

Gamma Kuvvet Fonksiyonlarının Bazı Samaryum İzotoplarının (γ,n) ve ($\gamma,2n$) Reaksiyonlarının Tesir Kesiti Hesaplamaları Üzerindeki Etkileri

Mert ŞEKERCİ^{1*} 

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fizik Bölümü, Isparta, 32260, Türkiye

Geliş / Received: 01/04/2020, Kabul / Accepted: 31/08/2020

Öz

Teorik modeller ile yapılan çalışmalar, deneysel verilerin mevcut olmadığı veya deneysel çalışmaların gerçekleştirilemediği durumlarda araştırmacıların farklı veriler hakkında öngörü sahibi olmaları sağlar. Bu verilerden biri de, bir reaksiyonun meydana gelme olasılığı olarak tanımlanabilen tesir kesiti değeridir. Ölçülebilen veya hesaplanabilen bir değer olan tesir kesitinin hesaplanmasında, çeşitli modellerin farklı etkilerinin araştırılması bu değer için doğru hesaplanabilmesi açısından son derece önemlidir. Bu bağlamda, bu çalışmada ^{148,150,152,154}Sm izotoplarının (γ,n) ve ($\gamma,2n$) reaksiyonlarında tesir kesiti hesaplamalarında farklı gama kuvvet fonksiyonlarının etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Hesaplamalarda TALYS 1.9 kodu kullanılmış ve elde edilen hesaplama sonuçları literatürde mevcut olan deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar ve deneysel veriler kullanılarak göreceli bağıl varyans ve ortalama ağırlıklı sapma analizleri de yapılmıştır. Bu sayede her bir reaksiyon için deneysel veriler ile en uyumlu sonuçların elde edilmesini sağlayan gama kuvvet fonksiyonu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Samaryum; Tesir kesiti; Gama kuvvet fonksiyonları; TALYS 1.9

Effects of Gamma Strength Functions on Cross-Section Calculations of Some Samarium Isotopes (γ,n) and ($\gamma,2n$) Reactions

Abstract

Studies with theoretical models allow researchers to have predictions about different data when experimental data are not available or experimental studies cannot be performed. One of these data is the cross-section value, which can be defined as the probability of occurrence of a reaction. In calculating the cross section, which is a value that can be measured or calculated, investigating the different effects of various models is extremely important in order to calculate this value correctly. In this context, in this study, it was aimed to investigate the effects of different gamma strength functions in the cross-section calculations in the (γ,n) and ($\gamma,2n$) reactions of ^{148,150,152,154}Sm isotopes. TALYS 1.9 code was used in the calculations and the results obtained were compared with the experimental data available in the literature. In addition, relative variance and mean weighted deviation analyzes were performed using the obtained results and experimental data. By this way, the gamma strength functions, which provide the most compatible results with the experimental data for each reaction, has been determined.

Keywords: Samarium; Cross-section; Gamma strength functions; TALYS 1.9

1. Giriş

Nükleer fizikle ilgili çalışmaların, 1896'da Henri Becquerel tarafından radyoaktivitenin keşfedilmesi ile başladığı bilinen bir gerçektir (Becquerel, 1986; Martin, 2006). Bu olayın sonrasında bu alanda gerçekleştirilen pek çok deneysel ve teorik çalışma, bilimsel ilerleme ve teknolojik gelişmeye katkı sağlamıştır. Günümüzde; endüstri ve tıp uygulamaları başta olmak üzere nükleer reaksiyonlar ve onların çıktıkları pek çok alanda doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, nükleer

reaksiyonlar ile reaksiyon mekanizmalarının daha iyi anlaşılması için gerçekleştirilen pek çok deneysel ve teorik çalışma bulunmaktadır. Deneysel nükleer fizik çalışmalarının daha yüksek öneme sahip olduğu gibi bir algı olmasına rağmen, deneysel çalışmaların gerçekleştirilemeyeceği durumlarda araştırmacıların özel bir reaksiyona ait gözlemlenebilir parametreleri elde ederek incelemelerini sağlayacak teorik yöntem ve modeller de geliştirilmiştir. Bu modeller ile elde edilen sonuçlar; mevcut deneysel veriler ile kıyaslanarak modellerin daha tutarlı ve

deneysel verilerin olmadığı durumlarda kabul edilebilecek sonuçlar verebilecek şekilde geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu sayede, deneysel çalışmaların yapılamadığı durumlarda teorik çalışmaların araştırmacılara bir öngörü sağlaması amaçlanmıştır. Bir nükleer reaksiyonun gerçekleşme ihtimali olarak tanımlanabilecek tesir kesiti, incelenen reaksiyonlar ve süreçleri hakkında detaylı bilgi edinilebilmesine olanak sağladığından oldukça önemlidir. Bu bağlamda, nükleer reaksiyonlara ait gözlemlenebilir bir parametre olan ve teorik olarak da hesaplanabilen tesir kesiti ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır (Kaplan vd., 2013; Yiğit vd., 2013; Kaplan vd., 2014; Kara vd., 2015; Yiğit vd., 2016; Canbula, 2017; Kavun vd., 2019; Yiğit ve Bostan, 2019). Tesir kesiti değerlerinin hesaplanmasında, reaksiyon mekanizmalarının etkilerinin incelenmesi amacıyla denge ve denge öncesi gibi nükleer reaksiyon mekanizmaları ile ilgili teorik modellerin geliştirilmiş olmasına ek olarak; seviye yoğunluğu, alfa optik model potansiyeli ve gama kuvvet fonksiyonu gibi farklı parametrelerin de incelenmesi amacıyla çeşitli teorik modeller geliştirilmiştir. Farklı modellerin, çeşitli reaksiyonlar üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalar literatürde mevcuttur (Aydın vd., 2009; Aydın vd., 2015; Özdoğan, 2018; Özdoğan vd., 2018; Şekerci vd., 2019; Sarpün vd., 2019; Özdoğan vd., 2019; Şekerci vd., 2020). Benzer bir motivasyon ile, bu çalışmada gama kuvvet fonksiyonlarının bazı samaryum izotoplarına ait (γ,n) ve ($\gamma,2n$) reaksiyonlarında tesir kesiti hesaplamalarındaki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Samaryum, nadir toprak grubu elementlerinden biridir ve gümüşü beyaz bir metaldir. Atom numarası 62, yoğunluğu $7,52 \text{ g/cm}^3$, en bilinen izotopu ^{152}Sm ve erime noktası $1072 \text{ }^\circ\text{C}$ olan samaryum, düşük toksik orana sahiptir. Optik lazerler, kızılaltı soğurucu camlar ve nükleer reaktör kontrol çubukları en yaygın kullanım alanlarıdır (Emsley, 2011; Haynes, 2014; Coursey vd., 2015). Ayrıca, ferromanyetik yapılarını yaklaşık $700 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar

koruyabildikleri ve manyetik özelliklerini kaybetmeye karşı yüksek dirence sahip oldukları bilinen samaryum-kobalt alaşımı mıknatısların küçük motorlar, kulaklıklar ve hassas güdümlü ateşli silahlarda kullanıldıkları da bilinmektedir (Chu, 2011). Medikal alanda ise, ^{153}Sm kemik kanseri tedavilerinde kullanılmaktadır (Holmes, 1992; Demir vd., 2015; Kolesnikov-Gauthier vd., 2018). Bu çalışmada samaryumun bazı izotoplarının seçilmesindeki en önemli motivasyon kaynağı ise samaryumun farklı izotoplarının endüstri ve tıp uygulamalarında geniş kullanıma sahip olmalarıdır.

