



^{206,207}Pb(p,xn) Reaksiyonu Tesir Kesiti Hesaplamalarına Seviye Yoğunluğu Modellerinin Etkilerinin İncelenmesi

Hasan ÖZDOĞAN*¹

¹*Antalya Bilim Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, 07190, Antalya, Türkiye

*yazışılan yazar e-posta: hasan.ozdogan@antalya.edu.tr

(Alınış / Received: 22.03.2021, Kabul / Accepted: 21.04.2021, Yayınlanma / Published: 27.05.2021)

Özet: Bu çalışmada ²⁰⁶Pb(p,2n)²⁰⁵Bi, ²⁰⁶Pb(p,3n)²⁰⁴Bi, ²⁰⁶Pb(p,5n)²⁰²Bi, ²⁰⁷Pb(p,2n)²⁰⁶Bi ve ²⁰⁷Pb(p,3n)²⁰⁵Bi reaksiyon tesir kesitleri TALYS 1.95 kodu ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar için Geometri Bağımlı Hibrit Model TALYS 1.95 içerisine gömülmüş ve denge-öncesi model olarak kullanılmıştır. Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Model (Constant Temperature Fermi Gas Model-CTFGM), Geri Kaydırmalı Fermi Gaz Model (Back Shifted Fermi Gas Model-BSFGM) ve Genelleştirilmiş Süper Akışkan Modelleri (Generalised Super Fluid Model-GSM) seviye yoğunluğu modelleri olarak seçilmiştir. Hesaplanan tesir kesitleri literatürden alınan deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Seviye yoğunluğu modellerinin reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları üzerine etkisini araştırmak için, BSFGM ve GSM tesir kesiti hesaplamaları, CTFGM hesaplamalarına normalize edilmiştir. Sonuç olarak; seviye yoğunluğu modellerinin bu çalışmada incelenen tesir kesiti hesaplamaları üzerinde %40 oranında etkili olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Tesir kesiti, Geometri Bağımlı Hibrit Model, Seviye yoğunluğu modelleri, TALYS 1.95

Investigation of Level Density Models Effects on ^{206,207}Pb(p,xn) Reaction Cross Sections

Abstract: In this study ²⁰⁶Pb(p,2n)²⁰⁵Bi, ²⁰⁶Pb(p,3n)²⁰⁴Bi, ²⁰⁶Pb(p,5n)²⁰²Bi, ²⁰⁷Pb(p,2n)²⁰⁶Bi and ²⁰⁷Pb(p,3n)²⁰⁵Bi reaction cross sections have been calculated with TALYS 1.95 code. Geometry Dependent Hybrid Model has been implemented on TALYS 1.95 code and it has selected as pre-equilibrium model. Constant Temperature Fermi Gas Model (CTFGM), Back Shifted Fermi Gas Model (BSFGM) and Generalised Super Fluid Model (GSM) have been used for level density model. Obtained results have been compared with the experimental data taken from literature. BSFGM and GSM results have been normalized to CTFGM to investigate level density model effects on reaction cross section calculations. Consequently it has been found that, level density models have an effect of 40% on the cross section calculations investigated in this study.

Key words: Cross section, Geometry Dependent Hybrid Model, Level density models, TALYS 1.95

1. Giriş

Denge-öncesi nükleer reaksiyon mekanizmasında parçacıklar; iki nükleer sistemin çarpışarak bir bileşik sistem oluşturmasıyla, bu sistemin tam bir termal veya istatistik dengeye ulaşması arasında geçen süre içerisinde yayınlanırlar [1]. Reaksiyon süreleri direkt reaksiyonlar ile bileşik çekirdek reaksiyonları arasındadır. Denge-öncesi nükleer reaksiyonlar, özellikle 10 MeV üzeri gelme enerjilerinde baskın rol oynamaktadırlar. Bu yüzden, temel çekirdek fiziği problemlerinin araştırılması için denge-öncesi reaksiyonların tesir kesitlerinin deneysel veya teorik yöntemlerle hesaplanması gerekmektedir.

Denge-öncesi nükleer reaksiyonları genellikle fenomenolojik modeller yardımıyla incelenir [2]. Çekirdekle etkileşen parçacık, enerjisini ilk olarak bir veya iki hedef nükleonuna aktarır. Enerji aktarımı, nükleon-nükleon etkileşimleri vasıtasıyla sürer. Bu süreç, seri aşaması olarak ele alınabilir. Fenomenolojik modeller parçacık-deşik çiftlerinin adım adım oluşturulmasını ve yok oluşlarını kapsamaktadır. Parçacık durumu; Fermi enerjisinin üzerinde olan parçacıkları ifade ederken, deşik durumu; Fermi enerjisi altında uyarılan tek parçacığın, uyarıldıktan sonra maksimum Fermi enerjisi seviyesi üzerine geçişi sebebiyle oluşan ayrılmış nükleon durumuna karşılık gelmektedir. Bu modellerde sistemin içerisinde bulunduğu durum, p parçacık sayısını h deşik sayısını ifade etmek üzere, iki durumun toplamı olan eksiton sayısı ($n=p+h$) ile ifade edilir. Seri aşamaların her birinde parçacık (denge-öncesi parçacıkları olarak adlandırılır) yayınlanması mümkündür. Uyarılma enerjisi her yeni aşamada aynı biçimde nükleonlar arasında dağıldığından, kimi parçacık yayınlanma olasılığı aşamadan aşamaya düşmektedir. Nihayetinde, bileşik çekirdek istatistiksel denge durumuna gelir. Eğer mümkünse, temel duruma geçinceye kadar parçacık yayınlayabilir. Parçacık gelme enerjisi ne kadar küçük ise, denge-öncesi parçacıkların yayınlanma olasılığı da o kadar küçük olur. Fenomenolojik modellerde zamana bağımlı bir ana denklem nükleer durumun daha kompleks veya daha az karmaşık eksiton durumlarına geçişinin olasılığını hesaplar. Fenomenolojik modellerin en göze çarpan özelliği, eksiton durumları arasındaki geçişlerde enerjinin korunduğunu kabul etmesidir. Denge-öncesi nükleer reaksiyonları açıklamak için; Griffin Eksiton Model, İki Bileşenli Eksiton Model, Hibrit Model, Geometri Bağımlı Hibrit Model (GDH) gibi reaksiyon modelleri önerilmiştir.

