

Nükleer Seviye Yoğunluğu ve Gama Işınım Şiddet Fonksiyonu Modellerinin ^{59}Co İzotopunun Gama ile İndüklenen Reaksiyonların Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 29.08.2024

Kabul/Accepted: 04.01.2025

Yayımlandı/Published: 10.06.2025

Comparison Of The Effects Of Nuclear Level Density and Gamma Ray Strength Function Models On Gamma Induced Reactions Of ^{59}Co Isotope

Deniz CANBULA^{1*}, Bora CANBULA²¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Manisa, Türkiye² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

© 2025 The Authors | Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

Öz

^{59}Co izotopunun (g,n) , $(g,2n)$ ve $(g,3n)$ fotonükleer reaksiyon tesir kesitleri makroskopik ve mikroskopik nükleer seviye yoğunluğu modelleri (CTM, BSFGM, GSM, Goriely's Skyrme kuvveti, Hilaire Skyrme kuvveti, HFB Gogny) ve gama ışınım şiddet fonksiyonları (Brink-Axel, Kopecky-Uhl, HFBCS, HFB, Goriely hibrid) TALYS 1.96 bilgisayar kodu kullanılarak 40 MeV gelen parçacık enerjisine kadar hesaplanmıştır. Sonuçlar EXFOR (deneysel nükleer reaksiyon veri tabanı) kütüphanesinden alınan deneysel veriler ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın amacı, nükleer seviye yoğunluğu modellerinin ve gama ışınım şiddet fonksiyonlarının ^{59}Co izotopunun gama ile indüklenen reaksiyonlarının tesir kesitleri üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Analiz edilen reaksiyonların tesir kesitleri üzerinde bu teorik modellerin etkileri detaylı olarak bu çalışmada sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nükleer seviye yoğunluğu modelleri; Tesir kesiti; gama ışınım şiddet fonksiyonları; ^{59}Co izotopu; TALYS.

Abstract

(g,n) , $(g,2n)$ and $(g,3n)$ photonuclear reaction cross sections of ^{59}Co were calculated with macroscopic and microscopic nuclear level density models (CTM, BSFGM, GSM, Goriely's Skyrme force, Hilaire Skyrme force, HFB Gogny) and gamma-ray strength functions (Brink-Axel, Kopeck-Uhl, HFBCS, HFB, Goriely's hybrid) by using the latest version of TALYS computer code up to 40 MeV incident energy. The results are compared with the experimental data taken from EXFOR (Experimental Nuclear Reaction Database) library and each other. The aim of the study is that effects of nuclear level density models and gamma-ray strength functions are investigated on cross section of gamma induced reactions of ^{59}Co . The effects of these theoretical models on cross section of analyzed reactions are presented in detail in this study.

Keywords: Nuclear level density models; Cross section; Gamma ray strength functions; ^{59}Co isotope; TALYS.

1. Giriş

Gama parçacığı kaynaklı reaksiyon verilerinin özellikle son yıllarda astrofiziksel nükleosentez, radyasyondan koruma ve kalkan tasarımı, radyoterapide radyasyon doz durumu, nötron üretimi, aktivasyon analizi gibi teorik ve uygulamalı araştırmalarda öneminin arttığı görülmektedir. Bu tip reaksiyonların tesir kesiti verileri, dev dipol rezonansının (GDR) baskın olduğu 30 MeV gelen parçacık enerjilerinin altındaki enerjilerde özellikle dikkate alınmalıdır. Bu yüzden, bu çalışmada, yapısal bir Füzyon malzemesi olan ^{59}Co izotopunun gama parçacığı kaynaklı reaksiyon tesir kesitleri 5-40 MeV enerji aralığında incelenmiştir. ^{59}Co izotopunun deneysel toplam tesir kesiti değerleri (g,n) , $(g,2n)$ ve $(g,3n)$ reaksiyonları için 40 MeV enerjiye kadar Alvarez vd. 1979 tarafından

ölçülmüştür. ^{59}Co izotopu için farklı teknikler kullanılarak 450 MeV gelen parçacık enerjisine kadar gerçekleştirilen, başka deneysel çalışmalarda literatürde mevcuttur (Bazhanov vd. 1964, Davydov vd. 1987, David vd. 1974).

GDR, yaklaşık 10-30 MeV enerji aralığında çekirdeklerin elektromanyetik radyasyonu soğurmasını tanımladığı için teorik tesir kesiti hesaplamalarında büyük ilgi görmektedir. Hem ^{59}Co hem de diğer bazı küresel çekirdeklerin reaksiyon tesir kesitleri üzerindeki kolektif GDR etkilerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur (Tuan vd. 1968, Huber vd. 1967). Yapılan çalışmalarda küresel çekirdeklerin çoğunda bu etkinin tesir kesiti hesaplamalarında önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu çalışmalara ek olarak, ^{59}Co izotopu için toplam tesir kesiti ve GDR bölgelerinde nükleer spin-spin ve isospin etkileri

araştırılmıştır (Nagamine vd. 1970, Fisher vd. 1972, Tsubota vd. 1978).