Çalışmanın amaçları doğrultusunda, hesaplamalarda TALYS 1.9 (Koning vd., 2017) kodu kullanılmıştır. Gama kuvvet fonksiyonları gibi teorik modeller, hesaplamalarda sofistike ve kompleks matematiksel işlemler gerektirdiği için tüm işlem adımlarının elle tamamlanmaya çalışılması hesaplamalarda hata yapılmasına ve sürecin uzamasına neden olabilir. İncelenen reaksiyon için birden çok gelen parçacık enerjisi durumunun araştırılmak istenmesi ise, her durum için hesaplamaların tekrar edilmesine ve dolayısıyla toplam işlem süresinin oldukça uzun olmasına neden olabilir. Bu durumdan kaçınmak ve matematiksel hata ihtimalini minimize etmek amacıyla hesaplamaların bilgisayar destekli programlar ile yapılması oldukça yaygın bir durumdur. Bu eksende kullanılmak üzere geliştirilmiş ALICE/ASH, EMPIRE ve TALYS gibi birçok program mevcuttur. TALYS; nükleer reaksiyonlar ve onların süreçleri ile ilgili hesaplamaların yapılabildiği, kullanıcıların çeşitli parametrelerde değişiklik yapabilmesine olanak sağlayan açık kaynak kodlu bir programdır. Programın yapısı, özellikleri ve sunduğu farklı seçenekler literatürde geniş bir kullanıma sahip olmasını sağlamıştır. Bu çalışmada, gama kuvvet fonksiyonları seçenekleri olarak TALYS kodu içeriğinde mevcut olan Kopecky-Uhl genelleştirilmiş Lorentzian (Kopecky ve Uhl, 1990), Brink-Axel Lorentzian (Brink, 1957; Axel, 1962), Hartree-Fock BCS tabloları

(Capote vd., 2009), Hartree-Fock-Bogolyubov tabloları (Capote vd., 2009) ve Goriely'nin hibrit model (Capote vd., 2009) kullanılmıştır. ^{148,150,152,154}Sm izotoplarının (γ,n) ve ($\gamma,2n$) reaksiyonlarında, bu gama kuvvet fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi amacıyla hesaplamalar tamamlanmış, elde edilen sonuçlar ise Uluslararası Deneysel Nükleer Veri Kütüphanesi (EXFOR) (Zerkin ve Pritychenko, 2018)'dan alınan mevcut deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Her bir reaksiyon için yapılan karşılaştırma işlemlerinin daha anlaşılabilir olması için sonuçlar hem grafikleştirilmiş, hem de bağıl varyans ve ortalama ağırlıklı sapma analizleri yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Samaryum, nadir toprak grubu elementlerinden biridir ve doğal olarak oluşan yedi izotopu; doğal bolluk oranları % 3,07 ile ¹⁴⁴Sm, % 14,99 ile ¹⁴⁷Sm, % 11,24 ile ¹⁴⁸Sm, % 13,82 ile ¹⁴⁹Sm, % 7,38 ile ¹⁵⁰Sm, % 26,75 ile ¹⁵²Sm ve % 22,75 ile ¹⁵⁴Sm'dir (Haynes, 2014; Coursey vd., 2015). Oksitleri, kalkojenidleri, halidleri, boridleri, diğer inorganik bileşenleri, organometalik bileşenleri ve bilinen otuzdan fazla izotopu ile medikalden endüstriyel uygulamalara olmak üzere çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar (Spedding vd., 1958; Jayaraman vd., 1970; Baernighausen vd., 1978; Leger vd., 1981; Evans vd., 1986). Bu çalışmada ise ^{148,150,152,154}Sm izotopları seçilerek (γ,n) ve ($\gamma,2n$) reaksiyonlarında farklı gama kuvvet fonksiyonlarının tesir kesiti hesaplamaları üzerine etkileri araştırılmıştır.

Gama kuvvet fonksiyonları, uyarılmış durumlardan foton emisyonu veya foton soğurma tesir kesiti için ortalama enerji dağılımını ifade ederler (Martin, 2012). Dolayısıyla; hem gama bozunumu hem de foton soğurmasının gama kuvvet fonksiyonları ile tanımlanması mümkündür (Özgür, 2017). Gama bozunumunun ortalama radyasyon genişliği aşağı yönlü gama kuvvet fonksiyonu ile Denklem 1'de verildiği gibi ifade edilir (Bartholomew vd., 1972).

$$f_{XL}(E_\gamma) = \frac{\langle \Gamma_{\gamma l} \rangle}{(E_\gamma^{2L+1} D_l)} \quad (1)$$

Denklem 1'de, $\langle \Gamma_{\gamma l} \rangle$ ortalama ışınımsal genişlik, E_γ gama enerjisi, D_l ise rezonans boşluğudur (Ay, 2019).

Denklem 2'de gösterilen yukarı yönlü gama kuvvet fonksiyonu (Kopecky ve Uhl 1990; Lone, 1986) ise; ortalama foton soğurma tesir kesiti $\langle \sigma_{XL}(E_\gamma) \rangle$ ile ilişkilidir ve tüm olası spinler üzerinden elde edilen değerlerin toplanması ile elde edilir (Özgür, 2017; Ay, 2019).

$$f_{XL}(E_\gamma) = \frac{\langle \sigma_{XL}(E_\gamma) \rangle}{(2L + 1)(E_\gamma^{2L-1})(\pi \hbar c)^2} \quad (2)$$

Her iki denklemde de X gama kuvvet fonksiyonunun elektromanyetik karakterini, L de multipolaritesini ifade etmektedir (Özgür, 2017; Ay, 2019).

Hesaplamalarda kullanılan gama kuvvet fonksiyonlarından Kopecky-Uhl genelleştirilmiş Lorentzian fonksiyonu, nötron girişli reaksiyonlarda; Brink-Axel Lorentzian fonksiyonu ise diğer tüm reaksiyonlarda TALYS tarafından ön tanımlı model olarak seçilmektedir. Kopecky-Uhl genelleştirilmiş Lorentzian fonksiyonu Denklem 3'de gösterildiği şekilde verilebilir.

$$f_{E1}(E_\gamma, T) = K_{E1} \left[\frac{E_\gamma \tilde{\Gamma}_{E1}(E_\gamma)}{(E_\gamma^2 - E_{E1}^2)^2 + E_\gamma^2 \tilde{\Gamma}_{E1}(E_\gamma)^2 + \frac{0,7 \Gamma_{E1} 4\pi^2 T^2}{E_{E1}^3}} \right] \sigma_{E1} \Gamma_{E1} \quad (3)$$

Denklem 3'deki enerji bağımlı sönümleme genişliği $\tilde{\Gamma}_{E1}$ ile nükleer sıcaklık T ise Denklem 4 ve Denklem 5'de gösterilmiştir.

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

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

Denklem 5'de E_n gelen nötron enerjisini, S_n nötron ayırma enerjisini, Δ seviye yoğunluğuna

göre eşleştirme düzeltmesini ve a ise seviye yoğunluğu parametresini ifade etmektedir.

deneysel tesir kesiti verisindeki hatayı ifade etmektedir.

