

Nükleer Fizik'te Talys 1.2 Benzetim Programı ile Fotonötron Reaksiyonları Uygulaması

Şevki Kiremitçioğlu¹, Ramazan Uyar², M. Erman Yılmaz¹, Ufuk Akcaalan¹

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

² Akdeniz Üniversitesi, Enformatik Bölümü, Antalya

sevki.kiremitcioglu@gmail.com, ruyar@akdeniz.edu.tr, m.erman.yilmaz@gmail.com, ufuk.akcaalan@gmail.com

Özet: Fotonükleer reaksiyon verileri, temel ve uygulamalı araştırmalar için çok önemlidir. Radyasyon koruma malzemesi tasarımları, radyasyon aktarım analizleri, aktivasyon analizleri, astrofiziksel nükleosentez, koruma ve denetim teknolojileri, radyoterapide insan vücudunda emilmiş radyasyon miktarı hesaplamaları, ultra relativistik enerjilerde ağır-iyon ayrışma araştırmalarında ışın demeti izleme, radyoaktif iyon ışın demeti ya da nötron üretimi, atık dönüşümü ve nükleer malzemenin tespiti gibi bir çok araştırmadan bahsedilebilir. Fakat çeşitli laboratuvarlarda ölçülmüş fotonükleer tesir kesitlerinin büyüklükleri ve biçimleri arasında uyumsuzluklar vardır (CEN (Saclay), LLNL (Livermore) v.b). Bu uyumsuzluklar, verinin doğruluğunu ve güvenilirliğini azaltır. Bu çalışma 0 – 200 MeV uyarma enerjili fotonlarla ⁷Li, ⁹Be, ²³Na ve ³⁹K çekirdekleri için (g,n), (g,n)+(g,n+p) ve (g,abs) reaksiyonlarının tesir kesitlerinin teorik hesaplamalarını içerir. Hesaplanan tesir kesitleri ile referanstaki deneysel ve değerlendirilmiş tesir kesitleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: (g,n), ((g,n)+(g,n+p)), (g,abs) Reaksiyonları, TALYS 1.2 Benzetim Programı.

Photonuclear Reactions Application with Talys 1.2 Simulation Program in Nuclear Physics

Abstract: Photonuclear reaction data is very important for basic and applied research. Radiation shielding design, radiation transport analysis, activation analysis, astrophysical nucleosynthesis, safe guards and inspection technologies, human body radiotherapy absorbed dose calculations, beam monitoring in heavy-ion dissociation at ultra relativistic energies, radioactive ion beam or neutron production, waste transmutation and detection of nuclear materials and etc., can be mentioned. But there are discrepancies in both shapes and magnitudes between photonuclear cross sections measured in various laboratories (for example, CEN (Saclay), LLNL (Livermore) etc.). These discrepancies reduce the accuracy and reliability of data.

This study contains theoretical calculations of (g,n)+(g,n+p) and (g,abs) reactions for ⁷Li, ⁹Be, ²³Na and ³⁹K nuclei with 0 – 200 MeV incident energy photons by using Talys 1.2 codes. The calculated cross sections were compared with both the experimental data of cross sections and the evaluated cross sections.

Keywords: (g,n), ((g,n)+(g,n+p)), (g,abs) Reactions, TALYS 1.2 Simulation Program.

1. Giriş

Nükleer Fizik, Becquerel'in 1896 yılında radyoaktifliği keşfetmesi veya Rutherford'un 1911'de çekirdeğin varlığını ileri süren hipotezi ile başlar. Nükleer fizikteki deneysel ve teorik çalışmalar, 20. Yüzyıl fiziğinin gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin nükleer fizik laboratuvarlarındaki deneysel sonuçlar neticesinde;

- Kuarkların etkileşmesinden oluşan çeşitli problemlerin açığa kavuşturulması,
- Big Bang'den hemen sonra evrenin ilk oluşumu esnasında meydana gelen işlemlerin anlaşılması,

gibi bir çok inanılmaz problemin çözülmesine katkı sağlamaktadır. [1]

Nükleer fizik, teknolojik yeniliklerin ortaya çıkması ya da çıkarılması anlamında önemli bir bilim alanıdır ve günümüzde geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Bu alanlardan biri olan nükleer tıp, hem teşhis hem de tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Nükleer fizik sayesinde yapılan hızlandırıcılarla, vücuttaki dokular, kemikler ve organlar test edilmekte ve teşhislerde yardımcı olmaktadır.

Bu kullanım alanlarının dışında yine fizik ana bilim dalları dahilinde, nötron aktivasyon analizi (NAA) ile eser element analizi, hızlandırıcılar ve kütle spektroskopisi, alfa-bozunumu ile ^{238}Pu 0,6 W güç üretimi ile basit elektrik devrelerinin beslenmesi gibi uygulamaları mevcuttur [2].

Nükleer reaksiyonlar açısından bakacak olursak; elde edilen deneysel sonuçlar, temel çekirdek fiziğinin anlaşılabilmesi bakımından önem kazanmaktadır. Nükleer reaksiyonların enerji bağımlılığı detaylı olarak bilinmediği için çok sayıdaki enerji değeri için tesir kesitlerinin ve spektral yayınlanma şekillerinin incelenmesi gerekmektedir. Reaktörlerde üretilen geçici çekirdekler, genellikle kısa yarı ömürlüdür. Bu çekirdeklerin tesir kesitlerin ve yayınlanma spektrumlarının doğrudan ölçülmesi pek mümkün değildir. Bu anlamda, zaman kazanılması açısından yapılacaklar konusunda ilk olarak, bu tesir kesitlerinin teorik olarak önceden hesaplanması gereklidir.

Nükleer fizik, genellikle birbirleriyle bağlantılı ve uyumlu olan formülasyonlardan yoksundur. Örneğin, alfa, beta bozunumları, direk reaksiyonlar ve fisyon gibi farklı tip olayların açıklanması için farklı formülasyonlar kullanılmalıdır [1].