Nükleer reaksiyonların tesir kesitlerini istatistiksel teori ile hesaplamak için iki önemli girdi vardır. Bunlardan biri çekirdeğin uyarılma enerjisi civarındaki uyarılmış seviyelerin sayısına karşılık gelen nükleer seviye yoğunluğu, diğeri ise gama emisyon kanalını tanımlayan gama ışınım şiddet fonksiyonudur. Bu girdilerin kullanılarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamalarının ^{59}Co izotopu için yapıldığı çalışmalar literatürde mevcuttur (Ratkevich vd. 2000, Barret vd. 1973, Fedorets vd. 2001, Larsen vd. 2014). Son yıllarda, iyi bilinen nükleer reaksiyon kodları TALYS (Koning vd. 2007), ALICE/ASH (Broeders vd. 2006) ve EMPIRE (Capote vd. 2007), bu girdilerin parametrelerini tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bilgisayar kodlarından bazılarının kullanılarak ^{59}Co izotopu için reaksiyon kesiti hesabının yapıldığı ve deneysel veriler ile karşılaştırılarak tartışmalı olarak sunulduğu çalışmalar mevcuttur (Demir vd. 2015; Kavun ve Makwana, 2020). Gurubumuzun daha önceki bazı çalışmalarında, TALYS kodu, fotonükleer reaksiyonların tesir kesiti hesaplamalarında kullanılmıştır (Canbula B. 2020, Canbula D. 2021, Canbula ve Canbula 2022). Bu çalışmada, ^{59}Co izotopunun gama parçacığı kaynaklı reaksiyonlarının tesir kesitleri üzerinde nükleer seviye yoğunluğu modellerinin ve gama ışınım şiddet fonksiyonlarının etkileri TALYS 1.96 kodu kullanılarak araştırılmıştır.

Çalışmanın devamında; Materyal ve Metot kısmında, hesaplama yöntemi sunulmuştur. Bulgular kısmında, sonuçlarımızı ve tartışmalarımızı sunuyoruz. Son olarak, sonuç kısmında, elde edilen sonuçların karşılaştırmalı analizini veriyoruz.

2. Materyal ve Metot

2.1. Seviye Yoğunluğu

Belirli bir uyarılma enerjisi etrafındaki uyarılmış seviyelerin sayısı nükleer seviye yoğunluğu olarak tanımlanır ve her çekirdek için karakteristik bir dağılıma sahiptir. Astrofizikte, reaktör dizaynında, medikal fizikte ve özellikle reaksiyon tesir kesiti hesaplamalarında önemli bir yeri vardır. Literatürde bilinen 6 nükleer seviye yoğunluğu modeli vardır, bunlardan geri-kaydırılmış Fermi gaz modeli (BSFGM) (Bethe 1937, Dig vd. 1973), sabit sıcaklık modeli (CTM) (Gilbert ve Cameron 1965), genelleştirilmiş süperakışkan model (GSM) (Ignatyuk vd. 1979, Ignatyuk vd. 1993) makroskopik olanlar, Goriely'nin kombinasyonel tablolarından Skyrme kuvveti (Goriely Skyrme) (Goriely vd. 2001), Hilaire'in kombinasyonel tablolarından Skyrme kuvveti (Hilaire Skyrme) (Goriely vd. 2008) ve Hilaire'in kombinasyonel tablolarından sıcaklığa

bağlı Hartree-Fock-Bogolyubov Gogny kuvveti (HFB Gogny) (Hilaire vd. 2012) mikroskopik olanlardır. Bunlardan ilki ve en basit olanı Bethe (Bethe 1937) tarafından önerilmektedir. Modele göre, nükleonlar birbirleri ile etkileşime girmez, tek parçacık durumlarına eşit aralıklarla yerleşirler ve kollektif seviyeler yoktur. Uyarılma enerjisine bağlı toplam nükleer seviye yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi verilir,

$$\rho^{tot}(U) = \frac{1}{12\sqrt{2}\sigma} \frac{\exp[2\sqrt{a}U]}{a^{1/4}U^{5/4}}, \quad (1)$$

U, σ^2, a sırasıyla uyarılma enerjisi, spin-kesme parametresi ve nükleer seviye yoğunluğu parametresidir. a nükleer seviye yoğunluğunun ana değişkenidir ve yaygın olarak uyarılma enerjisine bağlı Ignatyuk'un formülü (Ignatyuk 1975) kullanılır,

$$a(U) = \tilde{a} \left(1 + \delta W \frac{1 - \exp[-\gamma U]}{U} \right) \quad (2)$$

$\tilde{a}$, yüksek enerjilerde a değerinin limit değerine karşılık gelen asimptotik nükleer seviye yoğunluğu parametresidir. δW sıvı damlası kütle formülündeki mikroskopik düzeltme terimidir.