Brink-Axel Lorentzian fonksiyonunda ise dev dipol rezonans bölgesi standart bir Lorentzian yapı ile tanımlanmıştır. Bu duruma ait eşitlik Denklem 6 ve Denklem 7 ile gösterilmiştir.

$$f_{X\ell}(E_\gamma) = K_{X\ell} \frac{\sigma_{X\ell} E_\gamma \Gamma_{X\ell}^2}{(E_\gamma^2 - E_{X\ell}^2)^2 + E_\gamma^2 \Gamma_{X\ell}^2} \quad (6)$$

$$K_{X\ell} = \frac{1}{(2\ell + 1)\pi^2 \hbar^2 c^2} \quad (7)$$

Bu eşitliklerde $\sigma_{X\ell}$, $E_{X\ell}$ ve $\Gamma_{X\ell}$ dev dipol rezonansa ait şiddet, enerji ve genişlik değerleridir (Koning vd., 2017)

Bu çalışmada, incelenen her reaksiyon için Kopecky-Uhl genelleştirilmiş Lorentzian, Brink-Axel Lorentzian, Hartree-Fock BCS tabloları, Hartree-Fock-Bogolyubov tabloları ve Goriely'nin hibrit model fonksiyonları ayrı ayrı kullanılarak hesaplamalar tamamlanmıştır. Elde edilen sonuçların, hesaplamalardaki etkilerinin incelenilmesi için her bir reaksiyon için ilgili reaksiyona ait deneysel veriler Uluslararası Deneysel Nükleer Veri Kütüphanesi (EXFOR)'dan alınmış ve hesaplama sonuçları ile deneysel veriler görsel analiz için birlikte grafikleştirilmiştir. Buna ek olarak, sayısal bir değerlendirme yapabilmek için her bir reaksiyona ait hesaplama sonuçları ile deneysel veriler Denklem 8 (Kurenkov vd., 1999) ve Denklem 9 (Kurenkov vd., 1999) ile gösterilen eşitlikler kullanılarak görelî bağıl varyans ve ortalama ağırlıklı sapma analizleri yapılmıştır.

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\sigma_i^{hes} - \sigma_i^{den}| / \sigma_i^{den} \quad (8)$$

$$F = \sqrt{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(\sigma_i^{hes} - \sigma_i^{den}) / \Delta \sigma_i^{den}]^2 \right]} \quad (9)$$

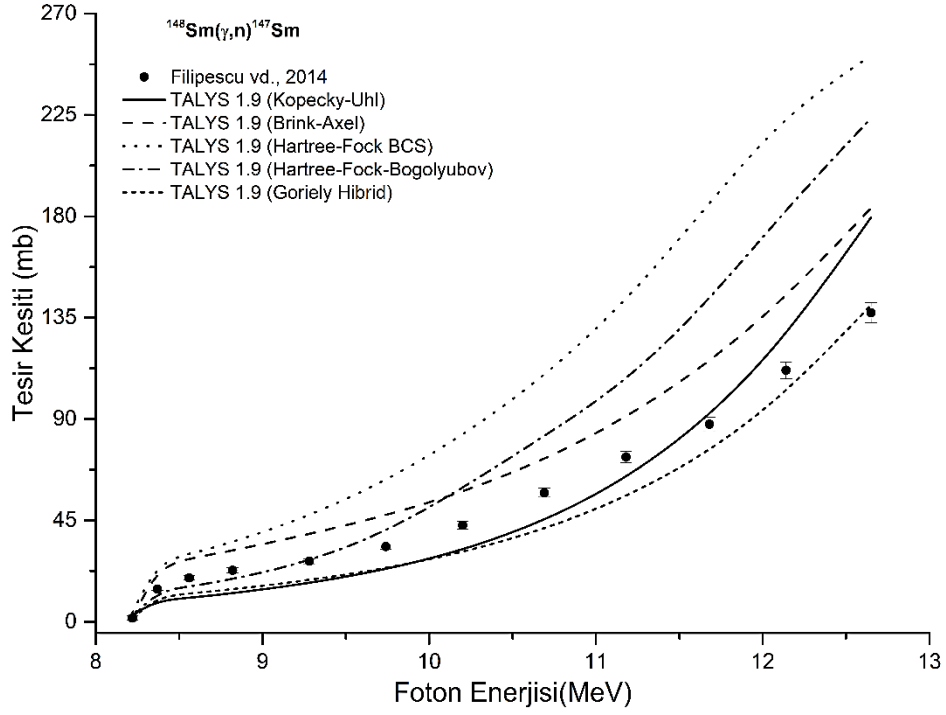
Denklem 8 ve Denklem 9'daki ifadelerden N veri sayısını, σ_i^{hes} hesaplamalar sonucunda elde edilmiş tesir kesiti ifadesini, σ_i^{den} deneysel tesir kesiti verisini ve $\Delta \sigma_i^{den}$ ise

3. Bulgular

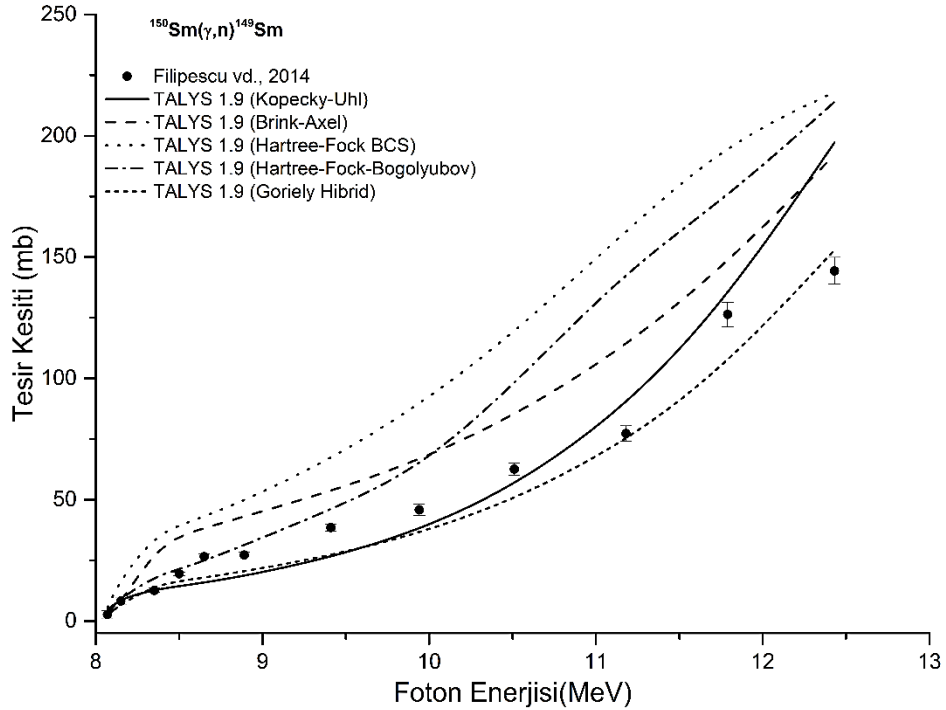
Bu çalışmada; Kopecky-Uhl genelleştirilmiş Lorentzian, Brink-Axel Lorentzian, Hartree-Fock BCS tabloları, Hartree-Fock-Bogolyubov tabloları ve Goriely'nin hibrit model gama kuvvet fonksiyonlarının $^{148}\text{Sm}(\gamma, n)^{147}\text{Sm}$, $^{150}\text{Sm}(\gamma, n)^{149}\text{Sm}$, $^{152}\text{Sm}(\gamma, n)^{151}\text{Sm}$, $^{154}\text{Sm}(\gamma, n)^{153}\text{Sm}$, $^{148}\text{Sm}(\gamma, 2n)^{146}\text{Sm}$, $^{150}\text{Sm}(\gamma, 2n)^{148}\text{Sm}$, $^{152}\text{Sm}(\gamma, 2n)^{150}\text{Sm}$ ve $^{154}\text{Sm}(\gamma, 2n)^{152}\text{Sm}$ reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamalarına olan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen hesaplama sonuçları; her bir reaksiyon için o reaksiyona ait literatürde mevcut deneysel veriler ile Şekil 1-8'de karşılaştırılmıştır. Ayrıca, her bir reaksiyon için görelî bağıl varyans ve ortalama ağırlıklı sapma analizleri yapılarak sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