Fotonükleer reaksiyon için bu formülasyonlara baktığımızda, hedef çekirdeğin, fotonlar ile doğrudan uyarıldığı görülür. Ana ürün kanallarında, ağır çekirdeklerin yüksek Coulomb bariyerlerinden dolayı yaklaşık 30 MeV'in altındaki enerji bölgesinde sadece fisyon ve nötron yayılması vardır.

2. Fotonükleer Verinin Önemi

Fotonükleer reaksiyon tesir kesiti verisi, meydana çıkan uygulamalar ya da çeşitli nedenlerden dolayı bugün önemlidir. Bunlar arasında:

- Radyasyon taşıma analizleri ve radyasyon perdeleme modeli (nötron ayrışma enerjisi üzerindeki enerjiler ile birlikte fotonlar vasıtasıyla ilgilenilen duruma özgü fotonötronlar üretilir.- tipik olarak yaklaşık 8MeV üzeri),
- Radyoterapi süresince insan vücudunda absorbe edilmiş dozun hesaplamaları,
- Fisyon reaktörleri teknoloji ve fiziği (nötron dengesi üzerinde fotoreaksiyonların etkisi),
- Füzyon reaktörleri teknoloji ve fiziği (plazma tanısı ve perdeleme),
- Aktivasyon analizleri, güvenli koruma ve teknoloji teftişi (taşınabilir frenleme ışınımı cihazları kullanarak fotonükleer reaksiyonlar ile uyarılmış radyasyon vasıtasıyla malzemelerin tanımlanması),
- Nükleer kayıp dönüşümü ve,
- Astrofiziksel nükleosentez

sayılabilir.

Diğer alanlarda tam bir fotonükleer veri, reaktör çekirdeğinde doz ölçümünde zorunludur. Ayrıca, reaktörün yapısal malzemeleri içinde radyasyon hasarı tahmini (kayıp dönüşümü ve yer değişimi hesaplamaları), güvenli koruma (açıklama içinde hafif çekirdek üzerinde fotonla uyarılmış nötron üretimini alır) ve hızlı reaktör hesaplamaları (uranyum-toryum çemberi üzerinde etkisi) noktalarında bu nükleer veri önemlidir. Bununla birlikte, taşıma hesaplamaları için emisyon spektrumu ve hesaplanmış tesir kesiti açıklamaları zorunlu olmaktadır. Genel olarak yapı için veri, perdeleme ve hedef malzemeler için de frenleme radyasyonu değiştirilmelidir [3]

Fotonükleer veri için en önemli malzemelerin (43 element) listesi, aşağıda özetlenmiştir.

- Yapısal, perdeleme, ve hedef malzeme frenleme radyasyonu (Be, Al, Si, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo, Sn, Ta, W, Pb)
- Biyolojik malzemeler (C, N, O, Na, S, P, Cl, Ca).
- Bölünebilir malzemeler (Th, U, Np, Pu).
- Diğer malzemeler (H, K, Ge, Sr, Nb, Pd, Ag, Cd, Sb, Te, I, Cs, Sm, Tb).

3. Benzetim Programı Talys 1.2

Talys, Linux işletim sisteminde çalışan ve fortran programlama diline sahip, nükleer reaksiyonların analizi ve tahmini için oluşturulmuş bir bilgisayar kod programıdır. Simülasyon reaksiyonlarda, nötron, proton, döteryum, trityum, ^3He , α parçacıkları ve γ ışınları 1 keV – 250 MeV enerji bölgesinde çalışılabilir. Hedef çekirdek kütleleri için 12 ve daha ağır kütleli olma şartı [4]. Çalışmada kullanılan Talys 1.2 sürümü ile $5 < A \leq 339$ durumuna geliştirilmiştir. Nükleer model ve süreçlerin veri tabanı ile kombinasyonlarda, optik model, birleşik çekirdek istatistiksel teori, doğrudan reaksiyonlar (elastik ve elastik olmayan saçılmalar) ve denge öncesi süreçler teorik analiz tabanında yapılabilmektedir [5].

Talys çıktı dosyalarında,

- Esnek, esnek olmayan ve toplam tesir kesiti,
- Elastik saçılma açısal dağılımlar,
- Kesikli seviyelerde açısal dağılımlar,
- İzomerik ve taban durum tesir kesiti,
- Toplam parçacık (n,xn), (n,xp) v.b enerji ve çift katlı diferansiyel tesir kesitleri,
- Tekli ya da Çoklu emisyon tesir kesitleri,
- Ürün çekirdeklerin oluşum tesir kesiti sonuçları

elde edilebilir. Çıktı dosyalarında her bir tesir kesiti türü, farklı bir dosya ismi alır. Örneğin; ürün çekirdekler “rp03007.tot” şeklinde verilirken, tek nötron çıkışı tesir kesiti sonuçları “xs100000.tot” şeklindeki dosya isimleri ile tanımlanırlar.

Nükleer fizik reaksiyonları için birçok benzetim programı mevcuttur. Bu programlar arasında seçim tamamen programın benzetimi yapabilme becerisine bağlıdır. Talys 1.2 benzetim programı, fotonükleer reaksiyonları inceleme alanında başarılı olduğu literatürde belirttiği üzere tercihimizde bu yönden olmuştur.

4. Benzetim Programları ve Hesaplamaların Önemi

Literatürde var olan araştırmalar dikkate alındığında, teorik ve deneysel çalışmaların her ikisinin de kökeninde değerlendirme metodlarında yapılan çalışmalar anlamında son zamanlarda umut veren gelişmeler söz konusudur. Buna rağmen, değerlendirilmiş veri için araştırma gereksinimleri devam etmektedir. Uluslararası Nükleer Veri Komisyonu Koordineli Araştırma projesi (INDC-CRP) gibi, uluslararası olarak uzlaşmış değerlendirilmiş fotonükleer veri dosyası

geliştirmek için koordineli çabalar önyak olmuştur (IAEA 2000). Uluslararası Nükleer Veri Komitesi ile 1993 ve 1995 yılları Viyana oturumlarında bu dosyalar uygun görülmüş ve 1996 yılında yine IAEA öncülüğünde “Compilation and Evaluation of Photonuclear Data for Applications” ismi altında onaylanmıştır. CRP'nin son hedefi, taşıma simülasyon kodları içinde kullanılmak üzere, değerlendirilmiş fotonükleer reaksiyon tesir kesitinin uluslararası olarak geçerli veri dosyalarını geliştirmeye yöneliktir. Foton terapisinde absorbe edilen dozun hesaplamaları son günlerde kullanılan ve proje kapsamında elde edilen verilere bir örnektir.