BSFGM yüksek uyarılma enerjilerinde güvenilir bir yapı sağlarken, düşük uyarılma enerjilerinde ıraksama sorunu yaşamaktadır. Bu probleme çözüm önerisinden sonra (Grossjean ve Feldmeier, 1985, Demetriou ve Goriely 2001) nükleer reaksiyon hesaplamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. CTM, düşük ve yüksek uyarılma enerjileri arasında bir eşleşme enerjisi içerir. Bu eşleşme enerjisine kadar CTM kullanılır, bu enerjinin üzerindeki enerjilerde Fermi gaz modeli tercih edilir. GSM ise, Bardeen-Cooper-Schrieffer teorisine göre süperiletken eşleşme korelasyonlarını dikkate alır (Ignatyuk vd. 1979, 1993). İlk makroskopik nükleer seviye yoğunluğu modellerinde Ignatyuk'un formülasyonu kullanılmıştır (Ignatyuk 1975).

Nükleer astrofizik veya hızlandırıcı bazlı sistemler üzerindeki spesifik uygulamalar için deneysel verilerin daha geniş bir enerji aralığına genişletilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, deneysel verilerin eksik veya hiç olmadığı durumlarda mikroskopik veya yarı mikroskopik temelli nükleer modellerin kullanılması gerekmektedir. Hartree-Fock BCS modelini istatistiksel yaklaşımla içeren mikroskopik seviye yoğunluk modelleri, deneysel verileri en az mikroskopik modeller kadar yeniden üretmede başarılıdır. S. Goriely (Goriely vd. 2001), 150 MeV uyarılma enerjisine ve $I = 30$ spin değerine kadar Hartree-Fock modeli temelli Skyrme kuvvetini kullanarak nükleer seviye yoğunluklarını hesaplanmıştır. S. Hilaire (Goriely vd. 2008), 200 MeV uyarılma enerjisine ve $I = 49$ spin değerine kadar

8500'den fazla çekirdek için enerji, spin ve pariteye bağlı seviye yoğunluklarını mikroskopik kombinasyonel model tabanlı olarak önermiştir. Diğer kombinasyonel mikroskopik model ise sıcaklığa bağlı Hartree-Fock-Bogolyubov ve Gogny kuvvetine dayanmaktadır (Hilaire vd. 2012). Bu model, tek parçacık seviyelerini ve kolektif özellikleri aynı anda kullanarak seviye yoğunluklarını tahmin eder.

2.2 Gama Işınım Şiddet Fonksiyonları

Gama ışıınım şiddet fonksiyonu, istatistiksel teori ile fotonükleer reaksiyonların tesir kesitlerinin belirlenmesi için gerekli girdilerden biri olup, ayrıca nükleer reaksiyonlarda gama emisyon kanalını tanımlamak için de önem arz etmektedir. Bu fonksiyonu, nükleer seviye yoğunluğu gibi ortalama bir niceliktir ve elektrik ve manyetik geçişleri ifade eder. E1 radyasyonu için Kopeck-Uhl'nin genelleştirilmiş Lorentzian formu (Kopecky ve Uhl 1990) kullanılır:

$$f_{E1}(E_\gamma, T) = \frac{\sigma_{E1} \Gamma_{E1}}{(2l+1)\pi^2 \hbar^2 c^2} \left[\frac{E_\gamma \tilde{\Gamma}_{E1}(E_\gamma)}{(E_\gamma^2 - E_{E1}^2) + E_\gamma^2 \tilde{\Gamma}_{E1}(E_\gamma)^2} + \frac{0.7 \Gamma_{E1} 4\pi^2 T^2}{E_{E1}^3} \right], \quad (3)$$

$\tilde{\Gamma}_{E1}(E_\gamma)$ enerjiye bağlı sönümlenme genişliği şu şekilde verilir:

$$\tilde{\Gamma}_{E1}(E_\gamma) = \Gamma_{E1} \frac{E_\gamma^2 + 4\pi^2 T^2}{E_{E1}^2}, \quad (4)$$

T nükleer sıcaklık aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$T = \sqrt{\frac{E_n + S_n - \Delta - E_\gamma}{a(S_n)}}, \quad (5)$$

E_n gelen parçacığın nötron enerjisi, S_n nötron ayrılma enerjisi, Δ çiftlenme düzeltmesi, $a(S_n)$ ise S_n değerindeki nükleer seviye yoğunluk parametresidir. E1 dışındaki tüm geçiş türleri için dev dipol rezonansı tanımlayan standart bir Lorentzian formu olan Brink-Axel formu (Brink 1957, Axel 1962) kullanılmıştır. Enerjiye bağlı gama ışıınım şiddet fonksiyonu da aşağıdaki gibi tanımlanır,

$$f_{Xl}(E_\gamma) = \frac{1}{(2l+1)\pi^2 \hbar^2 c^2} \frac{\sigma_{Xl} E_\gamma \Gamma_{Xl}^2}{(E_\gamma^2 - E_{Xl}^2) + E_\gamma^2 \Gamma_{Xl}^2}, \quad (6)$$

σ_{Xl} , E_{Xl} ve Γ_{Xl} sırasıyla dev rezonansın kuvveti, enerjisi ve genişliğidir.