TALYS 1.95 [3] nükleer fizikçiler tarafından yaygın bir şekilde kullanılan, deneysel verilerle uyumlu sonuçlar veren bir programdır. TALYS tesir kesiti hesaplamalarında denge öncesi model olarak İki Bileşenli Eksiton Modelini [4] kullanmaktadır. Konobeyev ve arkadaşları Geometri Bağımlı Hibrit (GDH) Modelini [5] TALYS kodu içerisine entegre ederek gerçekleştirdikleri hesaplamaların deneysel verilerle uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [6]. Bu çalışmada, GDH Modeli, TALYS 1.95 içerisine gömülmüş ve $^{206,207}\text{Pb}(p,xn)$ reaksiyon tesir kesitleri GDH modeli ve farklı seviye yoğunluğu yaklaşımları ile hesaplanarak, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

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. İlk geliştirilen

seviye yoğunluğu modeli, Bethe tarafından ortaya konulan Fermi Gaz Modelidir [7]. Bu model, çekirdeğin uyarılmış seviyelerinin eşit aralıklı olduğu ve kolektif seviyelerinin bulunmadığı tek parçacık durumu varsayımına dayanmaktadır. İki fermiyon sistemi; örneğin uyarılmış nötron ve proton arasında ayırım için, toplam Fermi gaz durum yoğunluğu

$$w_F^{tot}(E_x) = \frac{\sqrt{\pi} \exp(2\sqrt{aU})}{12 a^{1/4} U^{5/4}} \quad (1)$$

olarak verilir. Burada, U etkin uyarılma potansiyeli, a ise seviye yoğunluğu parametresidir. Teorik olarak a ,

$$a = \frac{\pi^2}{6} (g_\pi + g_\nu) \quad (2)$$

ifadesi ile verilirken buradaki g_π ve g_ν ; sırasıyla, Fermi enerjisi yakınlarında proton ve nötron tek parçacık durumlarının varlığını göstermektedir. Etkin uyarılma potansiyeli U ise;

$$U = E_x - \Delta \quad (3)$$

formülü ile verilir. E_x uyarılma enerjisi, Δ ise enerji kaymasını ifade eder. Δ ; çekirdek içindeki bilinen tek-çift etkileşimlerini simüle etmek amacıyla dahil edilen eşleme enerjisine bazı modeller için oldukça yakın veya eşit olan ampirik bir parametredir [3].

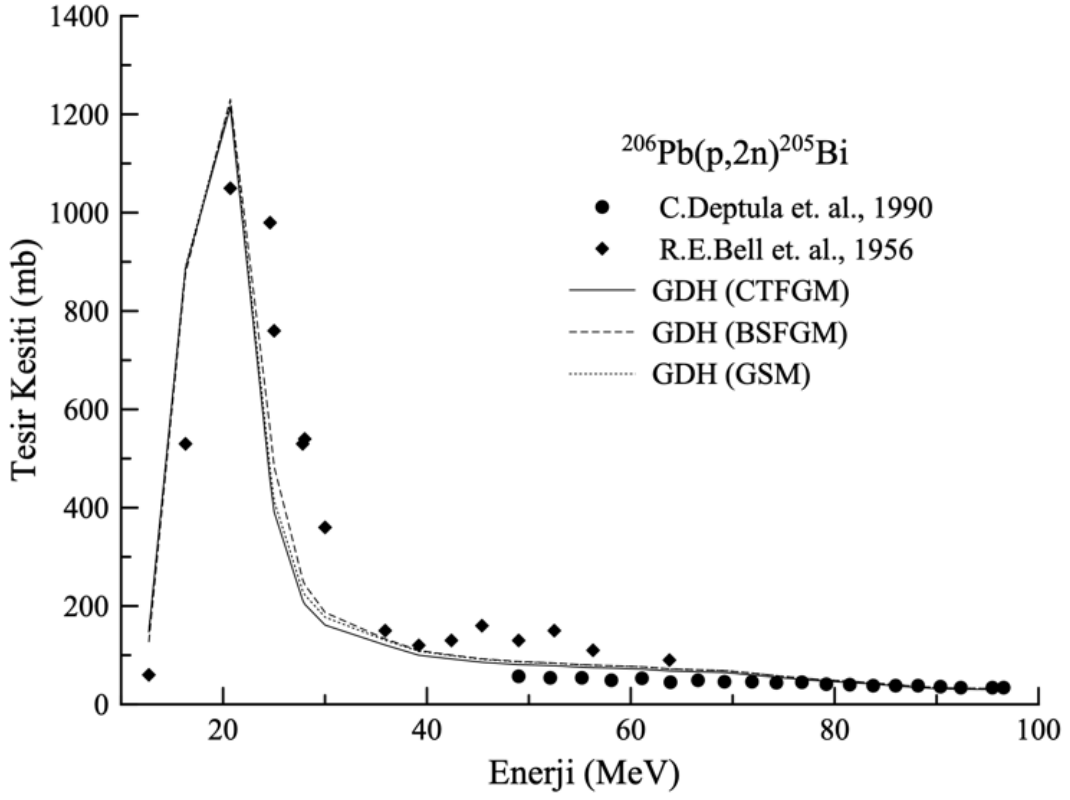
Seviye yoğunluğu için, fermi gaz modelini temel alan birçok model geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Sabit Sıcaklık Fermi Gaz Modeli (Constant Temperature Fermi Gas Model - CTFGM) [8], Geri Kaydırmalı Fermi Gaz Model (Back Shifted Fermi Gas Model - BSFGM) [9] ve Genelleştirilmiş Süper Akışkan Modeli (Generalized Superfluid Model - GSM) [10] bunlardan bazılarıdır. TALYS 1.95 hesaplamalarda, seviye yoğunluğu modeli için ön tanımlı olarak CTFGM'i kullanmaktadır.