Gama reaksiyonlarına baktığımızda, en belirgin ve kapsamlı derleme çalışması IAEA bünyesinde hazırlanmış olan “Handbook on Photonuclear Data for Applications Cross Sections and Spectra” dır.

Farklı reaksiyon modellerinde ve mekanizmalarında, reaksiyon tesir kesitlerinin ölçüldüğü çalışmalar mevcuttur. Uyarılmış nükleon (exciton) modeli [6], çok adımlı denge öncesi quantum teorisi, doğrudan ve çok adımlı birleşme reaksiyonları [7], hibrid model çalışması [8], çok adımlı denge öncesi emisyon süreçlerinde döterona benzer (quasideuteron) rejiminde açısal dağılım sistematiği [9], yüksek enerjilerde reaksiyon sistematiği [10] ve evaporasyon teorisi [11] çalışmaları örnek teşkil etmektedir.

GDR ve QD rejimlerinde varolan sistematiğlerden daha önce basedilmişti. Deneysel çalışmalar göz önüne alındığında, LLNL ve CEN araştırma gruplarının yapmış oldukları çalışmalar, izotop çalışmaları olduğu gibi doğal çekirdekleri de kapsamaktadır.

$A = 90$ kütlelerinde büyük rezonans bölgesi çalışmaları [12], bazı çekirdekler için tam fotonötron tesir kesitleri [13], İri Dipol Rezonans (GDR) fotonötron tesir kesiti katkıları çalışması [14], Doğal Bakır ve izotopları için fotonötron tesir kesitleri [15], kabuk modeli dahilinde s-d kabuğunda çekirdekte GDR'ye fotonötron katkısı [16] çalışmalarıdır. Bu çalışmalardan kabuk modeli çalışmasında bahsi geçen kabuklar için fotonükleer reaksiyon tesir kesitleri ölçülmüş ve aralarındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. ^{181}Ta ve ^{165}Ho izotoplarının Fotonötron tesir kesiti [17], Be'nin üç cisim fotoparçalanması araştırması [18] ve özellikle tek enerjili nötron yakalama fotonötron tesir kesiti [19] önem kazanmaktadır. Bunlardan özellikle, Green ve Donahue'nin çalışması frenleme radyasyonunun eksiklik ve belirsizliklerinin sunulduğu, yok etme metodunun kullanıldığı, daha doğru bir tesir kesiti sunmak için yapıldığı bir çalışmadır.

Tüm bu literatür bilgileri göz önüne alındığında nükleer fizik için gerekli olan hesaplamaların önemi görülmektedir. Bu içinden çıkılmaz neredeyse imkansız olan hesaplamaların yapılması konusunda

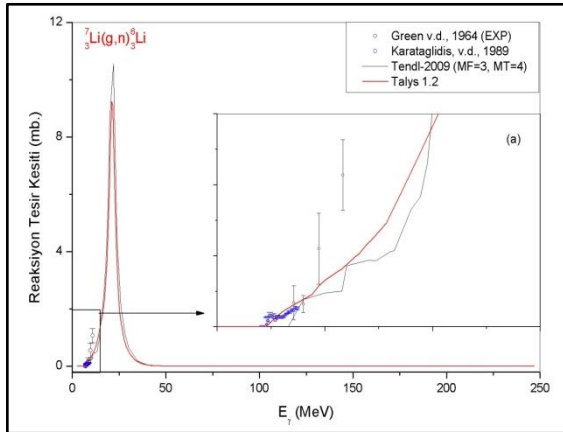
benzetim programlarına duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle benzetim programları, gerek bu hesaplamaların yapılabilmesi gerekse var olan deneysel çalışmaların sistematığının anlaşılması, buna bağlı olarak reaksiyonlar için düşünülen yaklaşım ve metotların geliştirilmesi için çok büyük kolaylık teşkil ederler.

5. Teorik Hesaplamalar

${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{23}\text{Na}$ ve ${}^{39}\text{K}$ çekirdeklerinden, deneysel verilerinin bulunduğu (γ, n) , $((\gamma, n) + (\gamma, n+p))$ ve (γ, abs) reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamaları 0 - 200 MeV enerji bölgesinde Talys 1.2 nükleer reaksiyon simülasyon program kodları ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile mevcut deneysel veriler (EXFOR) ve diğer teorik hesaplama sonuçları (Tendl, Endf, Jendf) birleştirilerek elde edilen reaksiyon tesir kesitleri grafikleri sunulmuştur.

5.1. ${}^7\text{Li}(\gamma, n){}^6\text{Li}$ Reaksiyonu

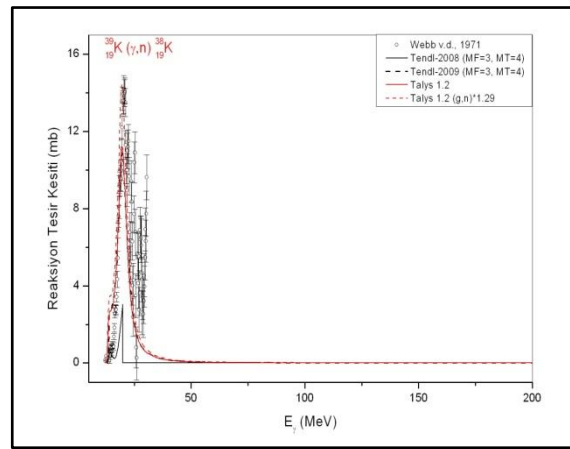
Grafik 1 de hedef ${}^7\text{Li}$ çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 0 - 200 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak hesaplanan (g, n) reaksiyonu tesir kesiti ve mevcut deneysel veriler [19,20] ve Tendl hesaplanmış reaksiyon tesir kesiti verileri ile uyumu incelenmiştir. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden ve Tendl-2009 verileri de ENDF kütüphanesinden alınmıştır



Grafik1 ${}^7\text{Li}$ çekirdeği (g, n) reaksiyonu tesir kesitinin incelenmesi. Deneysel veriler, siyah [19] ve mavi [20] \circ sembolü, Tendl -2009 verisi siyah katı çizgi ve bu çalışmanın sonucu olan Talys 1.2 sonuçları ise kırmızı katı çizgi ile gösterilmiştir.