$$K_{Xl} = \frac{1}{(2l+1)\pi^2 \hbar^2 c^2}. \quad (7)$$

E1, E2 ve E2'den büyük çok kutuplu geçişleri için dev rezonans parametrelerinin kuvveti, enerjisi ve genişliği tablolardan alınmıştır (Plujko vd. 2011). Gama ışıını şiddet fonksiyonlarının iki mikroskopik formu Stephane Goriely

tarafından Hartree-Fock-BCS (HFBCS) ve Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB) modellerine göre hesaplanmıştır (Capote vd. 2009). Hartree-BCS tabloları, 10 parametrelili bir Skyrme kuvvetinin yanı sıra 4 parametrelili bir δ fonksiyon çiftlenme kuvveti ve 3 parametrelili fenomenolojik Wigner terimini içerir ayrıca 9200 çekirdeği temsil eder. HFB modeli, etkili nucleon-nükleon etkileşimlerini içeren Gogny kuvvetine dayanmaktadır. HFBCS modelinden farklı olarak, tüm dört kutuplu korelasyon enerjilerinin kendi kendine tutarlı hesaplaması, 5D kolektif Hamiltoniyen yaklaşımına dahil edilmiştir (Goriely vd. 2009). Son olarak, Goriely'nin hibrit modeli (Goriely 1998), yüksek enerjilerdeki GDR Lorentzian tanımını, nötron ayrılma enerjisinin altındaki sonlu Fermi sistemler teorisinin (Fayans vd. 1979) analitik yaklaşımıyla bileştirir.

2.3 TALYS Bilgisayar Kodu

TALYS (Koning vd. 2007), nükleer yapı ve reaksiyon gözlenebilirlerinin tanımlanması ve analizi için bilinen en iyi programlardan bir tanesidir. 1keV ile 1GeV gelen parçacık enerji aralığındaki proton, gama, döteron, alfa gibi hafif parçacıkları içeren nükleer reaksiyonları simüle edebilir. Nükleer seviye yoğunluğu modelleri ve gama ışıınım şiddet fonksiyonları TALYS kodunda opsiyonel birer girdi olarak kullanılabilir. Bu çalışmada, makroskopik (BSFGM, CTM, GSM) ve mikroskopik (Goriely's Skyrme force, Hilaire Skyrme force, HFB Gogny) nükleer seviye yoğunluk modelleri ve gama ışıınım şiddet fonksiyonları (Kopecky-Uhl, Brink-Axel, Hartree-Fock BCS, Hartree-Fock Bogol., Gorielys Hybrid) kullanılmıştır.

3. Bulgular

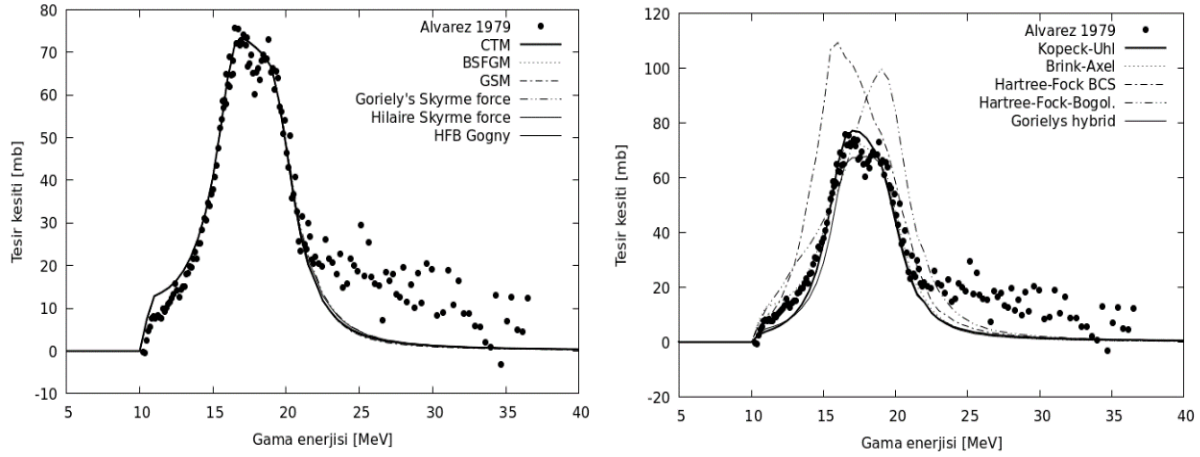
Bu çalışmada, altı farklı nükleer seviye yoğunluğu modeli (BSFGM, CTM, GSM, Goriely Skyrme, Hilaire Skyrme, HFB Gogny) ve beş farklı gama ışıınım şiddet fonksiyonu (Kopack-Uhl, Brink-Axel, HFBCS, HFB, Gorieys hibrid) kullanılarak TALYS bilgisayar kodu ile $^{59}\text{Co}(g,n)^{58}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(g,2n)^{57}\text{Co}$ ve $^{59}\text{Co}(g,3n)^{56}\text{Co}$ reaksiyonlarının fotonükleer tesir kesitleri hesaplanmıştır. Elde edilen teorik sonuçlar hem birbirleri ile hem de mevcut deneysel veriler ile karşılaştırılarak sunulmuştur.