Nükleer reaksiyonların doğasının ve bir reaksiyonun gerçekleşme sürecinde meydana gelen etkilerin daha net anlaşılabilmesi için, farklı parametrelerin ve modellerin etkilerinin incelendiği pek çok çalışma literatürde mevcuttur ve bu çalışmalar ile benzeri araştırmalardan da görüleceği üzere seviye yoğunluğu modelleri ile bu modellerdeki çeşitli parametrelerin reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları üzerine göz ardı edilemez etkileri mevcuttur [11-48].

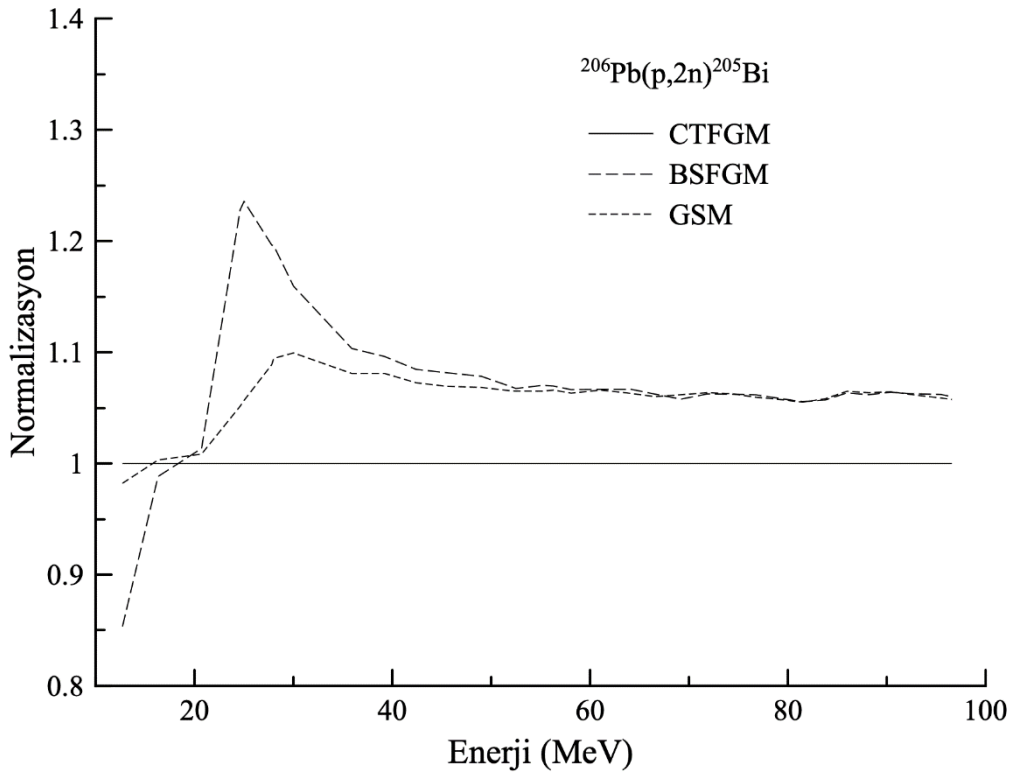
3. Bulgular

Bu çalışmada, $^{206}\text{Pb}(p,2n)^{205}\text{Bi}$, $^{206}\text{Pb}(p,3n)^{204}\text{Bi}$, $^{206}\text{Pb}(p,5n)^{202}\text{Bi}$, $^{207}\text{Pb}(p,2n)^{206}\text{Bi}$ ve $^{207}\text{Pb}(p,3n)^{205}\text{Bi}$ reaksiyon tesir kesitleri CTGM, BSFGM ve GSM kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca; seviye yoğunluğu modellerinin tesir kesiti hesaplamalarındaki etkisini görmek için, hesaplanan tesir kesiti değerleri TALYS 1.95 kodunun ön tanımlı seviye yoğunluğu modeli olan CTFGM'e normalize edilmiştir. Normalize edilmiş tesir

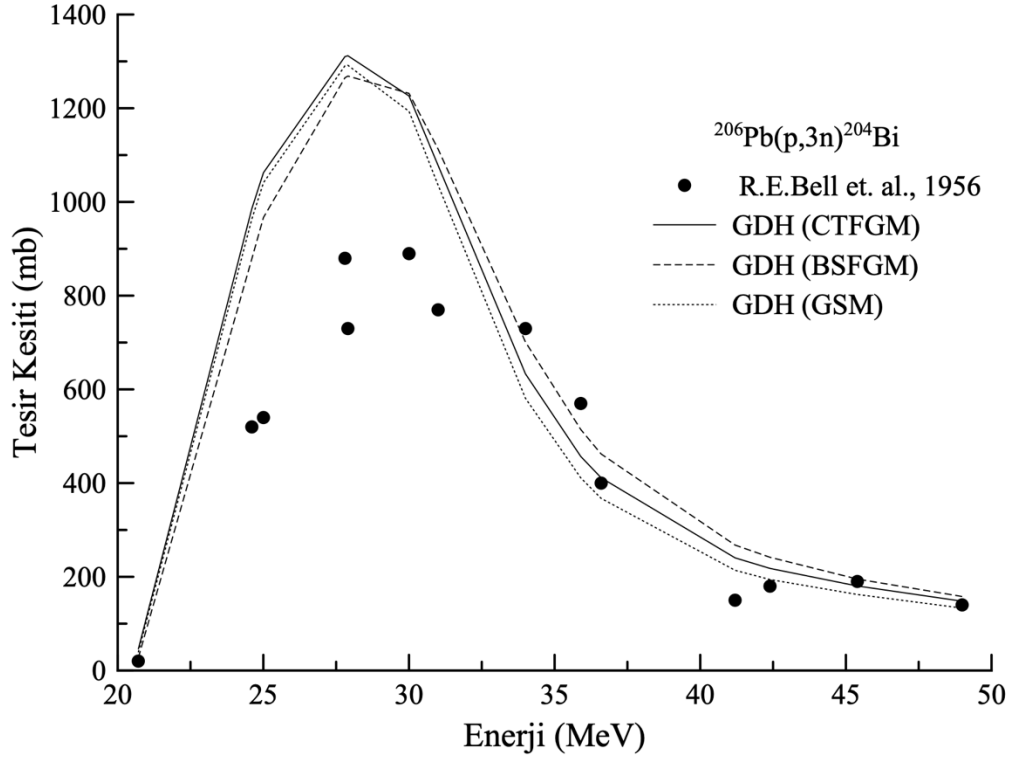
kesitlerinin enerjiye bağılı değişimi ve reaksiyon tesir kesiti hesaplamalarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 1 - 10'da sunulmuştur.