5.2. ${}^{39}\text{K}(\gamma, n){}^{38}\text{K}$ Reaksiyonu

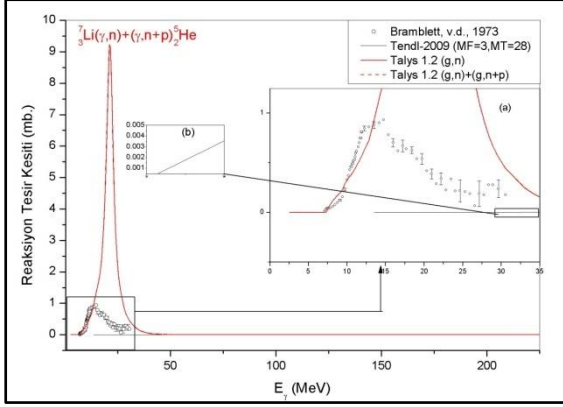
Grafik 2' de hedef ${}^{39}\text{K}$ çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 0 - 200 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak hesaplanan (g, n) reaksiyonu tesir kesiti ve mevcut veriler [21] ve Tendl hesaplanmış reaksiyon tesir kesiti verilerinin deneysel sonuçlar ile uyumu incelenmiştir. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden ve Tendl-2009 verileri de ENDF kütüphanesinden alınmıştır. Çalışmada kullanılan ve yukarıda bahsedilen deneysel çalışmanın veri aralığı 12.3 - 30.5 MeV bölgesidir.



Grafik2 ${}^{39}\text{K}$ çekirdeği (g, n) reaksiyonu tesir kesitinin incelenmesi. Deneysel veri, siyah \circ sembolü [21], Tendl -2008 siyah katı çizgi, Tendl-2009 siyah kesikli çizgi ve bu çalışmanın sonucu olan Talys 1.2 sonuçları ise kırmızı katı çizgi ve verilere fit edilmiş eğrisi kırmızı kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

5.3. ${}^7\text{Li}((\gamma, n) + (\gamma, n+p)){}^5\text{He}$ Reaksiyonu

Grafik 3' de hedef ${}^7\text{Li}$ çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 0 - 200 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak hesaplanan $((g, n) + (g, n+p))$ reaksiyonu tesir kesitinin, mevcut deneysel veriler [22] ve Tendl hesaplanmış reaksiyon tesir kesiti verileri ile uyumu incelenmiştir. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden, ve Tendl-2009 verileri de ENDF kütüphanesinden alınmıştır.

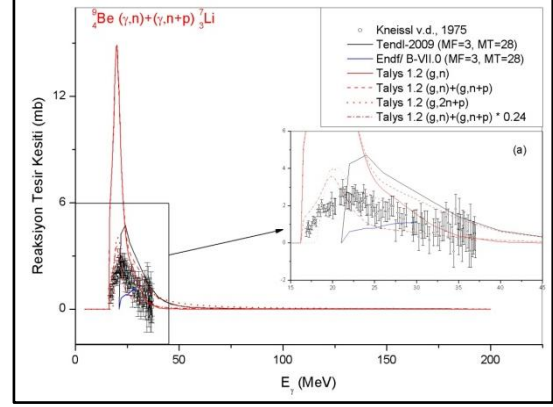


Grafik 3 ${}^7\text{Li}$ çekirdeği $(g,n) + (g,n+p)$ reaksiyonu tesir kesitinin incelenmesi. Deneysel veri, siyah \circ sembolü [22], Tendl -2009 siyah katı çizgi ve bu çalışmanın sonucu olan Talys 1.2 sonuçlarından (g,n) eğrisi kırmızı katı çizgi ve $((g,n) + (g,n+p))$ eğrisi de kesikli kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.

5.4. ${}^9\text{Be} ((g,n)+(g,n+p)) {}^7\text{Li}$ Reaksiyonu

Grafik 4'de hedef ${}^9\text{Be}$ çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 0 - 200 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak hesaplanan $((g,n) + (g,n+p))$ reaksiyonu tesir kesitinin, mevcut deneysel veriler [23], Endf/ B-VII.0 ve Tendl hesaplanmış reaksiyon tesir kesiti verileri ile uyumu incelenmiştir. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden, ve Tendl-2009 ve ENDF/ B- VII.0 verileri de ENDF kütüphanesinden alınmıştır.

Grafik 2 'de ${}^9\text{Be}$ çekirdeğine ait $((g,n) + (g,n+p))$ reaksiyonu için literatürde bulunan ve referans alınan veriler 16.87 – 36.99 MeV enerji bölgesindedir. Çalışılan bölgenin enerji bölgesinin genişliği ve deneysel verinin de yukarıda bahsedilen enerji bölgesinde olmasından ötürü Grafik 4.18 içinde siyah çerçeveye alınan alan odaklanarak yine grafik içerisinde (a) ile tanımlanan çerçevede gösterilmiştir.

