



# Seviye Yoğunluk Parametresinin <sup>235</sup>Neptinyum <sup>237</sup>Neptinyum <sup>241</sup>Amerisyum ve <sup>243</sup>Amerisyum Çekirdeklerinin Nötron Fizyonu Reaksiyonuna Ait Tesir Kesitlerine Olan Etkisinin İncelenmesi

Önder Sönmez<sup>1</sup>, Onur Karaman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-00003-3356-5334)

<sup>2</sup> Akdeniz Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, Antalya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3672-1865)

(1st International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2020 – 8-10 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.803135)

**ATIF/REFERENCE:** Sönmez, Ö. & Karaman, O. (2020). Seviye Yoğunluk Parametresinin <sup>235</sup>Neptinyum <sup>237</sup>Neptinyum <sup>241</sup>Amerisyum ve <sup>243</sup>Amerisyum Çekirdeklerinin Nötron Fizyonu Reaksiyonuna Ait Tesir Kesitlerine Olan Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 101-107.

## Öz

Nükleer uygulamalarda kullanılan çekirdeklerin yapılarının anlaşılabilmesi için; reaksiyon hızlarının, radyoaktif çekirdeğin yarı ömürlerinin, nükleer kütlelerinin ve seviye yoğunlukları gibi kavramların anlaşılması gerekmektedir. Çekirdeğin seviye yoğunluğu ve seviye yoğunluğu parametreleri, çekirdeğin yapısal özelliklerini tanımlayabilmek gereklidir. Bu sebeple çekirdek seviye yoğunlukları ve seviye yoğunluğu parametreleri belirlenmesi, nükleer veri kütüphanelerinde deneysel verilerin zenginleşmesi, çekirdek modellerinin doğruluğunun test edilmesi ve geliştirilmesi, bilgisayar ortamında deneysel çalışmaların modellenmesi için oluşturulan programların geliştirilmesi ve test edilmesi için çok önemlidir. Bu çalışmada, MeV mertebesinde gelme enerjili nötronlar için, seviye yoğunluk parametrelerinin <sup>235</sup>Neptinyum, <sup>237</sup>Neptinyum, <sup>241</sup>Amerisyum, <sup>243</sup>Amerisyum çekirdekleri için nötron-fisyon reaksiyonlarının tesir kesitlerine olan etkisi incelenmiştir. Farklı seviye yoğunluk parametreleri için nötron-fisyon reaksiyonlarının tesir kesitlerinin hesapları TALYS 1.8 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar EXFOR nükleer veri kütüphanesi ile karşılaştırılmış ve en yakın uyumu sağlayan seviye yoğunluk parametresi belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, seviye yoğunluk parametresinin seçiminin tesir kesiti hesaplarına olan etkisi görülmüş ve <sup>235</sup>Neptinyum, <sup>237</sup>Neptinyum, <sup>241</sup>Amerisyum, <sup>243</sup>Amerisyum çekirdeklerinin her biri için en uygun seviye yoğunluğu parametresi belirlenmiştir. Bu amaçla yürütülen çalışma sayesinde; çalışmada seçilen hedef çekirdeklerin varsayılan seviye yoğunluk modeline (CTM) bağlı olarak nükleer yapılarına -seviye yoğunluk parametresi- ait özellikleri hakkında bilgilere ulaşılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan seviye yoğunluk modeli, Gilbert – Cameron modeli olarak bilinen sabit sıcaklık fermi gaz modelidir (CTM). Fisyon reaksiyonlarının modellenmesinde, deneysel verilerle kıyaslama yapılacağından dolayı deneysel verilerin imkân verdiği ölçüde nötronların gelme enerjileri 2-20 MeV enerji aralığında seçilmiştir. Bazı analizlerde deneysel veriler 20 MeV'e kadar olmadığından bu analizlerin enerji aralığı deneysel verilere göre çalıştırılmıştır. Elde edilen hesaplama sonuçları, EXFOR (Deneysel Nükleer Veri Kütüphanesi) ve TENDL'dan erişilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. TALYS yazılımı hesaplamalarından elde edilen sayısal veriler MS EXCEL yardımıyla işlenmiş ve grafik ortamına aktarılmıştır. Sonuç olarak, <sup>235</sup>Neptinyum, <sup>237</sup>Neptinyum, <sup>241</sup>Amerisyum, <sup>243</sup>Amerisyum (n,f) reaksiyonları için seviye yoğunluk parametresinin değişimi reaksiyon tesir kesitlerinin önemli ölçüde değişimine sebep olmuştur. Bu reaksiyonların laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi çok yüksek maliyet gerektirmesi ve zaman açısından oldukça zorluk barındırmasından dolayı, TALYS gibi bir nükleer reaksiyon simülasyon yazılımının sanal ortamda bu reaksiyonları çalıştırıp reaksiyon hakkında ön bilgi verebilmesi büyük bir önem teşkil etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Nötron Etkili Tesir kesiti, TALYS 1.8, Seviye Yoğunluk Parametresi.