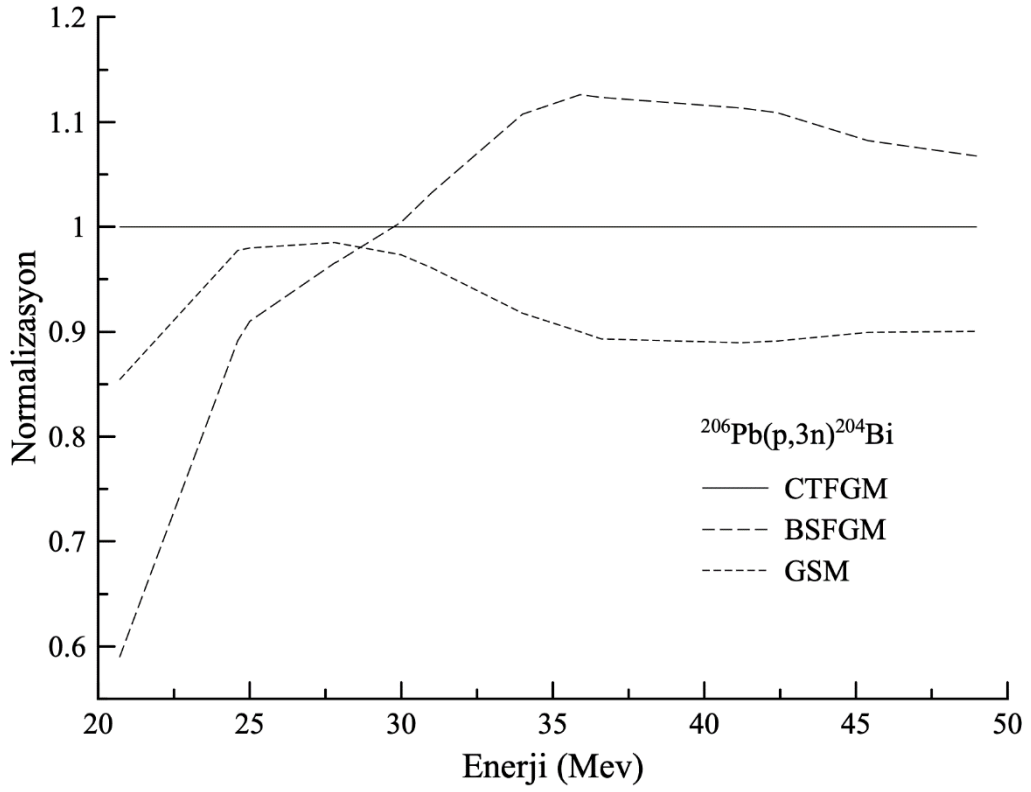
Şekil 1. $^{206}\text{Pb}(p,2n)^{205}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin deneysel verilerle [49,50] karşılaştırılması



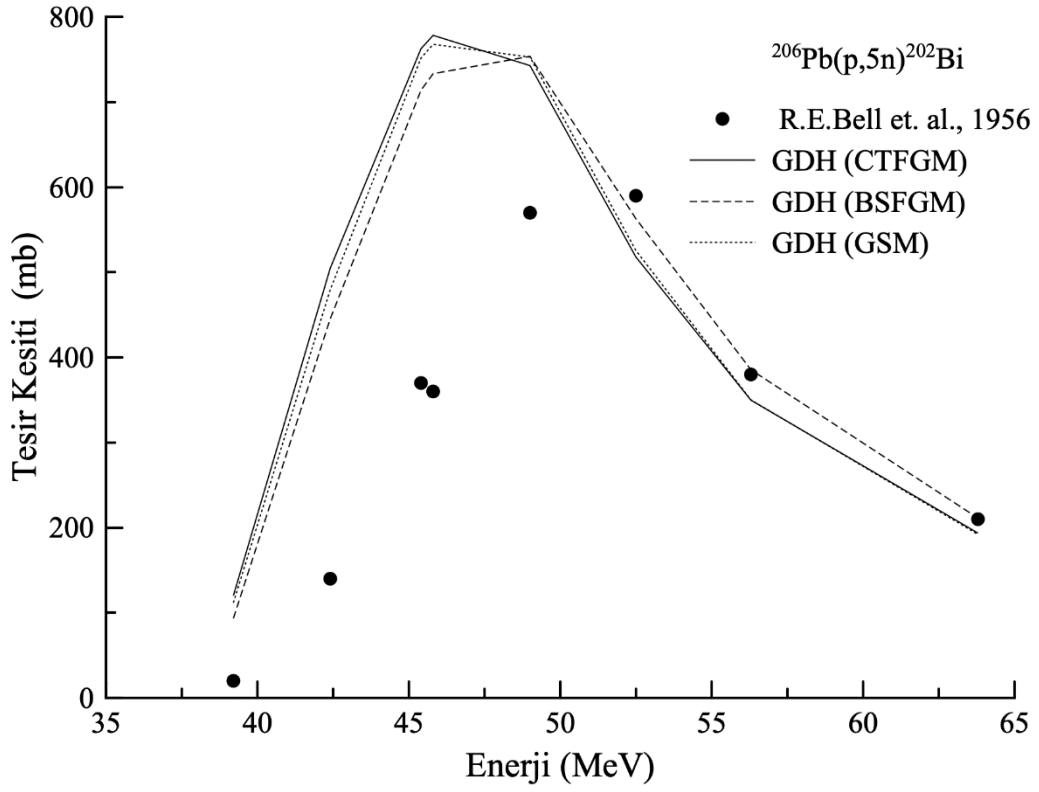
Şekil 2. $^{206}\text{Pb}(p,2n)^{205}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin CTFGM'e normalize edilmesi



