In : As a theranostic radionuclide," *Appl. Radiat. Isotopes*, 166, 109354, 2020.

- [30] A. Jafari, M. R. Aboudzadeh, M. Sharifian, M. Sadeghi, A. Rahiminezhad, B. Alirezapour, and S. Rajabifar, "Cyclotron-based production of the theranostic radionuclide scandium-47 from titanium target," *Nucl. Instrum. Meth. A.*, 961, 163643, 2020.
- [31] A. Nikjou and M. Sadeghi, "Overview and evaluation of different nuclear level density models for the ^{123}I radionuclide production," *Appl. Radiat. Isotopes*, 136, 45-58, 2018.
- [32] M. Sadeghi, T. Kakavand, L. Mokhtari, and Z. Gholamzadeh, "Determination of ^{68}Ga production parameters by different reactions using ALICE and TALYS codes," *Pramana - J Phys.*, 72, 335-341 2009.
- [33] P.V. Cuong, T.D. Thiep, L.T. Anh, T.T. An, B.M. Hue, K.T. Thanh, N.H. Tan, N.T. Vinh, and T.T. Anh, "Theoretical calculation by Talys code in combination with Geant4 simulation for consideration of γ, n reactions of Eu isotopes in the giant dipole resonance region," *Nucl. Instrum. Meth. A.*, 479, 68-73, 2020.
- [34] M. Yiğit, "Study on (n,p) reactions of $^{58,60,61,62,64}\text{Ni}$ using new developed empirical formulas," *Nucl. Eng.*, 52, 791-796, 2020.
- [35] Ö. Sönmez and O. Karaman, "Investigation of level density parameter dependence for some ^{233}U , ^{235}U , ^{237}U , ^{239}U , ^{249}Cf , ^{251}Cf , ^{237}Pu and ^{247}Cm nuclei in neutron fission cross sections with the incident energy up to 20 MeV," *Kerntechnik*, 86, 78-85, 2021.
- [36] R. Santra, B. Dey, S. Roy, Md.S.R. Laskar, R. Palit, H. Pai, S. Rajbanshi, S. Ali, S. Bhattacharjee, F.S. Babra, A. Mukherjee, S. Jadhav, B. S. Naidu, A. T. Vazhappilly, and S. Pal, "Nuclear level density of ^{69}Zn from gamma gated particle spectrum and its implication on $^{68}\text{Zn}(n, \gamma)^{69}\text{Zn}$ capture cross section," *Phys. Lett.*, 806, 145487, 2020.
- [37] B. Canbula, "55Mn İzotopunun fotonükleer tesir kesitleri üzerinde kollektif nükleer seviye yoğunluğunun etkisi," *SDÜ Fen Bil. Enst. Der.*, 24, 138-142, 2020.
- [38] B. Canbula, "Bazı tellür izotoplarının nötron yakalama tesir kesiti analizi," *Celal Bayar University Journal of Science*, 13, 445-455, 2017.
- [39] C. Yalçın, "İnce katman aktivasyon yöntemi için $^{48}\text{Ti}(\alpha, n)^{51}\text{Cr}$ reaksiyon tesir kesiti hesabı," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 432-439, 2017.
- [40] D. Canbula, "Cross section analysis of proton-induced nuclear reactions of thorium," *Nucl. Instrum. Meth. A.*, 478, 229-232, 2020.
- [41] J. Luo and L. Jiang, "Activation cross-sections for the $^{185}\text{Re}(n, 2n)$ reaction and the isomeric cross-section ratio of $^{184\text{m,g}}\text{Re}$ in the neutron energy range of 13-15 MeV," *Eur. Phys. J. A.*, 55, 27, 2019.
- [42] A. Koning, S. Hilaire, and S. Goriely, TALYS 1.95 Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), The Netherlands, 2019.
- [43] A.V. Ignatyuk, K.K. Istekov, G.N. Smirenkin, "The role of collective effects in the systematics of nuclear level densities," *Yad. Fiz.*, 29, 875-883, 1979.
- [44] C. Kalbach, "Two-component exciton model: basic formalism away from shell closures," *Phys. Rev. C*, 33 (3), 818-833.
- [45] W. Hauser and H. Feshbach, "The inelastic scattering of neutrons," *Phys. Rev.*, 87, 366, 1952.
- [46] EXFOR, (Experimental Nuclear Reaction Data File), Brookhaven National Laboratory, National Nuclear Data Center, Database Version of 2020-03-02.
- [47] B.V. Zhuravlev, A.A. Lychagin, N.N. Titarenko, "Nuclear-level densities around $Z = 50$ from neutron evaporation spectra in (p, n) reactions," *Phys. Atom. Nuclei*, 69, 363-370, 2006.
- [48] N.S. Birjukov, B.V. Zhuravlev, A.P. Rudenko, V.I. Trykova, "Neutron spectra and angular distributions from the (p,n) reaction on ^{165}Ho , ^{197}Ta , ^{197}Au , ^{209}Bi nuclei at $E(p)=11.2$ MeV," *Phys. Ser.*, 52, 166, 1988.
- [49] A. M. Kalend, B. D. Anderson, A. R. Baldwin, R. Madey, J. W. Watson, C. C. Chang, H. D. Holmgren, R. W. Koontz, J. R. Wu, and H. Machner, "Energy and angular distributions of neutrons from 90 MeV proton and 140 MeV alpha-particle bombardment of nuclei," *Phys. Rev. C*, 28, 105-119, 1983.
- [50] J. R. Wu, C. C. Chang, and H. D. Holmgren, "Charged-particle spectra: 90 MeV protons on ^{27}Al , ^{58}Ni , ^{90}Zr , and ^{209}Bi ," *Phys. Rev. C*, 19, 698-713, 1979.