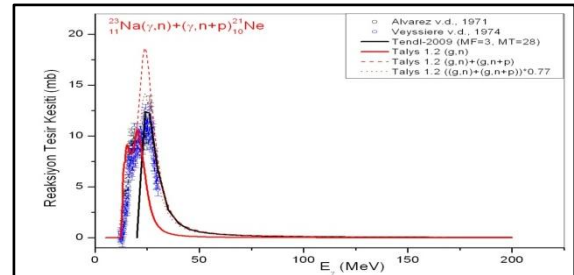


Grafik 4 ${}^9\text{Be}$ çekirdeği $(g,n) + (g,n+p)$ reaksiyonu tesir kesitinin incelenmesi. Deneysel veri, siyah \circ sembolü [23], Tendl -2009 siyah katı çizgi, Endf/B – VII.0 mavi katı çizgi ve bu çalışmanın sonucu olan Talys 1.2 sonuçlarından (g,n) eğrisi kırmızı katı çizgi, $((g,n) + (g,n+p))$ eğrisi kesikli kırmızı çizgi, $(g,2n+p)$ eğrisi noktalı kırmızı çizgi ve $((g,n) + (g,n+p)) * 0.24$ eğrisi de kırmızı kesikli-noktalı çizgi ile gösterilmiştir.

5.5. ${}^{23}\text{Na} ((g,n)+(g,n+p)) {}^{23}\text{Ne}$ Reaksiyonu

Grafik 5'de hedef ${}^{23}\text{Na}$ çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 0 - 200 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak hesaplanan $((g,n) + (g,n+p))$ reaksiyonu tesir kesitinin, mevcut deneysel veriler [16,24] ve Tendl hesaplanmış reaksiyon tesir kesiti verileri ile uyumu incelenmiştir. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden, ve Tendl-2009 verileri de ENDF kütüphanesinden alınmıştır.

Grafik 5' de hedef ${}^{23}\text{Na}$ çekirdeğine ait $((g,n) + (g,n+p))$ reaksiyonu için literatürde bulunan ve referans alınan veriler 12.12 – 30.14 MeV enerji bölgesindedir.

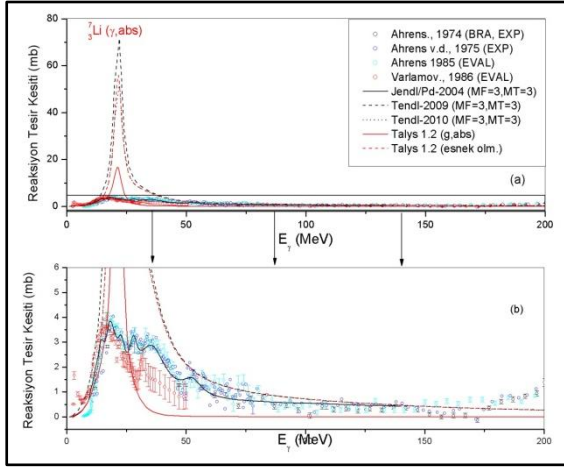


Grafik5 ${}^{23}\text{Na}$ çekirdeği $(g,n) + (g,n+p)$ reaksiyonu tesir kesitinin incelenmesi. Deneysel veri, siyah \circ sembolü [25], Tendl -2009 siyah katı çizgi, ve bu çalışmanın sonucu olan Talys 1.2 sonuçlarından (g,n) eğrisi kırmızı katı çizgi, $((g,n) + (g,n+p))$ eğrisi kesikli kırmızı çizgi, ile gösterilmiştir.

5.6 ${}^7\text{Li}$ (g,abs) Reaksiyonu

Grafik 6' da hedef ${}^7\text{Li}$ çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 0 - 200 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak hesaplanan (g,abs) reaksiyonu tesir kesitinin, mevcut deneysel veriler[26,27,28,29] ile Tendl 2009, Tendl 2010 ve Jendl/Pd 2004 hesaplanmış reaksiyon tesir kesiti verileri ile uyumu incelenmiştir. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden, ve Tendl-2009 verileri de ENDF kütüphanesinden alınmıştır.

Deneysel veriler ve Tendl ve Talys 1.2 sonuçlarının maksimum tesir kesitlerindeki farklılıklarından ötürü, Grafik 4.6 içinde deneysel veri bölgesine odaklama yapılarak Grafik 4.6(b) kısmı oluşturulmuş, asli grafik de Grafik 4.6(a) olarak tanımlanmıştır.

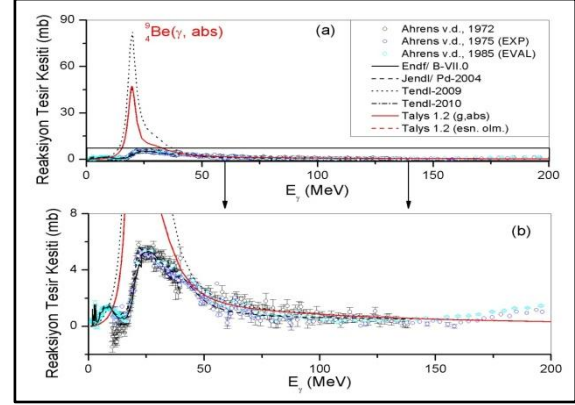


Grafik 6 ${}^7\text{Li}$ çekirdeğinden(g,abs) reaksiyonu tesir kesitinin incelenmesi. Deneysel veriler, siyah \circ sembolü [26], mavi \circ sembolü[27], açık mavi \circ sembolü [28], kırmızı \circ sembolü [29], Jendl/Pd-2004 siyah katı çizgi, Tendl -2009 siyah kesikli çizgi Tendl - 2010 siyah noktali çizgi ve bu çalışmanın sonucu olan Talys 1.2 sonuçlarından (g, abs) eğrisi kırmızı katı çizgi , (esn. olm.) eğrisi kesikli kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.

5.7 ${}^9\text{Be}$ (g,abs) Reaksiyonu

Grafik 4.7' de hedef ${}^9\text{Be}$ çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 0 - 200 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak hesaplanan (g,abs) reaksiyonu tesir kesitinin, mevcut deneysel veriler [26,27,28] ile Tendl 2009, Tendl 2010, Jendl/Pd 2004 ve Endf/B VII.0 hesaplanmış reaksiyon tesir kesiti verileri ile uyumu incelenmiştir. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden (İnt. Kayn. 7), Tendl-2009, Jendl/Pd-2004 ve Endf/B-VII.0 verileri de ENDF kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 8).