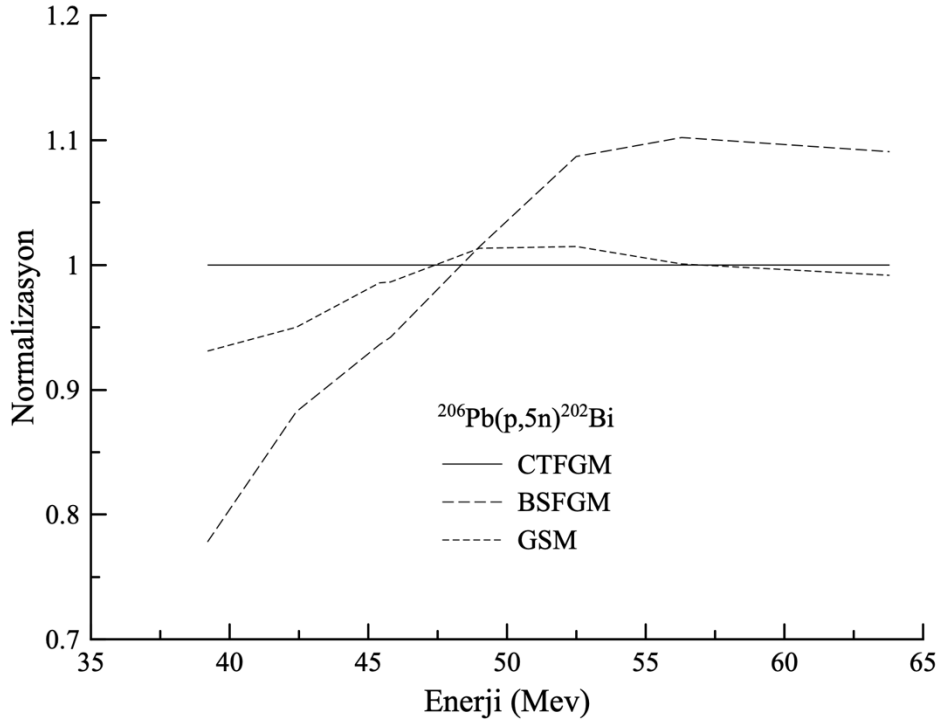
Şekil 3. $^{206}\text{Pb}(p,3n)^{204}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin deneysel verilerle [50] karşılaştırılması



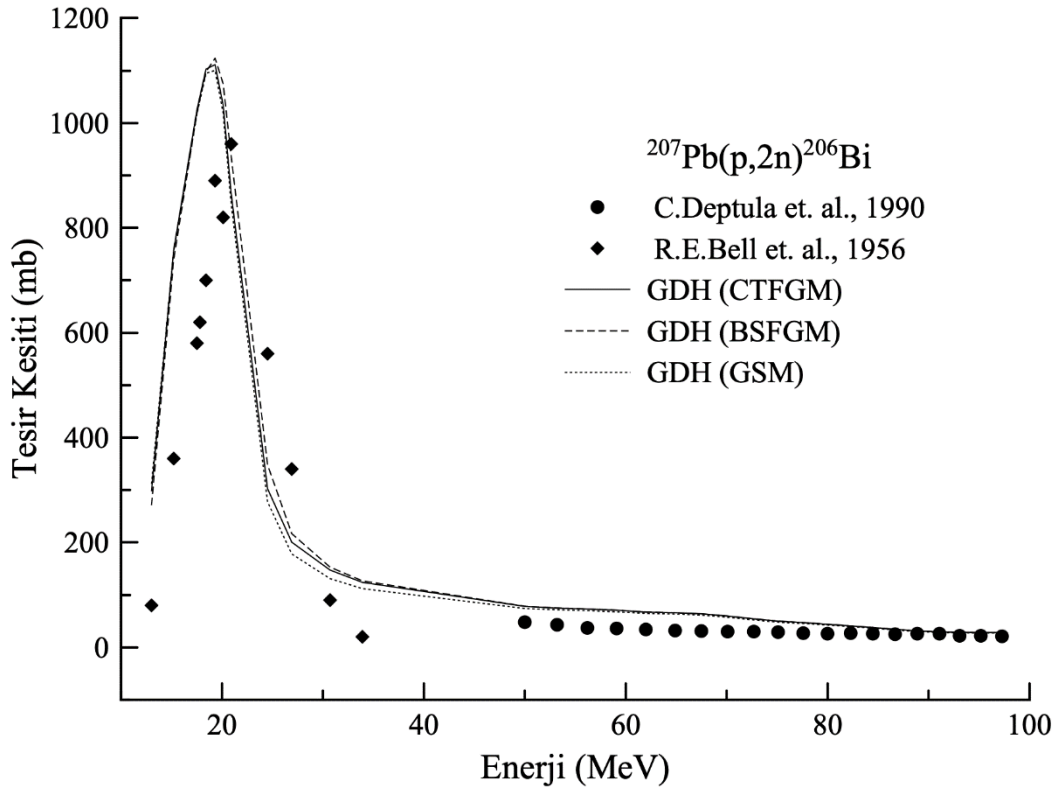
Şekil 4. $^{206}\text{Pb}(p,3n)^{204}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin CTFGM'e normalize edilmesi