$^{148}\text{Sm}(\gamma, n)^{147}\text{Sm}$, $^{150}\text{Sm}(\gamma, n)^{149}\text{Sm}$, $^{152}\text{Sm}(\gamma, n)^{151}\text{Sm}$ ve $^{154}\text{Sm}(\gamma, n)^{153}\text{Sm}$ reaksiyonlarına ait gama kuvvet fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilen tesir kesiti hesaplama sonuçları sırasıyla Şekil 1-4'de gösterilmiştir. Hesaplama sonuçlarının deneysel veriler ile karşılaştırılması amacıyla $^{148}\text{Sm}(\gamma, n)^{147}\text{Sm}$, $^{150}\text{Sm}(\gamma, n)^{149}\text{Sm}$ ve $^{154}\text{Sm}(\gamma, n)^{153}\text{Sm}$ reaksiyonları literatürde mevcut olan için Filipescu vd. (2014)'ye ait deneysel veriler kullanılmıştır. $^{152}\text{Sm}(\gamma, n)^{151}\text{Sm}$ reaksiyonu için ise; Hara vd. (2007) ile Filipescu vd. (2014)'nin deneysel sonuçları birlikte kullanılmıştır. Elde edilen hesaplama sonuçlarının Şekil 1-4 ile gösterilen grafiksel karşılaştırmaları ile Tablo 1 ve Tablo 2 ile verilen görelî bağıl varyans ve ortalama ağırlıklı sapma analizlerine göre; $^{148}\text{Sm}(\gamma, n)^{147}\text{Sm}$, $^{150}\text{Sm}(\gamma, n)^{149}\text{Sm}$ ve $^{154}\text{Sm}(\gamma, n)^{153}\text{Sm}$ reaksiyonlarında deneysel veriler ile en uyumlu sonuçların gama kuvvet fonksiyonu olarak Goriely'nin hibrit modelinin kullanılması durumunda elde edildiğini

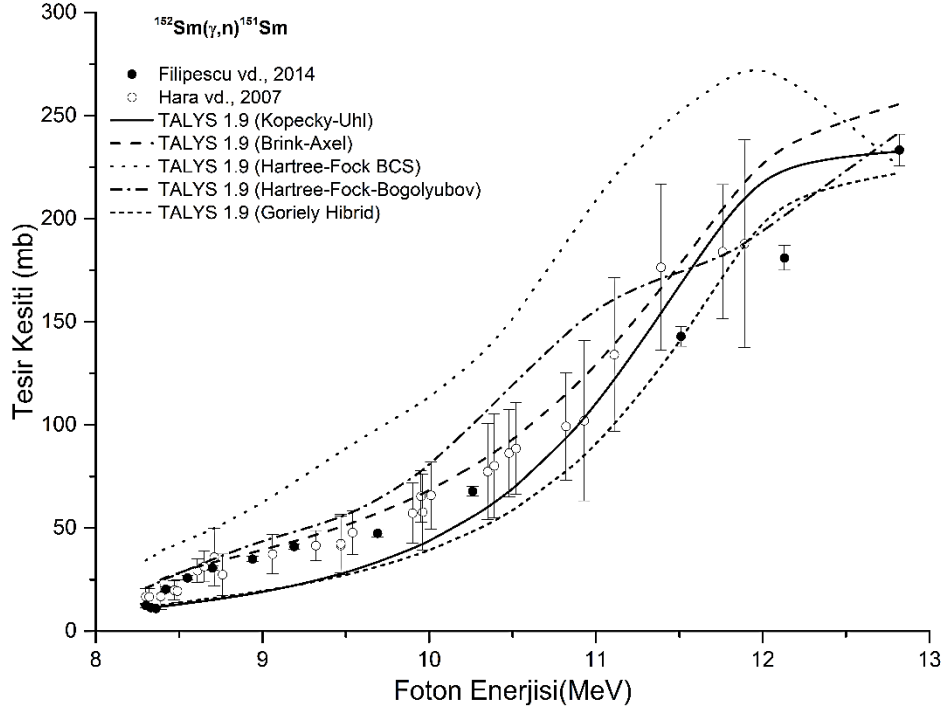
göstermiştir. $^{152}\text{Sm}(\gamma,n)^{151}\text{Sm}$ reaksiyonu için sonuçları Brink-Axel gama kuvvet ise deneysel veriler ile en uyumlu hesaplama fonksiyonunun kullanılması ile elde edilmiştir.



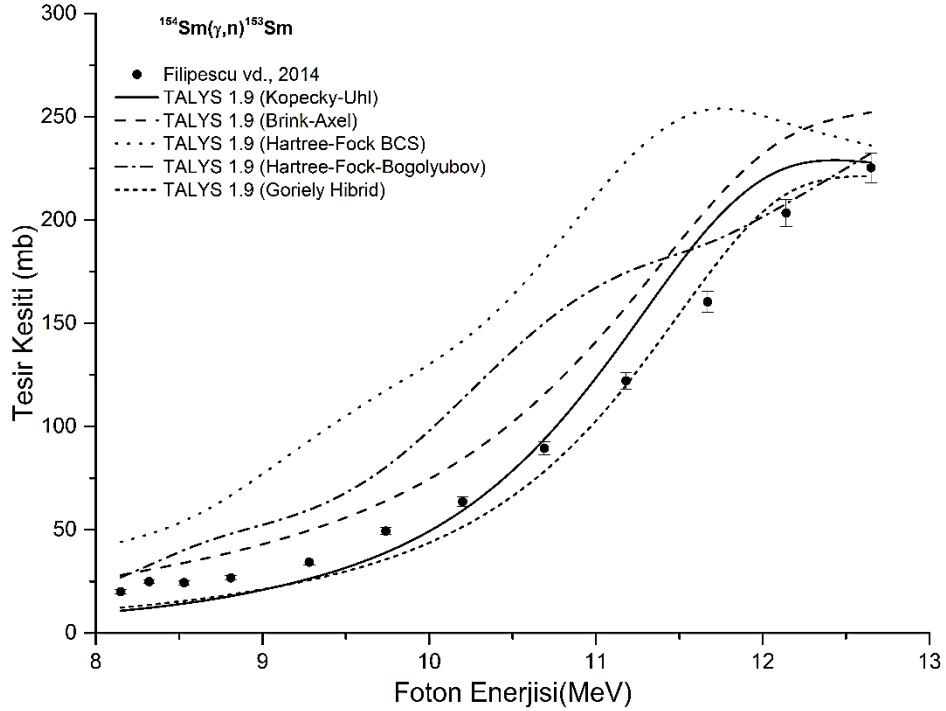
Şekil 1. $^{148}\text{Sm}(\gamma,n)^{147}\text{Sm}$ reaksiyonu için gama kuvvet fonksiyonları ile elde edilen teorik tesir kesiti hesaplamalarının deneysel veriler ile kıyaslanması