Deneysel veriler ve Tendl ve Talys 1.2 sonuçlarının maksimum tesir kesitlerindeki farklılıklarından ötürü, Grafik 4.7 içinde deneysel veri bölgesine odaklama yapılarak Grafik 4.7(b) kısmı oluşturulmuş, asli grafik Grafik 4.7(a) olarak tanımlanmıştır.



Grafik 7 ${}^9\text{Be}$ çekirdeğinden(g,abs) reaksiyonu tesir kesitinin incelenmesi. Deneysel veriler, siyah \circ sembolü [26], mavi \circ sembolü [27], açık mavi \circ sembolü [28], Jendl/Pd-2004 siyah kesikli çizgi, Tendl -2009 siyah noktali çizgi Tendl - 2010 siyah kesikli - noktali çizgi ve bu çalışmanın sonucu olan Talys 1.2 sonuçlarından (g, abs) eğrisi kırmızı katı çizgi , (esn. olm.) eğrisi kesikli kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.

6. Tartışma-Sonuç

Gama uyarma reaksiyonlarında, GDR ($E < 30$) ve QD bölgesinde ($150 > E > 40$) periyodik cetvelin I-A ve II-A grubunda bulunan hafif ve ağır çekirdekler için fotonötron (g,n), (g,n)+(g,n+p) ve (g,abs) reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamaları nükleer reaksiyon modelleri kullanılarak yapılmıştır. Bu hesaplamalar Uluslar arası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA)'na ait veri tabanları EXFOR ve ENDF kütüphanelerinden alınmış deneysel ve hesaplanmış sonuçlar ile karşılaştırması yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan kısım için, GDR parametreleri, ağır çekirdek durumunda bileşik çekirdek ve bunların yanı sıra gama emilim tesir kesiti için de Fotoabsorbsiyon Modeli kullanılmıştır.

Reaksiyon türlerinden (g,n) reaksiyonları incelenecek olursa, hesaplanmış veri grubundan olan Tendl - 2008 verisine ait eğrilerin çalışmanın yapıldığı enerji aralıkları ve çekirdekler boyunca sürekli olarak deneysel veriler ile uyumsuz olduğu grafiklerde açıkça görülmektedir. Tendl - 2008 verilerinin, çalışması yapılan reaksiyonlardaki bu sistematiksel eksiklik yada hatalarının yanında bir üst sürüm olan Tendl - 2009 verisine ait eğriler, genel olarak deneysel veriler ile kısmen uyumludur. Fakat her grafik denilecek kadar sık karşılaşılan ve yaklaşık olarak 10 – 12 MeV enerji aralığına düşen karakteristik dalgalanmalar görülmüştür. Bu durum Talys 1.2'de görülmemektedir. Çalışmanın büyük bir çoğunluğunda özellikle maksimum tesir kesiti değerleri ve bu tesir kesitlerine karşılık enerjilerde de net olarak görülen uyumlar, kod programının başarısını göz önüne sermektedir. Exfor veri kütüphanesinden alınan farklı tipteki (EVAL, BRS, BRA) verilere rağmen uyumluluğunu sürdürmekte fakat göze çarpan yakınsamalar EVAL veri tipinde olmaktadır. BRS verileri ile ağır çekirdeklerde (Ba, Cs..) uyumsuz görülmesine rağmen referans olarak alınan ve elde edilen spektrumun belli bir parçası üzerinden elde edilen ortalama değer olması da bu uyumsuzlukta önemlidir. Program dahilinde edilen değerlerin fit edilmesi ile bu ortalama değer yaklaşık olarak grafiklerden de görülmektedir. Fakat deneysel verilerin sadece GDR bölgesi ile sınırlı kalmış olması yorum yapmayı güçleştirmektedir. Fakat tesir kesiti değerlerinin kütle numarası arttıkça artış gösterdiği bilgisi, grafiklerin biraz incelenmesi ile elde edilebilmektedir. Reaksiyona ait olan karakteristik 90° lik saçılma, tüm çekirdeklere ait grafiklerde göze çarpmaktadır. Atom numarası arttıkça deneysel veriler ile olan net uyum grafiklerden açıkça görülmektedir. Bu durum, özellikle ^{84}Sr izotopu ile başlamaktadır. GDR mekanizmasının bir başka karakteristikleri olan rezonans enerji genişliği 5 – 8 MeV, QD bölgesi olan ve π -mezon eşik enerjisi ($\cong 140$ MeV) ile GDR bölgesi arasında

kalan ve fotonun nükleon çifti ile olan etkileşimi ile ilişkilidir. Bu bölgede tesir kesitinin yavaş yavaş azalma karakteristiği teorik sonuçlardan da görülmektedir.

(g,n)+(g,n+p)reaksiyonları göz önüne alındığında yukarıdaki uyum ve uyumsuzlukların bu reaksiyon tipi içinde aynı olduğu grafiklerde görülmektedir. GDR mekanizmalarında yaklaşık olarak 5 – 15 MeV arasında olan çift oluşumu, çalışmada ele alınan çekirdeklerde net olarak görülmüştür. Grafiklerde 20 – 35 MeV bölgesinde oluşan 2. Tesir kesiti zirveleri reaksiyonda protonun baskın olduğu noktaları işaret etmektedir. Bu durum kütle numarası arttıkça tersine dönmekte olduğu ve proton çıkışının reaksiyon tesir kesitine olan katkısının nötrona göre çok çok az olduğunu iki reaksiyon tipinin de eğrilerinin bahsedilen durum için çakışık olması anlatmaktadır. Bu durumlar grafikler belirgin olarak görülmektedir. Yapılan çalışmada özellikle Li, Be, Na, K izotoplarının Talys 1.2 ve referans alınan IAEA RIPL-3 kütüphanesinde de bulunmayışı bu hesaplamalarda olası hatayı daha da arttırmıştır.