Şekil 1, $^{59}\text{Co}(g,n)^{58}\text{Co}$ reaksiyonu için, nükleer seviye yoğunluk modelleri (üst panel) ve gama ışıınım şiddet fonksiyonları (alt panel) kullanılarak elde edilen tesir kesiti tahminlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılmasını göstermektedir. Bu reaksiyonun deneysel verileri, güncel deneysel veri tabanında yer alan Alvarez ve ark. (Alvarez vd. 1979) çalışmasından alınmıştır. Reaksiyonun eşik enerjisi 10.454 MeV dir. Nükleer seviye yoğunluk modelleri Hesaplamalarda birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir. Gama ışıınım şiddet fonksiyonlarına bakıldığında ise Kopecky-Uhl Lorentzian ve Brink-Axel formları

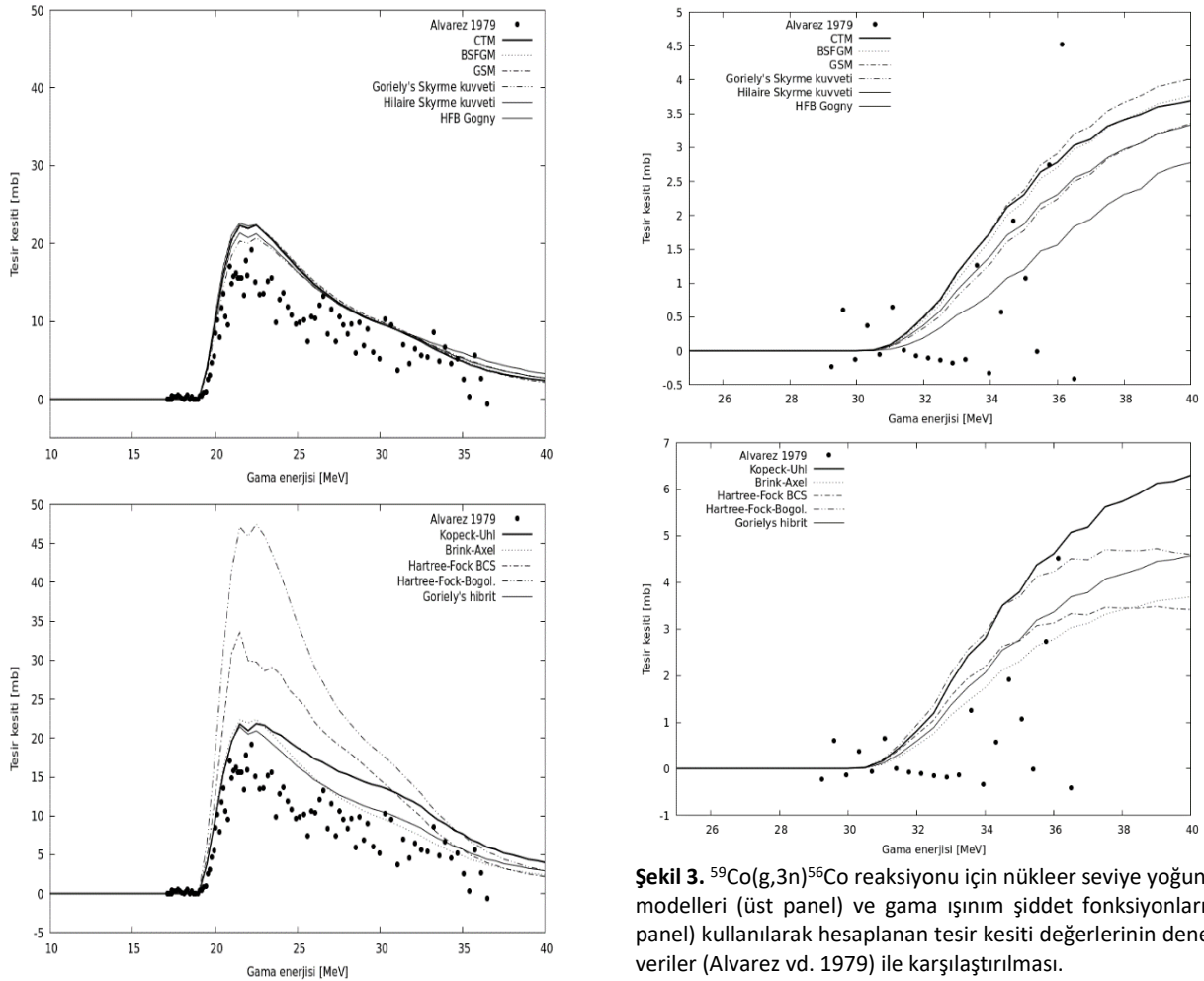
deneySEL verileri diğer modellere kıyasla tekrar sağlamada daha başarılıdır. Yaklaşık 22 MeV gelen parçacık enerjisi üzerinde deneySEL verileri elde etmede tüm modellerin yetersiz kaldığı söylenebilir.

$^{59}\text{Co}(g,2n)^{57}\text{Co}$ reaksiyonu için, altı nükleer seviye yoğunluk modeli (üst panel) ve beş gama ışıNım şiddet

fonskiyonu (alt panel) ile elde edilen tesir kesiti sonuçları Şekil 2 de sunulmuştur. DeneySEL veriler Şekil 1'deki aynı çalışmada alınmıştır. Tüm seviye yoğunluk modelleri tüm enerji bölgesinde benzer sonuçlar sergilemektedir. Brink-Axel Lorentzian ve Goriely'nin hibrit modeli, diğer gama ışıNım şiddet fonskiyonlarıyla karşılaştırıldığında en iyi sonuçları sunmaktadır.