Şekil 2. $^{150}\text{Sm}(\gamma,n)^{149}\text{Sm}$ reaksiyonu için gama kuvvet fonksiyonları ile elde edilen teorik tesir kesiti hesaplamalarının deneysel veriler ile kıyaslanması



Şekil 3. $^{152}\text{Sm}(\gamma,n)^{151}\text{Sm}$ reaksiyonu için gama kuvvet fonksiyonları ile elde edilen teorik tesir kesiti hesaplamalarının deneysel veriler ile kıyaslanması

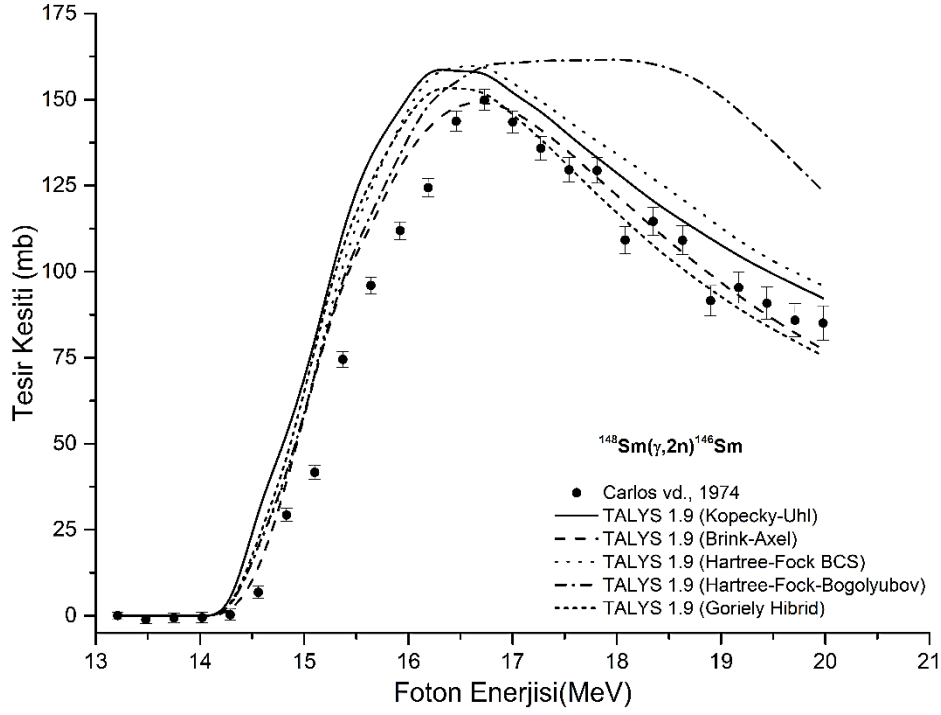


Şekil 4. $^{154}\text{Sm}(\gamma,n)^{153}\text{Sm}$ reaksiyonu için gama kuvvet fonksiyonları ile elde edilen teorik tesir kesiti hesaplamalarının deneysel veriler ile kıyaslanması

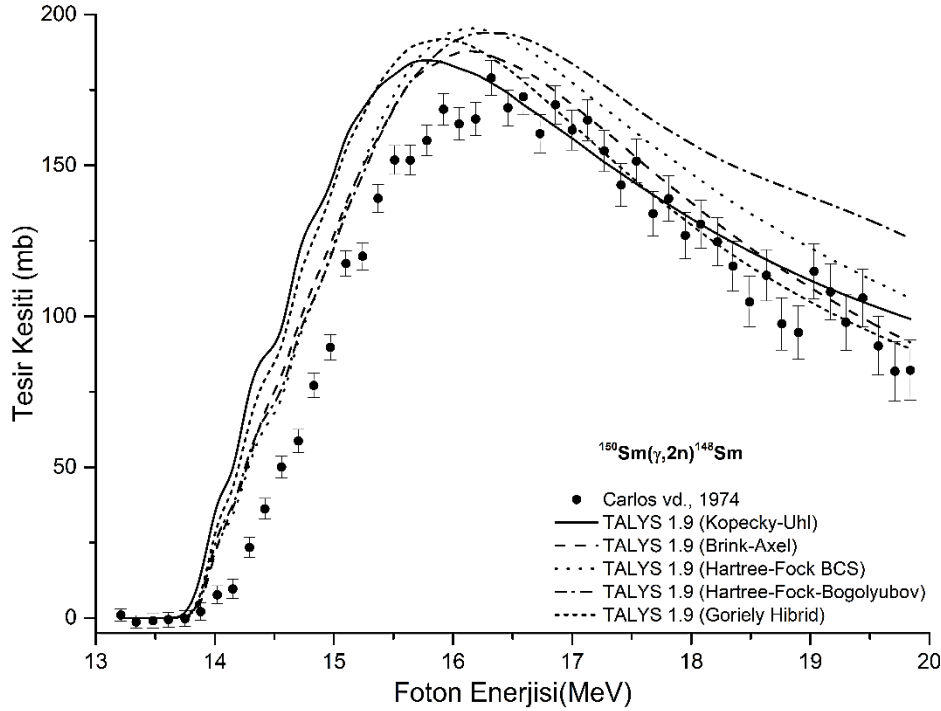
Sırasıyla Şekil 5-8'de ise $^{148}\text{Sm}(\gamma,2n)^{146}\text{Sm}$, $^{150}\text{Sm}(\gamma,2n)^{148}\text{Sm}$, $^{152}\text{Sm}(\gamma,2n)^{150}\text{Sm}$ ve $^{154}\text{Sm}(\gamma,2n)^{152}\text{Sm}$ reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamalarında gama kuvvet

fonksiyonlarının kullanılması sonucunda elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların karşılaştırılması amacıyla kullanılan Carlos vd. (1974)'ye ait deneysel veriler gösterilmiştir. Bu