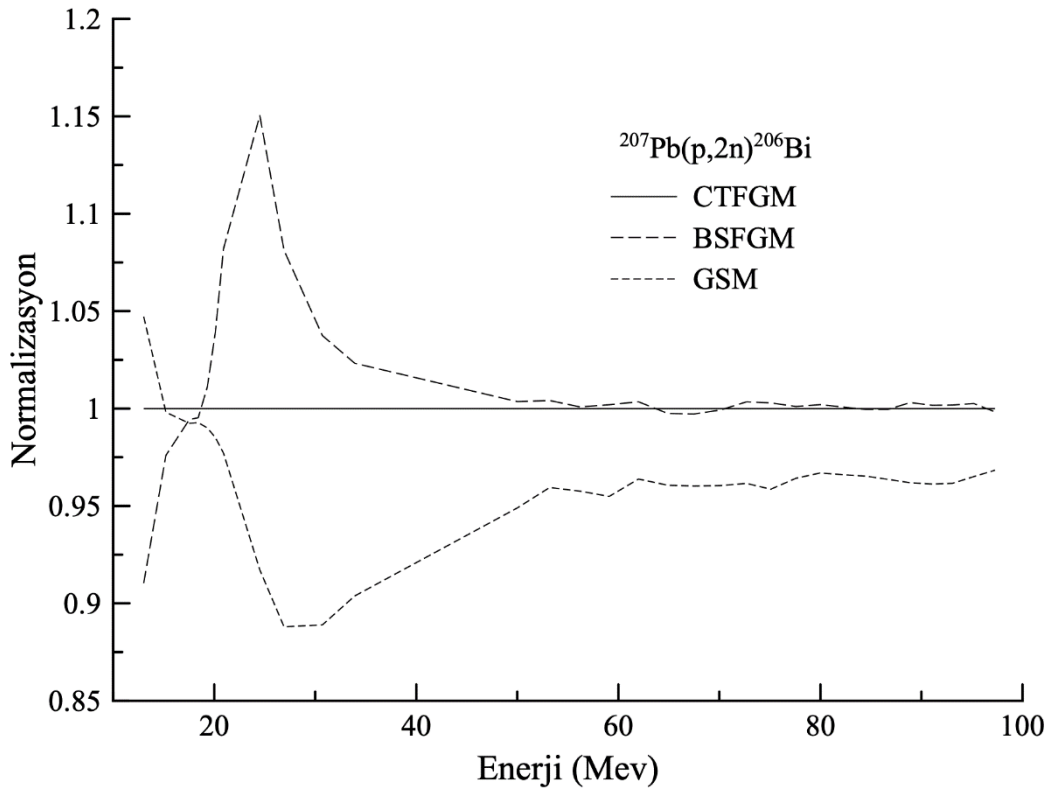
Şekil 5. $^{206}\text{Pb}(p,5n)^{202}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin deneysel verilerle [50] karşılaştırılması



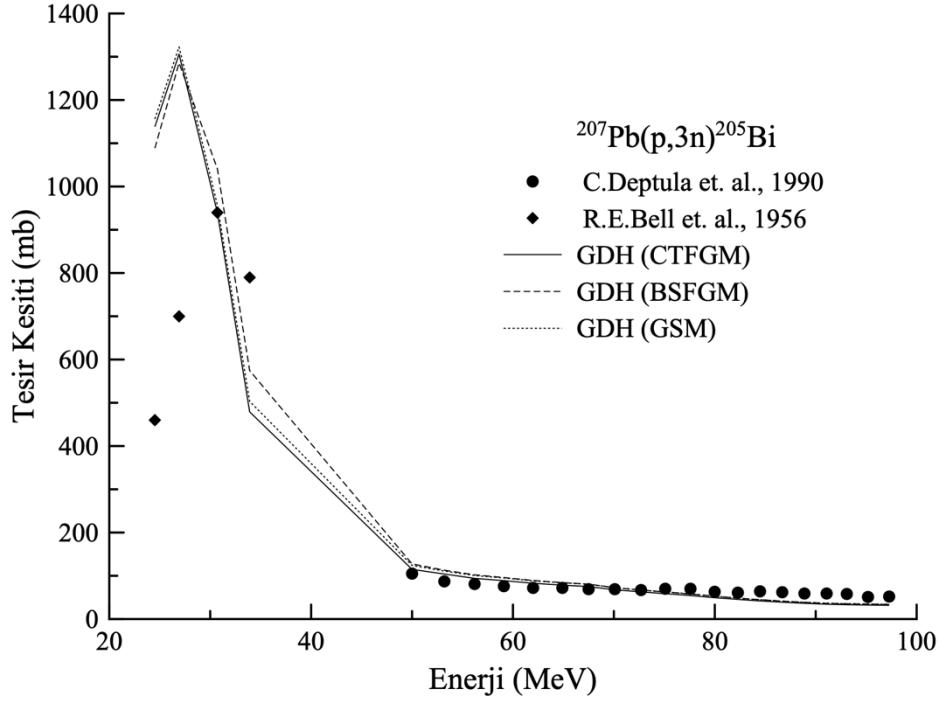
Şekil 6. $^{206}\text{Pb}(p,5n)^{202}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin CTFGM'e normalize edilmesi