Şekil 1. $^{59}\text{Co}(g,n)^{58}\text{Co}$ reaksiyonu için nükleer seviye yoğunluğu modelleri (üst panel) ve gama ışıNım şiddet fonskiyonları (alt panel) kullanılarak hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneySEL veriler (Alvarez vd. 1979) ile karşılaştırılması.



Şekil 2. $^{59}\text{Co}(g,2n)^{57}\text{Co}$ reaksiyonu için nükleer seviye yoğunluğu modelleri (üst panel) ve gama ışıNım şiddet fonskiyonları (alt panel) kullanılarak hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneySEL veriler (Alvarez vd. 1979) ile karşılaştırılması.

Şekil 3. $^{59}\text{Co}(g,3n)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu için nükleer seviye yoğunluğu modelleri (üst panel) ve gama ışıNım şiddet fonskiyonları (alt panel) kullanılarak hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneySEL veriler (Alvarez vd. 1979) ile karşılaştırılması.

Şekil 3'te ise $^{59}\text{Co}(g,3n)^{56}\text{Co}$ reaksiyonunun tesir kesitini hesaplamak için farklı nükleer seviye yoğunluk modelleri (üst panel) ve gama ışıNım şiddet fonskiyonları (alt panel)

kullanılmıştır. Deneysel veriler Şekil 1 ve 2'deki aynı çalışmadan alınmıştır ve oldukça dağınık bir dağılım göstermektedir. Hesaplamalarda kullanılan teorik modeller de benzer trende sahip dağılım sergilemektedir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

$^{59}\text{Co}(g,n)^{58}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(g,2n)^{57}\text{Co}$ ve $^{59}\text{Co}(g,3n)^{56}\text{Co}$ reaksiyonlarının gama parçacığı kaynaklı reaksiyon tesir kesitleri, nükleer seviye yoğunluğu modelleri ve gama ışınım şiddet fonksiyonları ile TALYS bilgisayar kodu kullanılarak hesaplanmıştır. TALYS kodunun içinde var olan makroskopik ve mikroskopik nükleer seviye yoğunlukları ve gama ışınım şiddet fonksiyonları girdi olarak kullanılmıştır. Her bir reaksiyon için ayrı elde edilen sonuçlar deneysel veriler ve birbirleri ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Şekil 1 ve 2 de, seviye yoğunluğu kullanılarak elde edilen tesir kesiti değerleri birbirine yakın sonuçlar göstermektedir. Sonuçları makroskopik veya mikroskopik model olarak ayırt etmek bu reaksiyonlar için zordur. Dolayısıyla, modeller arasındaki farklılıkların bu reaksiyonların tesir kesiti hesaplamalarında büyük önem arz etmediği yorumu yapılabilir. Bu beklenen bir durumdur çünkü gama ile indüklenen reaksiyonlarda en önemli girdi parametreleri dev dipol rezonans parametreleridir.

İncelenen üç fotonükleer reaksiyon içinde söylenebilir ki, gama ışınım şiddet fonksiyonlarının etkisi tesir kesiti sonuçlarında belirgin şekilde görülmektedir.

Şekil 1 ve 2 için gama ışınım şiddet fonksiyonlarının etkilerini ayırt etmek ve bunlardan birini seçmek daha kolaydır. Bu şekillerde gözlenen pikler için belirgin bir GDR etkisi olduğu yorumu yapılabilir.

Şekil 3'te hem deneysel verilerin hem de teorik sonuçların birbirinden uzak olması reaksiyon sonuçlarının yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Ancak, gama kaynaklı reaksiyonlar için nükleer seviye yoğunluğu modelleri ve gama ışınım şiddet fonksiyonlarının reaksiyon tesir kesitini belirlemek amacıyla isteğe bağlı girdiler olarak seçilebileceği söylenebilir.

GDR, 30 MeV'e kadar olan fotonükleer reaksiyon tesir kesitlerinde baskın olan bir mekanizmadır ve özellikle 1. ve 2. Şekiller de görüldüğü üzere, çekirdeğin küresel veya deforme olmasına da bağlı olarak gelen foton enerjisine karşı bir veya birkaç Lorentzian tepe noktası şeklinde karakterize edilebilir. Fotonükleer reaksiyonlar için teorik tesir kesiti hesaplamaları GDR parametrelerine odaklanır. Bu parametreleri de TALYS gibi nükleer reaksiyonları doğru ve tam olarak simüle etmeyi amaçlayan teorik reaksiyon kodlarında kullanılır.