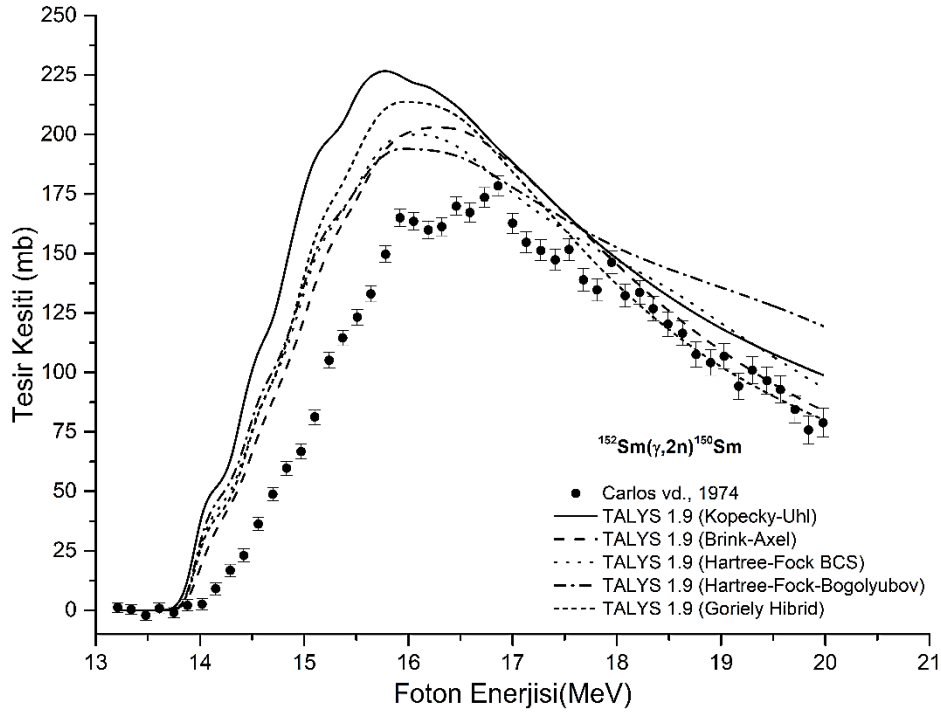
çalışmada incelenen ($\gamma,2n$) reaksiyonlarında, edileceği hem Şekil 5-8'de gösterilen grafiksel deneysel veriler ile en uyumlu tesir kesiti karşılaştırmalardan hem de Tablo 1 ve Tablo hesaplamalarının Brink-Axel gama kuvvet 2'de verilmiş olan sayısal sonuçlardan fonksiyonu kullanılması durumunda elde anlaşılmıştır.



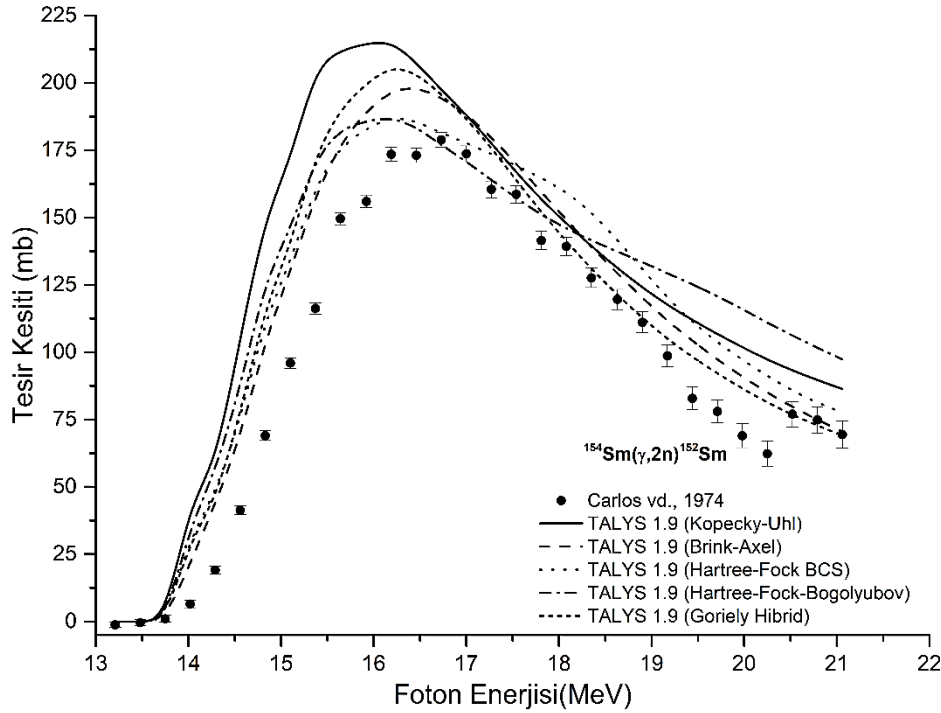
Şekil 5. $^{148}\text{Sm}(\gamma,2n)^{146}\text{Sm}$ reaksiyonu için gama kuvvet fonksiyonları ile elde edilen teorik tesir kesiti hesaplamalarının deneysel veriler ile kıyaslanması



Şekil 6. $^{150}\text{Sm}(\gamma,2n)^{148}\text{Sm}$ reaksiyonu için gama kuvvet fonksiyonları ile elde edilen teorik tesir kesiti hesaplamalarının deneysel veriler ile kıyaslanması



Şekil 7. $^{152}\text{Sm}(\gamma,2n)^{150}\text{Sm}$ reaksiyonu için gama kuvvet fonksiyonları ile elde edilen teorik tesir kesiti hesaplamalarının deneysel veriler ile kıyaslanması



Şekil 8. $^{154}\text{Sm}(\gamma,2n)^{152}\text{Sm}$ reaksiyonu için gama kuvvet fonksiyonları ile elde edilen teorik tesir kesiti hesaplamalarının deneysel veriler ile kıyaslanması

Tablo 1. Hesaplama sonuçlarının deneysel verilere göre bağıl varyans analizi

Reaksiyon	TALYS 1.9 (Kopecky-Uhl)	TALYS 1.9 (Brink-Axel)	TALYS 1.9 (Hartree-Fock BCS)	TALYS 1.9 (Hartree-Fock- Bogolyubov)	TALYS 1.9 (Goriely Hibrid)
$^{148}\text{Sm}(\gamma,n)^{147}\text{Sm}$	0.328996028	0.363266767	0.885328236	0.340385398	0.228277828
$^{150}\text{Sm}(\gamma,n)^{149}\text{Sm}$	0.251911422	0.467198197	0.925455275	0.332803435	0.18161949
$^{152}\text{Sm}(\gamma,n)^{151}\text{Sm}$	0.286532919	0.215582148	0.883572777	0.29557413	0.306646978
$^{154}\text{Sm}(\gamma,n)^{153}\text{Sm}$	0.241220459	0.303573599	0.98774326	0.462588823	0.223450186
$^{148}\text{Sm}(\gamma,2n)^{146}\text{Sm}$	0.274247628	0.080037854	0.191731064	0.307176386	0.179615548
$^{150}\text{Sm}(\gamma,2n)^{148}\text{Sm}$	0.406219592	0.196676492	0.237767965	0.310680935	0.280576033
$^{152}\text{Sm}(\gamma,2n)^{150}\text{Sm}$	0.925335481	0.45458653	0.612586192	0.707797576	0.587382221
$^{154}\text{Sm}(\gamma,2n)^{152}\text{Sm}$	0.526921566	0.246699294	0.340160156	0.448430659	0.295978727

Tablo 2. Hesaplama sonuçlarının deneysel verilere göre ortalama ağırlıklı sapma analizi

Reaksiyon	TALYS 1.9 (Kopecky-Uhl)	TALYS 1.9 (Brink-Axel)	TALYS 1.9 (Hartree-Fock BCS)	TALYS 1.9 (Hartree-Fock- Bogolyubov)	TALYS 1.9 (Goriely Hibrid)
$^{148}\text{Sm}(\gamma,n)^{147}\text{Sm}$	7.134975815	9.281421823	22.46479901	11.46473798	6.258480909
$^{150}\text{Sm}(\gamma,n)^{149}\text{Sm}$	5.530313936	10.95602446	18.55866826	9.336372608	4.353975158
$^{152}\text{Sm}(\gamma,n)^{151}\text{Sm}$	4.916426751	4.76847897	13.71915999	5.182059418	4.769277949
$^{154}\text{Sm}(\gamma,n)^{153}\text{Sm}$	6.965323499	8.08292691	27.8482682	13.90719674	6.370659365
$^{148}\text{Sm}(\gamma,2n)^{146}\text{Sm}$	7.927083313	4.311067062	6.3544644	8.582680416	6.459924545
$^{150}\text{Sm}(\gamma,2n)^{148}\text{Sm}$	6.34202254	4.081508202	4.230214849	4.75240361	5.670822077
$^{152}\text{Sm}(\gamma,2n)^{150}\text{Sm}$	14.80711905	8.298962998	9.320381307	9.944037627	10.59282726
$^{154}\text{Sm}(\gamma,2n)^{152}\text{Sm}$	18.50730056	9.137384419	10.30332775	13.06582868	11.60226865