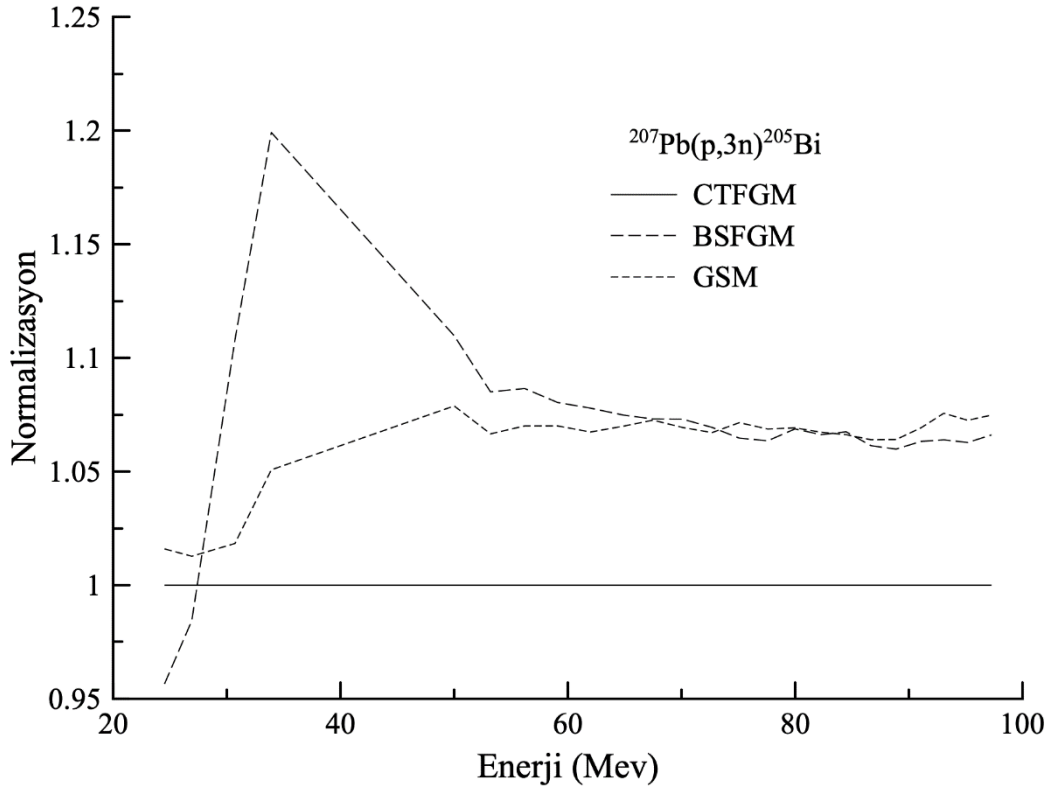
Şekil 7. $^{207}\text{Pb}(p,2n)^{206}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin deneysel verilerle [49,50] karşılaştırılması



Şekil 8. $^{207}\text{Pb}(p,2n)^{206}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin CTFGM'e normalize edilmesi



Şekil 9. $^{207}\text{Pb}(p,3n)^{205}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin deneysel verilerle [49,50] karşılaştırılması



Şekil 10. $^{207}\text{Pb}(p,3n)^{205}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin CTFGM'e normalize edilmesi

4. Sonuç ve Yorum

Şekil 1’de $^{206}\text{Pb}(p,2n)^{205}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Bütün seviye yoğunluğu modellerinin deneysel verilerle uyumlu sonuçlar verdikleri görülmüştür. Şekil 2’de görüldüğü gibi BSFGM, CTFGM’den %25, GSM ise %10 farklı sonuçlar vermiştir. Bu reaksiyon için seviye yoğunluğu modelleri tesir kesiti sonuçları üzerinde %25 etkili olarak bulunmuştur.

$^{206}\text{Pb}(p,3n)^{204}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesiti hesaplamaları Şekil 3 ve Şekil 4’de görülmektedir. Tesir kesiti hesaplamaları 35 MeV proton enerjisine kadar deneysel verilerden yüksek sonuçlar vermiştir. Bu enerjiden sonra ise deneysel verilerle uyum göstermiştir. Yapılan normalizasyon sonucunda BSFGM’in %40, GSM’in ise %15 oranında CTFGM farklı değerler verdiği saptanmıştır.

$^{206}\text{Pb}(p,5n)^{202}\text{Bi}$ reaksiyon tesir kesiti analizi Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir. Seviye yoğunluğu modellerinin deneysel verileri 50 MeV enerjisinden sonra yakaladığı gözlenmiştir. BSFGM’in diğer modellere göre deneysel verilerle daha uyumlu olduğu görülmektedir. BSFGM %20, GSM ise %8 oranında farklı tesir kesiti verileri ortaya koymuştur.

Şekil 7’de $^{207}\text{Pb}(p,2n)^{206}\text{Bi}$ reaksiyonu tesir kesitlerinin literatürden alınan deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir. Bütün seviye yoğunluğu modellerinin deneysel verilerle benzer geometri sergilediği görülmüştür. Şekil 8’de verilen normalizasyon işlemi sonrasında BSFGM ve GSM’in neredeyse birbirleri ile simetrik bir davranış gösterdiği bulunmuştur. Her iki modelde CTFGM’den %15 farklı sonuçlar üretmiştir.

$^{207}\text{Pb}(p,3n)^{205}\text{Bi}$ reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları Şekil 9 ve Şekil 10’da sunulmuştur. Bütün seviye yoğunluğu modelleri yaklaşık 30 MeV proton enerjisinden sonra deneysel verilerle uyum göstermiştir. Normalizasyon sonrasında, BSFGM ve GSM sonuçlarının CTFGM’e göre sırasıyla %20 ve %8 farklılık içerdiği bulunmuştur.