Grafik 4.6 bölgesi, iki farklı hesaplama türü ile elde edilen (g,abs) verilerini barındırmaktadır. Çift oluşumunun gözlemlendiği enerji aralıklarından farklılaşan bu süreç, reaksiyona giren fotonun uyarma enerjilerine bağlı olarak kopan diğer parçacıkların (^2H , ^3H , ^3He , ve α) eşik enerjileri ve bunlara bağlı olarak diğer çift oluşumlarının eşik enerjileri neticesinde düşük enerji seviyelerinde de tesir kesiti elde edilmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırıldığında Tendl/Pd-2004 sistematığının hemen tüm çekirdeklerde gama emilim sonuçları ile bire bir uyumlu olduğu görülmektedir. Tendl verileri ve Talys 1.2 sonuçları değerlendirildiğinde, Talys 1.2 sonuçlarında özellikle kısmi tesir kesitlerinin toplamı ile elde edilen ve (g,abs) olarak gösterilen sonuçların diğer sonuçlara göre EXFOR verileri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Grafiklerde gösterilen (esn. olm.) eğrisi, uluslar arası veri tabanlarındaki kodlara istinaden program dahilinde çıktısı alınabilen esnek olmayan saçılma tesir kesitini göstermektedir. Bu sonuç Tendl veri kütüphanesinin eski verilerinden daha iyi sonuçlar verdiği gibi bazı çekirdeklerde, Tendl eğrisi dışındaki tüm eğrilerin üst üste bindiği gözlenmektedir. Bu durumun daha çok çekirdeklerin kütle numaralarının artması neticesinde daha da belirgin hale geldiği çalışmada görülmüştür. Sistematiklerin ve reaksiyon mekanizmalarının ağır çekirdeklerde daha düzgün çalıştığı sonucu çıkarılabilir. Fakat bu çıkarım için yeterlilik arz eden veri kümesi, teorik olarak değerlendirilen çekirdeklerin geniş kütle skalasında olmasından ötürü bu çalışmada oluşmuş değildir. Genel olarak reaksiyon eğrilerine bakıldığında çalışılan çekirdeklerde verisi mevcut olduğunda

Tendl – 2010 verilerinin, bu çalışmada elde edilen Talys 1.2 hesaplamaları ile çakışık eğriler vermesi, çalışmanın yeterliliğinin ortaya konulması adına yeterli ve gerekli bir durumdur. IAEA sistematığının hafif çekirdeklerde ve alçak enerji düzeyinde yeterli olmadığı bilinmekteydi. Çalışmada alınan sonuçlar değerlendirildiğinde, bu yapı ve uyumsuzluk 0 – 45 MeV uyarma enerjisi bölgesinde grafiklerden de görülmektedir. Ca çekirdeği ile ortadan kalkmaya başlayan bu uyumsuzluk, atom numarası arttıkça yerini uyuma bırakmaktadır. Rezonans bölgesindeki tesir kesitlerinin şekil farklılığına rağmen, π -mezon bölgesine kadar her bir nükleon için absorpsiyon kuvveti neredeyse aynıdır ve bu durum, çekirdekteki etkin nükleon – nükleon kuvvetine dayandırılmıştır.

Deneysel veriler ile var olan uyumsuzluklar değerlendirildiğinde, farklı laboratuvarlar, farklı ölçüm ve hesaplama teknikleri (bu durum literatür kısmında anlatılmıştır.), sistematik farklılıklar neticesinde, özellikle hafif çekirdekleri içine alan, yüksek hata payları göze çarpmaktadır. Reaksiyon enerjisi açısından tepkimelerde, GDR tepe enerjisi üzerinde büyük içsel hataların oluştuğu bilinmekteydi. GDR bölgesinde gama kuvvet fonksiyonları dahilinde etkin olan gelen fotonun enerjisi bu duruma sebep olmaktadır. Deneysel verilerin yanında, teorik yapıda da bu durum açıkça gözlenmiştir. Deneysel veriler ile var olan belirli uyumsuzluklar, bu çalışmada elde edilen verilerin bir makaslama ya da düzeltmeye uğramamış olmasındandır. Bremsstrahlung spektrumu birbirine çok yakın enerjilerde yollanan fotonlardan elde edilmekteydi, fakat BRA verisi için 3700 – 4700 veriden elde edilen yaklaşık 50 – 60 veri kullanılmaktadır ki, bu da BRA tipi çalışmalar için var olan uyumsuzluğa bir sebep olmaktadır.

Genellemeler dahilinde reaksiyon tipleri ve uluslar arası veri tabanından alınan veri tiplerindeki çeşitlilik göz önüne alındığında, Talys 1.2 nükleer kod programının sonuçlarının farklı değerlerde ve oranlarda bu veriler ile olan uyumu ve GDR bölgesinde fotonükleer reaksiyonların karakteristik yapıları gözlenmiştir.