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada; birçok izotopu ve çeşitli kimyasal bileşikler, endüstriyel ve medikal alanlarda başta olmak üzere farklı uygulamada kullanılan samaryumun $^{148,150,152,154}\text{Sm}$ izotoplarında (γ,n) ve ($\gamma,2n$) reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamalarına gama kuvvet fonksiyonlarının etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, incelenen her reaksiyon için TALYS 1.9 kodunda mevcut olan Kopecky-Uhl genelleştirilmiş Lorentzian, Brink-Axel Lorentzian, Hartree-Fock BCS tabloları, Hartree-Fock-Bogolyubov tabloları ve Goriely'nin hibrit model gama kuvvet fonksiyonları kullanılarak tesir kesiti hesaplamaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar literatürde mevcut olan deneysel veriler ile kıyaslanmıştır. Hem grafiksel olarak hem de sayısal olarak yapılan karşılaştırmalar sonucunda elde edilen bulgular şu şekilde yorumlanabilir:

- Aynı reaksiyon ve enerjisi aralığında dahi, tesir kesiti hesaplamalarında farklı gama kuvvet fonksiyonlarının kullanılması durumunda hesaplama sonuçlarında farklılıklar oluşabilmektedir.

- Bu çalışmada incelenen tüm reaksiyonlarda, hesaplama sonuçlarında elde edilen tesir kesiti değerleri ile deneysel veriler arasında genel olarak benzer harmoni gözlenmiş olmasına rağmen tüm reaksiyonlar için deneysel veriler ile en uyumlu sonuçların elde edilmesinde tek bir model olduğu söylenemez.

- $^{148}\text{Sm}(\gamma,n)^{147}\text{Sm}$, $^{150}\text{Sm}(\gamma,n)^{149}\text{Sm}$ ve $^{154}\text{Sm}(\gamma,n)^{153}\text{Sm}$ reaksiyonlarında deneysel veriler ile en uyumlu sonuçlar incelenen tüm enerji aralığı düşünüldüğünde Goriely'nin hibrit model gama kuvvet fonksiyonları kullanılarak elde edilmişken diğer reaksiyonlarda incelenen tüm enerji aralıkları göz önüne alındığında deneysel veriler ile en uyumlu sonuçların Brink-Axel gama kuvvet fonksiyonunun kullanılması durumunda elde edildiği görülmüştür.

- İncelenen samaryum izotoplarının (γ,n), ($\gamma,2n$) ve diğer Dev Dipol Rezonans (Giant Dipole Resonance, GDR) bölgesine etki eden reaksiyonların bir arada incelenmesi ile yeni GDR parametrelerinin elde edilmesi ve bunların TALYS koduna eklenerek tesir kesiti hesaplamalarındaki etkilerinin incelenmesi mümkündür.

- Farklı reaksiyonlar için en uyumlu gama kuvvet fonksiyonlarının bulunması, tesir kesiti hesaplamalarına etki eden diğer parametrelerin incelenmesinde zaman kazanılmasına ve diğer parametreler ile gama kuvvet fonksiyonları arasındaki ilişkilerin de incelenmesine olanak sağlayacaktır.

- Açıklanan bu gerekçeler sayesinde, teorik modellerin iyileştirilmesine ve geliştirilmesine katkı sağlanması da mümkündür.

5. References

Axel, P., 1962. "Electric dipole ground-state transition width strength function and 7-MeV photon interactions". *Physical Review*, 126, 671.

Ay, K. O., 2019. "^{149,151}Nd Çekirdeklerinin Nükleer Düzey Yoğunluklarının ve Gama Kuvvet Fonksiyonlarının İncelenmesi", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Doktora Tezi, 98 s.

Aydın, A., Pekdoğan, H., Kaplan, A., Sarpün, İ. H., Tel, E., Demir, B., 2015. "Comparison of Level Density Models for the ^{60,61,62,64}Ni(p,n) Reactions of Structural Fusion Material Nickel from Threshold to 30 MeV". *Journal of Fusion Energy*, 34(5), 1105-1108.

Aydın, A., Yalım, H. A., Tel, E., Şarer, B., Ünal, R., Sarpün, İ. H., Kaplan, A., Dağ, M., 2009. "Level density parameter dependence of the fission cross sections of some subactinide nuclei induced by protons with the incident energy up to 250 MeV". *Annals of Nuclear Energy*, 36(9), 1307-1312.

Baernighausen, H., Haschke, J. M., 1978. "Compositions and crystal structures of the intermediate phases in the samarium-bromine system". *Inorganic Chemistry*, 17, 18-21.

Bartholomew, G. A., Earle, E. D., Ferguson, A. J., Knowles, J. W., Lone, M. A., 1973. "Gamma-Ray Strength Functions", *Advances in Nuclear Physics*, 7, Springer, Boston, USA, 229-324.

Becquerel, H., 1896. "Sur les radiations émises par phosphorescence". *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 122, 420-421.

Brink, D. M., 1957. "Individual particle and collective aspects of the nuclear photoeffect". *Nuclear Physics*, 4, 215.

Canbula, B., 2017. "Bazı tellür izotoplarının nötron yakalama tesir kesiti analizi". *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(2), 445-455.

Capote, R., Herman, M., Obložinský, P., Young, P. G., Goriely, S., Belgia, T., Ignatyuk, A. V., Koning, A. J., Hilaire, S., Plujko, V. A., Avrigeanu, M., Bersillon, O., Chadwick, M. B., Fukahori, T., Ge, Z., Han, Y., Kailas, S., Kopecky, J., Maslov, V. M., Reffo, G., Sin, M., Soukhovitskii, E. S., Talou, P., 2009. "RIPL – reference input parameter library for calculation of nuclear reactions and nuclear data evaluations". *Nuclear Data Sheets*, 110, 3107.

Carlos, P., Beil, H., Bergère, R., Leprêtre, A., Miniac, A. De., Veyssiére, A., 1974. "The giant dipole resonance in the transition region of the samarium isotopes". *Nuclear Physics A*, 225(1), 171-188.

Chu, S., 2011. "U.S. Department of Energy Critical Materials Strategy", DIANE Publishing.

Coursey, J. S., Schwab, D. J., Tsai, J. J., Dragoset, R. A., 2015. "Atomic Weights and Isotopic Compositions (version 4.1)", National Institute of Standards and Technology, <https://www.nist.gov/pml/atomic-weights-and-isotopic-compositions-relative-atomic-masses>, Erişim Tarihi: 25.03.2020

Demir, B., Kaplan, A., Çapalı, V., Sarpün, İ. H., Aydın, A., Tel, E., 2015. "Production cross-section calculations of medical ³²P, ¹¹⁷Sn, ¹⁵³Sm and ^{186,188}Re radionuclides used in bone pain palliation treatment", *Kerntechnik*, 80(1), 58-65.