Yapılan incelemelerde denge öncesi modeli olarak kullanılan GDH Model’in TALYS 1.95 kodu parametreleriyle uyumlu çalıştığı görülmüştür. TALYS kodu denge öncesi reaksiyon mekanizması için İki Bileşenli Eksiton Modeli kullanılmaktadır. Hesaplamaların genel olarak deneysel verilerle uyum göstermiş olması TALYS kodu kullanılarak gerçekleştirilecek hesaplamalarda her iki modelinde beraber kullanılabilceğini işaret etmektedir. Ayrıca çalışmalarda incelenen reaksiyonların tesir kesitleri üzerinde seviye yoğunluğu modellerinin oldukça etkili olduğu görülmüştür. Kullanılan seviye yoğunluğu modelinin tesir kesiti hesaplamalarında %7-%40 arasında farklılık yarattığı gözlenmiştir. Bu yüzden teorik hesaplamalar gerçekleştirilirken uygun seviye yoğunluğu modelinin ve parametrelerinin seçilmesi oldukça önemlidir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Hasan ÖZDOĞAN: Araştırma, Yazılım, 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] H. Holub, E. Caplar, and N. Cindro, “A consistent study of precompound and compound–nucleus emission mechanisms in neutron–induced reactions,” *Z. Phys. A.*, 296, 341–357, 1980.
- [2] H. Gruppelaar, P. Nagel, and P. E. Hodgson, “Pre-equilibrium processes in nuclear reaction theory: the state of the Art and Beyond,” *Riv. Nuovo Cimento*, 9, 1-46, 1986.
- [3] A. Koning, S. Hilaire, and S. Goriely, TALYS 1.95 Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), The Netherlands, 2019.
- [4] C. Kalbach, “Two-component exciton model: Basic formalism away from shell closures,” *Phys. Rev. C.*, 33, 818-833, 1986.
- [5] M. Blann, “Hybrid model for pre-equilibrium decay in nuclear reactions,” *Phys. Rev. Lett.*, 27, 337-340, 1971.
- [6] A. Y. Konobeyev, U. Fischer, A. J. Koning, P. E. Pereslavytsev, and M. Blann, “Implementation of the Geometry Dependent Hybrid Model in TALYS,” *J. Korean Phys. Soc.*, 59, 935-938, 2011.
- [7] H. A. Bethe, “Theoretical reviews of modern physics,” *Nucl. Phys. B.*, 9, 69-244, 1937.
- [8] A. Gilbert and A. G. W. Cameron, “A composite nuclear level density formula with shell corrections,” *Can. J. Phys.*, 43, 1446-1496, 1965.
- [9] H. Baba, “A shell-model nuclear level density,” *Nucl. Phys.*, 159, 625–641, 1970.
- [10] A. V. Ignatyuk, G. N. Smirenkin, and A. S. Tishin, “Phenomenological description of the energy dependence of the level density parameter,” *Sov. J. Nucl. Phys.*, 21, 485-490 1975.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] H. Özdoğan, İ. H. Sarpün, M. Şekerci, and A. Kaplan, “Production cross-section calculations of ¹¹¹In via proton and alpha-induced nuclear reactions,” *Mod. Phys. Lett. A*, 36 (8), 2150051, 2021.
- [17] 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}Cr(a,x) reaction,” *Phys. Atom. Nuclei.*, 83, 820-827, 2020.
- [18] 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.
- [19] H. Özdoğan, M. Şekerci, and A. Kaplan, “Photo-neutron cross-section calculations of ^{54,56}Fe, ^{90,91,92,94}Zr, ⁹³Nb and ¹⁰⁷Ag Isotopes with newly obtained giant dipole resonance parameters,” *Appl. Radiat. Isotopes*, 165, 109356, 2020.
- [20] 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 ⁶²Cu, ⁶⁷Ga, ⁸⁶Y and ⁸⁹Zr via some alpha induced reactions,” *Radiochim. Acta*, 108 (6), 459-467, 2020.
- [21] M. Şekerci, “Theoretical cross-section calculations for the (a, n) and (a, 2n) reactions on ⁴⁶Ti, ⁵⁰Cr, ⁵⁴Fe, and ⁹³Nb Isotopes,” *Mosc. Univ. Phys. Bull.*, 75, 123–132, 2020.
- [22] 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 ⁹⁰Y, ¹⁵³Sm, ¹⁶⁹Er, ¹⁷⁷Lu and ¹⁸⁶Re therapeutic radioisotopes via (n,g) reactions,” *Radiochim. Acta*, 108 (1), 11-17, 2020.

- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] A. Kaplan, M. Şekerci, V. Çapalı, and H. Özdoğan, "Photon induced reaction cross-section calculations of several structural fusion materials," *J. Fusion Energ.*, 36 (6), 213-217, 2017.
- [28] A. Kaplan, M. Şekerci, V. Çapalı, and H. Özdoğan, "Computations of (a,xn) reaction cross-section for $^{107,109}\text{Ag}$ coated materials with possible application in accelerators and nuclear systems," *J. Fusion Energ.*, 35 (4), 715-723, 2016.
- [29] M. Şekerci, H. Özdoğan, and A. Kaplan, " $^{75-77}\text{Br}$ radyoizotoplarının üretim tesir kesiti hesaplamalarında bazı seviye yoğunluğu modellerinin etkilerinin incelenmesi," *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (2), 719-729, 2020.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] A. Jafari, M. R. Abouzadeh, 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.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] 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.

- [44] B. Canbula, “⁵⁵Mn İzotopunun fotonükleer tesir kesitleri üzerinde kollektif nükleer seviye yoğunluğunun etkisi,” *SDÜ Fen Bil. Enst. Der.*, 24, 138-142, 2020.
- [45] B. Canbula, “Bazı tellür izotoplarının nötron yakalama tesir kesiti analizi,” *Celal Bayar University Journal of Science*, 13, 445-455, 2017.
- [46] C. Yalçın, “İnce katman aktivasyon yöntemi için ⁴⁸Ti(α ,n)⁵¹Cr reaksiyon tesir kesiti hesabı,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 432-439, 2017.
- [47] D. Canbula, “Cross section analysis of proton-induced nuclear reactions of thorium,” *Nucl. Instrum. Meth. A*, 478, 229-232, 2020.
- [48] J. Luo and L. Jiang, “Activation cross-sections for the ¹⁸⁵Re(n, 2n) reaction and the isomeric cross-section ratio of ^{184m,g}Re in the neutron energy range of 13–15 MeV,” *Eur. Phys. J., A* 55, 27, 1019.
- [49] C. Deptula, V. A. Khalkin, N. G. Zaitseva, N.G., K. S. Han, O. Knotek, V. A. Konov, L. M. Popinenkova, P. Mikecz, and E. Rurarz, “Excitation functions and yield for medically important generators ⁸²Sr → ⁸²Rb, ¹²³Xe → ¹²³I and ²⁰¹Bi → ²⁰¹Pb → ²⁰¹Tl obtained with 100 MeV protons,” *Nukleonika*, 35, 3-47, 1990.
- [50] R. E. Bell and H. M. Skarsgard, “Cross Sections of (p,xn) Reactions in the isotope of lead and bismuth,” *Can. J. Phys.*, 34 (8), 745-766, 1956.