TALYS gibi düzenli aralıklarla güncellenen hesaplama araçları ile deneysel verilere erişilemeyen yada deneysel verilerin eksik kaldığı enerji bölgelerinde daha doğru hesaplamalar yapılmasına, bu sayede de araştırmacılara geniş analiz olanakları sunabileceği öngörülmektedir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Deniz Canbula: Araştırma, Yazma

Bora Canbula: Hesaplama, Biçimsel analiz, Metodoloji

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

- Alvarez, R. A., Berman, B. L., Faul, D. D., Lewis Jr, F. H., Meyer, P., 1979. Photoneutron cross sections for Mn 55 and Co 59. *Physical Review C*, 20(1), 128. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.20.128>
- Axel, P., 1962. Electric dipole ground-state transition width strength function and 7-MeV photon interactions. *Physical Review*, 126(2), 671. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.126.671>
- Barrett, R. F., Birkelund, J. R., Thomas, B. J., Lam, K. S., ve Thies, H. H., 1973. Systematics of nuclear level density parameters of nuclei deficient in one neutron. *Nuclear Physics A*, 210(2), 355-379. [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(73\)90308-4](https://doi.org/10.1016/0375-9474(73)90308-4)
- Bazhanov, E.B., Komar, A.P., and Kulikov, A.V. Soviet Physics JETP, 19 1964.
- Bethe, H. A., 1937. Nuclear physics B. Nuclear dynamics, theoretical. *Reviews of Modern Physics*, 9(2), 69. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.9.69>
- Brink, D. M., 1957. Individual particle and collective aspects of the nuclear photo effect. *Nuclear Physics*, 4,215-220. [https://doi.org/10.1016/0029-5582\(87\)90021-6](https://doi.org/10.1016/0029-5582(87)90021-6)
- Broeders, C. H. M., Konobeyev, A. Y., Korovin, Y. A., Lunev, V. P., ve Blann, M., 2006. ALICE/ASH-. FZK.
- Canbula, B., 2020. 55Mn İzotopunun fotonükleer tesir kesitleri üzerinde kolektif nükleer seviye yoğunluğunun etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1), 138-142. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.639828>
- Canbula, D., 2021. Hafif Nadir Toprak Elementi 144Sm İzotopunun Fotonükleer Tesir Kesiti Hesabı. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(2), 314-320. <https://doi.org/10.29132/ijpas.879068>
- Canbula, D., ve Canbula, B., 2022. A Study of Photoneutron Reactions Using Statistical Analysis. *East European Journal of Physics*, 4, 99-103. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2022-4-08>
- Capote, R., Carlson, B. V., Oblozinsky, P., Sin, M., Trkov, A., Wienke, H., ve Zerkov, V., 2007. EMPIRE: Nuclear