Emsley, J., 2011. "Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements", Oxford University Press, New York, USA, 2nd Edition, 2011, 720 s.

- Evans, W. J., Hughes, L. A., Hanusa, T. P., 1986. "Synthesis and x-ray crystal structure of bis(pentamethylcyclopentadienyl) complexes of samarium and europium: (C₅Me₅)₂Sm and (C₅Me₅)₂Eu". *Organometallics*, 5(7), 1285-1291.
- Filipescu, D. M., Gheorghe, I., Utsunomiya, H., Goriely, S., Renström, T., Nyhus, H. T., Tesileanu, O., Glodariu, T., Shima, T., Takahisa, K., Miyamoto, S., Lui, Y. W., Hilaire, S., Péru, S., Martini, M., Koning, A. J., 2014. "Photoneutron cross sections for samarium isotopes: Toward a unified understanding of (γ,n) and (n,γ) reactions in the rare earth region". *Physical Review C*, 90, 064616.
- Hara, K. Y., Harada, H., Kitatani, F., Goko, S., Hohara, S., Kaihori, T., Makinaga, A., Utsunomiya, H., Toyokawa, H., Yamada, K., 2007. "Measurements of the ¹⁵²Sr(γ,n) Cross Section with Laser-Compton Scattering γ Rays and the Photon Difference Method". *Journal of Nuclear Science and Technology*, 44(7), 938-945.
- Haynes, W. M., 2014. "CRC Handbook of Chemistry and Physics, 95th Edition", CRC Press, Hoboken, New Jersey, USA, 2704 s.
- Holmes, R. A., 1992. "[¹⁵³Sm]EDTMP: A potential therapy for bone cancer pain", *Seminars in Nuclear Medicine*, 22(1), 41-45.
- Jayaraman, A., Narayanamurti, V., Bucher, E., Maines, R., 1970. "Continuous and Discontinuous Semiconductor-Metal Transition in Samarium Monochalcogenides Under Pressure". *Physical Review Letters*, 25 (20), 1430.
- Kaplan, A., Özdoğan H., Aydın, A., Tel, E., 2014. "Photo-Neutron Cross-Section Calculations of ^{142,143,144,145,146,150}Nd Rare-Earth Isotopes for (g,n) Reaction". *Physics of Atomic Nuclei*, 77(11), 1371-1377.
- Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A., Tel, E., 2013. "Deuteron-Induced Cross Section Calculations of Some Structural Fusion Materials". *Journal of Fusion Energy*, 32(1), 97-102.
- Kara, A., Yiğit, M., Korkut, T., Tel, E., 2015. "Cross Section Calculations of Neutron Induced Reactions on ^{124,126,128,134,136}Xe". *Journal of Fusion Energy*, 34, 882-886.
- Kavun, Y., Tel, E., Şahan, M., Salan, A., 2019. "Calculation of Production Reaction Cross Section of Some Radiopharmaceuticals Used in Nuclear Medicine by New Density Dependent Parameters". *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 14(1), 57-61.
- Kolesnikov-Gauthier, H., Lemoine, N., Tresch-Bruneel, E., Olivier, A., Oudoux, A., Penel, N., 2018. "Efficacy and safety of ¹⁵³Sm-EDTMP as treatment of painful bone metastasis: a large single-center study", *Supportive Care in Cancer*, 26, 751-758.
- Koning, A., Hilaire, S., Goriely, S., 2017. TALYS-1.9 A Nuclear Reaction Program, User Manual, 1st ed. 21 December 2017.
- Kopecky, J., Uhl, M., 1990. "Test of gamma-ray strength functions in nuclear reaction model calculations". *Physical Review C*, 41, 1941.
- Kurenkov, N., Lunev, V., Shubin, Y., 1999. "Evaluation of calculation methods for excitation functions for production of radioisotopes of iodine, thallium and other elements". *Applied Radiation and Isotopes*, 50, 541-549.
- Leger, J., Yacoubi, N., Lories, J., 1981. "Synthesis of rare earth monoxides". *Journal of Solid State Chemistry*, 36(3), 261.
- Lone, M. A., 1979. "Photon Strength Functions", Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy, Springer, Boston, USA, 161-180.
- Martin, B. R., 2006. "Nuclear and Particle Physics". John Wiley & Sons, Ltd.
- Martin, D., 2012. "Do we understand gamma strength functions? The case of ⁹⁶Mo", Institut für Kernphysik Technische Universität Darmstadt. http://tid.uio.no/workshop2013/talks/Oslo13_s413_Martin.pdf, Erişim Tarihi: 25.03.2020
- Özdoğan, H., 2018. "¹⁸¹Ta(α,xn) Reaksiyonu Tesir Kesitlerinin İncelenmesi". *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 13(2), 54-66.
- Özdoğan, H., Şekerçi, M., Kaplan, A., 2019. "Investigation of gamma strength functions and level density models effects on photon induced reaction cross-section calculations for the fusion structural materials ^{46,50}Ti, ⁵¹V, ⁵⁸Ni and ⁶³Cu, *Applied Radiation and Isotopes*, 143, 6-10.

- Özdoğan, H., Şekerci, M., Sarpün, İ. H., Kaplan, A., 2018. "Investigation of level density parameter effects on (p,n) and (p,2n) reaction cross-sections for the fusion structural materials ^{48}Ti , ^{63}Cu and ^{90}Zr ". *Applied Radiation and Isotopes*, 140, 29-34.
- Özgür, M., 2017. "Neodimyum-144,145 Çekirdeklerinin Durum Yoğunlukları ve Gama Kuvvet Fonksiyonları", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 65 s.
- Sarpün, İ. H., Özdoğan, H., Taşdöven, K., Yalim, H. A., Kaplan, A., 2019. "Theoretical photoneutron cross-section calculations on Osmium isotopes by Talys and Empire codes". *Modern Physics Letters A*, 34(26), 1950210.
- Şekerci M., Özdoğan H., Kaplan A., 2019. "Investigation on the Different Production Routes of ^{67}Ga Radioisotope by Using Different Level Density Models". *Moscow University Physics Bulletin*, 74, 277-281.
- Şekerci M., Özdoğan H., Kaplan A., 2020. "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", *Radiochimica Acta*, 108, 11-17.
- Spedding, F. H., Gschneidner, K., Daane, A. H., 1958. "The Crystal Structures of Some of the Rare Earth Carbides". *Journal of the American Chemical Society*, 80(17), 4499-4503.
- Yiğit, M., Bostan, S. N., 2019. "Study on cross section calculations for (n,p) nuclear reactions of cadmium isotopes", *Applied Radiation and Isotopes*, 154, 108868.
- Yiğit, M., Tel, E., Sarpün, İ. H., 2016. "Excitation function calculations for $\alpha + ^{93}\text{Nb}$ nuclear reactions". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 385, 59-64.
- Yiğit, M., Tel, E., Tanır, G., 2013. "Calculations of Proton Emission Cross Sections in Deuteron Induced Reactions of Some Fusion Structural Materials". *Journal of Fusion Energy*, 32, 317-321.
- Zerkin, V. V., Pritychenko, B., 2018. "The Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR): Extended Computer Database and Web Retrieval System". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 888, 31-43.