7. Kaynaklar

- [1] Krane, K. S. (2006), Introductory Nuclear Physics, (Çeviri Editörü: B.Şarer), **Nükleer Fizik 1. Cilt**, II. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara.
- [2] Krane, K. S., 2002, Introductory Nuclear Physics, (Çeviri Editörü: B.Şarer), **Nükleer Fizik 2. Cilt**, Palme Yayıncılık, Ankara
- [3] Dietrich, S. S. and Berman, B. B., 1993, Giant Dipole Resonance Parameters, IAEA-NDS-145
- [4] Koning, A. And Duijvestijn, M., 2007, “New Nuclear Data Evaluations for Ca and Sc Isotopes”, Jou. of Nucl. Sci. and Tech., Vol. 44, No. 6, pp. 823 – 837
- [5] Koning, A. J. and Duijvestijn, M. C., 2006, “New nuclear data evaluations for Ge isotopes”, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research Sec. B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Vol. 248, Iss. 2, pp. 197 - 224
- [6] Wu, J. R. and Chang, C. C., 1977, “Pre-equilibrium particle decay in the photonuclear reactions”, Phys. Rev. C 16, Iss. 5, pp. 1812–1824
- [7] Feshbach H., Kerman, A. and Koonin, S., 1980, “The statistical theory of multi-step compound and direct reactions”, Annals of Physics, Vol. 125, Iss. 2, pp. 429 - 476
- [8] Blann, M. and Vonach, H. K., 1983, “Global test of modified precompound decay models”, Phys. Rev. C 28, Iss. 4, pp.1475–1492,
- [9] Chadwick, M. B., Young, P. G., Macfarlane, R. E., White, M. C. and Little, R. C., 1995, “Photonuclear angular distribution systematic in the quasideuteron regime”, Journal of Nucl. Sci. and Tec., Vol. 32, Iss. 11, pp. 1154 - 1158
- [10] Kalbach, C., 1988, “Systematics of continuum angular distributions: Extensions to higher energies”, Phys. Rev. C 37, Iss. 6, pp. 2350–2370
- [11] Weisskopf, V., 1937, “Statistics and Nuclear Reactions”, Phys. Rev. 52, Iss. 4, pp.295–303
- [12] Lepretre, A., Beil, H., Bergère, R., Carlos, P. and Sugawara, M., 1971, “The giant dipole states in the A = 90 mass region”, Nuclear Physics A, Vol. 17, Iss. 3, pp. 609-628
- [13] Berman, L., Pywell, R. E., Dietrich, S. S., Thompson, M. N., McNeil, K. G. and Jury, J.W., 1986, “Absolute photoneutron cross sections for Zr, I, Pr, Au, and Pb”, Phys. Rev. C 36, pp. 1286–1292
- [14] Carlos, P., Beil, H., Bergère, R., Fagot, J., Lepretre A., Veyssière, A. and Solodukhov, G. V., 1976, “A study of the photoneutron contribution to the giant dipole resonance of nuclei in the 64 less-than over equal to A less-than over equal to 86 mass region,” Nuclear Physics A, Vol. 258, Iss. 2, p. 365-387
- [15] Fultz, S.C., Bramblett, R. L., Caldwell, J. T. and Harvey, R. R., 1964, “Photoneutron Cross Sections for Natural Cu, Cu⁶³, and Cu⁶⁵”, Phys. Rev., Vol. 133, Iss. 5B, pp.1149 - 1154
- [16] Veyssiere, A., Beil, H., Bergere, R., Carlos, P., Lepretre, A. and De Miniac, A., 1974, “A study of the photoneutron contribution to the giant dipole resonance of s-d shell nuclei”, Nucl. Phys., Sec. A, Vol.227, pp.513
- [17] Bramblett, R. L., Berman, B. L., Kelly, M. A. and Caldwell, J. T., 1973, “Photoneutron cross sections for ⁷Li”, Int.Conf.on

- Photonuclear Reactions, Pacific Grove 1973, Vol.1, pp. 175
- [18] Alburger, D. E., Chrien, R. E., Sutter, R. J. and Wishart J. F., 2004, "Search for the three-body photodisintegration of Be", Phys. Rev. C, Vol. 70, Iss. 6,
- [19] Green, L. and Donahue, D. J., 1964, "Photoneutron Cross Sections With Monoenergetic Neutron-Capture Gamma Rays" Phys. Rev., Vol.135, Iss. 3B, pp. 701–705
- [20] Karataglidis, S., Zubanov, D., Harty, P. D. and Thompson M. N., 1989, "The Li-7(γ, n)Li-6 cross section near threshold", Nuclear Physics, Section A, Vol.501, Iss.1, pp.108
- [21] Webb, D. V., Muirhead, E. G. and Spicer, B. M., 1971, "The 39K photoneutron cross section to the 38K isomeric state", Nuclear Physics, Section A Vol.171, pp.324 - 336
- [22] Bramblett, R. L., Berman, B. L., Kelly, M. A. and Caldwell, J. T., 1973, "Photoneutron cross sections for ^7Li ", Int. Conf. on Photonuclear Reactions, Pacific Grove 1973, Vol.1, pp. 175
- [23] Kneissl, U., Kuhl, G., Leister, K. H. and Weller, A., 1975, "Photoneutron cross sections for ^9Be obtained with quasi-monoenergetic photons", Nuclear Physics A, Vol. 247, Iss. 1, pp. 91-102
- [24] Alvarez, R. A., Berman, B. L., Lasher, D. R., Phillips, T. W., and Fultz, S. C., 1971, "Photoneutron cross sections for ^{23}Na and ^{25}Mg ", Phys. Review, Part C, Nuclear Physics, Vol.4, pp.1673
- [25] Fultz, S.C., Bramblett, R. L., Caldwell, J. T. and Harvey, R. R., 1964, "Photoneutron Cross Sections for Natural Cu, Cu^{63} , and Cu^{65} ", Phys. Rev., Vol. 133, Iss. 5B, pp.1149 - 1154
- [26] Ahrens, J., Borchert, H., Czock, K. H., Eppler, H. B., Kroning, M., Riehn, R., Zieger, A. and Ziegler, B., 1975, "Total nuclear photon absorption cross sections for some light elements", Nuclear Physics A Vol. 251, Iss. 3, pp. 479–492
- [27] Ahrens, J., 1985, "The total absorption of photons by nuclei", Nucl. Phys., A, Vol.446, Iss. 1-2, pp. 229 – 239
- [28] Ahrens, J., Eppler, H. B., Gimm, H., Kroning, M., Gundrum, H., Riehn, R., Zieger, A., and Ziegler, B., 1974, "Total π meson photoproduction for Lithium and Beryllium", Physics Letters, Section B, Vol. 52, Iss. 1, pp. 43 – 45
- [29] Varlamov, V.V., Surgutanov, V. V., Chernyaev, A. P. and Efimkin, N. G., 1986, "Photonuclear data. Photodisintegration of Lithium", Fotojad. Dannye - Photodisint. of Li, Suppl., Moscow 1986 (1986) USSR