- Reaction Model Code System for Data Evaluation. *Nuclear Data Sheets*, 108(12), 2655-2715.
<https://doi.org/10.1016/j.nds.2007.11.003>
- Capote, R., Herman, M., Obložinský, P., Young, P. G., Goriely, S., Belgya, T., ... ve Talou, P., 2009. RIPL—reference input parameter library for calculation of nuclear reactions and nuclear data evaluations. *Nuclear Data Sheets*, 110(12), 3107-3214.
<https://doi.org/10.1016/j.nds.2009.10.004>
- Davydov, M. G., Khamraev, F. S., Shomurodov, É. M., 1987. Cobalt photoactivation yield and cross section. *Soviet Atomic Energy*, 63(1), 545-548.
- David, P., Debrus, J., Lübke, F., Mommsen, H., Schoenmackers, R., Stein, G., 1974. Bremsstrahlung induced nuclear reactions with $E_{\text{max}} = 450$ MeV. *Nuclear Physics A*, 221(1), 145-162.
[https://doi.org/10.1016/0375-9474\(74\)90104-3](https://doi.org/10.1016/0375-9474(74)90104-3)
- Demetriou, P., ve Goriely, S., 2001. Microscopic nuclear level densities for practical applications. *Nuclear Physics A*, 695(1-4), 95-108.
[https://doi.org/10.1016/S0375-9474\(01\)01095-8](https://doi.org/10.1016/S0375-9474(01)01095-8)
- Demir, B., Kaplan, A., Çapalı, V., Özdoğan, H., Sarpün, İ. H., Aydın, A., ve Tel, E., 2015. Neutron Production Cross-Section and Geant4 Calculations of the Structural Fusion Material ^{59}Co for (α, xn) and (γ, xn) Reactions. *Journal of Fusion Energy*, 34, 636-641.
<https://doi.org/10.1007/s10894-015-9860-4>
- 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 A*, 217(2), 269-298.
[https://doi.org/10.1016/0375-9474\(73\)90196-6](https://doi.org/10.1016/0375-9474(73)90196-6)
- Fayans, S. A., Khodel, V. A., ve Saperstein, E. E., 1979. Self-consistent theory of finite fermi systems and low-lying collective states in spherical nuclei (I). *Nuclear Physics A*, 317(2-3), 424-446.
[https://doi.org/10.1016/0375-9474\(79\)90490-1](https://doi.org/10.1016/0375-9474(79)90490-1)
- Fedorets, I. D., 2001. Radiative strength functions for nuclei in which the number of protons is close to the magic number of $Z = 28$. *Physics of Atomic Nuclei*, 64, 49-56.
<https://doi.org/10.63-7788/01/6401>
- Fisher, T. R., Grench, H. A., Healey, D. C., McCarthy, J. S., Parks, D., Whitney, R., 1972. The nuclear spin-spin effect in ^{59}Co . *Nuclear Physics A*, 179(2), 241-262.
[https://doi.org/10.1016/0375-9474\(72\)90367-3](https://doi.org/10.1016/0375-9474(72)90367-3)
- Gilbert, A., & Cameron, A. G. W., 1965. A composite nuclear-level density formula with shell corrections. *Canadian Journal of Physics*, 43(8), 1446-1496. <https://doi.org/10.1139/p65-139>
- Goriely, S., Hilaire, S., Girod, M., ve Péru, S., 2009. First gogny-hartree-fock-bogoliubov nuclear mass model. *Physical review letters*, 102(24), 242501.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.242501>
- Goriely, S., 1998. Radiative neutron captures by neutron-rich nuclei and the r-process nucleosynthesis. *Physics Letters B*, 436(1-2), 10-18.
[https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(98\)00907-1](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(98)00907-1)
- Goriely, S., Tondeur, F., ve Pearson, J. M., 2001. A Hartree-Fock nuclear mass table. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 77(2), 311-381.
<https://doi.org/10.1006/adnd.2000.0857>
- 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*, 78(6), 064307.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevC.78.064307>
- Grossjean, M. K., ve Feldmeier, H., 1985. Level density of a Fermi gas with pairing interactions. *Nuclear Physics A*, 444(1), 113-132.
[https://doi.org/10.1016/0375-9474\(85\)90294-5](https://doi.org/10.1016/0375-9474(85)90294-5)
- Huber, M. G., Danos, M., Weber, H. J., Greiner, W., 1967. Collective treatment of the giant resonances in spherical nuclei. *Physical review*, 155(4), 1073.
<https://doi.org/10.1103/PhysRev.155.1073>
- Hilaire, S., Girod, M., Goriely, S., ve Koning, A. J., 2012. Temperature-dependent combinatorial level densities with the D1M Gogny force. *Physical Review C*, 86(6), 064317.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevC.86.064317>
- Ignatyuk, A. V., Istekov, K. K., Smirenkin, G. N. (Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Germany, 1979).
- Ignatyuk, A. V., Weil, J. L., Raman, S., ve Kahane, S., 1993. Density of discrete levels in $\text{Sn } 116$. *Physical Review C*, 47(4), 1504.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevC.47.1504>
- A. V. Ignatyuk, Soviet Journal of Nuclear Physics-USSR, 21, 10 (1975). (in Russian)
- Kavun, Y., ve Makwana, R., 2020. Study of (γ, p) reaction cross-section calculations of ^{52}Cr , ^{54}Fe , ^{60}Ni and ^{64}Zn isotopes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 472, 72-77.
<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2020.03.036>
- Koning, A. J., Hilaire, S., ve Duijvestijn, M. C., 2007. TALYS-1.0. In *International Conference on Nuclear Data for Science and Technology*, EDPSciences, 211-214.
<http://dx.doi.org/10.1051/ndata:07767>
- Kopecky, J., ve Uhl, M., 1990. Test of gamma-ray strength functions in nuclear reaction model calculations. *Physical Review C*, 41(5), 1941.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevC.41.1941>
- Larsen, A. C., Blasi, N., Bracco, A., Bürger, A., Camera, F., Eriksen, T. K., .ve Wiedeking, M., 2014. Low-energy enhancement of nuclear γ strength and its impact on astrophysical reaction rates. In *EPJ Web of Conferences*, EDPSciences. 66, 07014.

<https://doi.org/10.1051/epjconf/20146607014>

Nagamine, K., Uchida, A., Kobayashi, S., 1970. Nuclear spin-spin effect in the total cross section for 1 MeV polarized neutrons on polarized ⁵⁹Co nuclei. *Nuclear Physics A*, 145(1), 203-222.

[https://doi.org/10.1016/0375-9474\(70\)90315-5](https://doi.org/10.1016/0375-9474(70)90315-5)

Plujko, V. A., Capote, R., ve Gorbachenko, O. M., 2011. Giant dipole resonance parameters with uncertainties from photonuclear cross sections. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 97(5), 567-585.

<https://doi.org/10.1016/j.adt.2011.04.001>

Ratkevich, S. S., Fedorets, I. D., Nemashkalo, B. A., Storizhko, V. E., 2000. Radiative strength functions for dipole transitions in ⁵⁷, ⁵⁹Co. *Physics of Atomic Nuclei*, 63, 1497-1503.

<https://doi.org/1063-7788/00/6309>

Tsubota, H., Oikawa, S., Uegaki, J., Tamae, T., 1978. Isospin effects in the giant dipole resonance region of ⁵¹V and ⁵⁹Co. *Nuclear Physics A*, 303(3), 333-344.

[https://doi.org/10.1016/0375-9474\(78\)90362-7](https://doi.org/10.1016/0375-9474(78)90362-7)

Tuan, S. T., Weber, H. J., Wright, L. E., 1968. Partial-Wave Analysis of Inelastic Electron Scattering on the Collective Giant Resonances of Medium and Heavy Spherical Even Nuclei. *Physical Review*, 167(4), 939.

<https://doi.org/10.1103/PhysRev.167.939>