<sup>1</sup> Önder Sönmez: Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-00003-3356-5334, [ondermetu@gmail.com](mailto:ondermetu@gmail.com)

# Investigation of the Effect of the Level Density Parameter on the Neutron Fission Reaction Cross Section for $^{235}\text{Neptinium}$ $^{237}\text{Neptinium}$ $^{241}\text{Americium}$ and $^{243}\text{Americium}$ Nuclei

## Abstract

In order to get deeper understanding of the structure of the nuclei used in nuclear applications; concepts such as reaction rates, half-life of the radioactive nucleus, nuclear masses and level densities should be understood. The level density and level density parameters of the nucleus are required to make a thorough description for the structural properties of the nucleus. For this reason, it is very significant to determine nucleus level densities and level density parameters, to enrich experimental data in nuclear data libraries, to test and improve the accuracy of nuclear models and to develop and test programs for modeling experimental studies in computer environment. In this study, for  $^{235}\text{Neptinium}$ ,  $^{237}\text{Neptinium}$ ,  $^{241}\text{Americium}$ ,  $^{243}\text{Americium}$  nuclei, the effect of the level density parameters on the cross sections of neutron-fission reactions was investigated for neutrons with incident energy of the MeV order. Calculations of cross sections of neutron-fission reactions for different level density parameters were calculated using TALYS 1.8 software. The calculations were compared with the EXFOR nuclear data library and the level density parameter providing the closest match was determined. As a result of the study, the effect of the choice of the level density parameter on the cross-section calculations was observed and the most suitable level density parameter was determined for each of  $^{235}\text{Neptinium}$ ,  $^{237}\text{Neptinium}$ ,  $^{241}\text{Americium}$ ,  $^{243}\text{Americium}$  nuclei. Through the conducted study, the information about the properties of their nuclear structures-level density parameter- depending on the default level density model (CTM) of the selected target nuclei is obtained. The level density model used in the thesis is the constant temperature fermi gas model (CTM) known as the Gilbert - Cameron model.

In modeling fission reactions, the incidence energies of neutrons have been chosen in the energy range of 2-20 MeV as experimental data allow for comparison with experimental data. Since the experimental data are not up to 20 MeV in some analyzes, the energy range of these analyzes was executed according to the experimental data. The obtained calculation results were compared with the experimental data accessed from EXFOR (Experimental Nuclear Data Library) and TENDL. The numerical output files obtained from TALYS software calculations were processed with the help of MS EXCEL and transferred to the graphic environment. As a result, the change of the level density parameter for the reactions of  $^{235}\text{Neptinium}$ ,  $^{237}\text{Neptinium}$ ,  $^{241}\text{Americium}$ ,  $^{243}\text{Americium}$  (n, f) caused a significant change in reaction cross sections. It is of great importance that a nuclear reaction simulation software such as TALYS can execute these reactions in a virtual environment and provide preliminary information about the reaction, since performing these reactions in the laboratory environment requires very high costs and is very difficult in terms of time.

**Keywords:** Neutron Induced Cross Section, TALYS 1.8, Level Density Parameter.

## 1. Giriş

James Chadwick'in 1932'deki nötron keşfinden sonra, nükleer bilim araştırmaları büyük önem kazanmıştır (Nesvizhevsky & Villain, 2017; Amaldi, 1984; Rogers, 2013).

Nötronun keşfinin ardından Joliot, Halban ve Kowarski deneysel olarak fisyon reaksiyonlarından ve zincir reaksiyonlarından kaynaklanan nötron çoğalmasımı deneysel olarak göstermişlerdir. Bu şekilde, nükleer fizik, İkinci Dünya Savaşı'nın başında askeri bir bilim haline gelmiştir. Sonraki yıllarda, nükleer bilimdeki bu gelişmeler nükleer enerji uygulamalarına ve nötronların büyük ölçekli nötron tesislerinde önemli bilimsel araştırmalarda kullanılmasına olanak sağlamıştır (Hahn & Strassmann, 1938)

Günümüzde, nükleer enerji sistem uygulamaları için önemli olan aktinitlerin nötron etkili reaksiyonlarına yönelik çalışmalara dünya çapındaki ilgi giderek artmaktadır (Nayak & Desai, 2016; Capote ve diğerleri, 2016).

Periyodik tablo şu ana kadar tüm elementlerin belirli kurallara göre listelendiği bir tablo olup, Mendeleyev tarafından ilk kez oluşturulmuş ve keşfedilen yeni elementlerin de eklenmesiyle şu anki halini almıştır. Aktinit grubu, periyodik tablonun en altında yer alan iki satırın en son satırına yerleşen aktinyum ( $Z = 89$ ) elementiyle ile başlar Lavrensiyum ( $Z = 103$ ) ile biter ve toplam 14 aktinit elementten oluşur (Li, 2007).

Nükleer uygulamalarda kullanılan çekirdeklerin yapılarının aydınlatılabilmesi; reaksiyon hızlarına, yarı ömürlerine ve nükleer kütlelerine olduğu kadar çekirdek reaksiyonlarında önemli bir parametre olan seviye yoğunluk parametresine de önemli ölçüde bağlıdır (Çapalı ve diğerleri, 2017; Koning ve diğerleri, 2015)

Çekirdeğin seviye yoğunluğu ve seviye yoğunluğu parametreleri, çekirdeğin yapısal özelliklerini tanımlayabilmek ve reaksiyon tesir kesiti hesapları yapabilmek için gereken bilgilerdir. Bu sebeple çekirdek seviye yoğunlukları ve seviye yoğunluğu parametreleri belirlenmesi, nükleer veri kütüphanelerinde deneysel verilerin zenginleşmesi, çekirdek modellerinin doğruluğunun test edilmesi ve geliştirilmesi, bilgisayar ortamında deneysel çalışmaların modellenmesi için oluşturulan programların geliştirilmesi ve test edilmesi için çok önemlidir (Kawano ve diğerleri, 2000).

Aktinitlerin bütün izotopları radyoaktiftir. Doğal radyoaktif elementlerden birçoğu periyodik tablonun son bölgesinde yer alan dört radyoaktif serinin içine dâhildir. Neptinyum çekirdeği ( $^{237}\text{Np}$ ) ise evrenin başlangıcında var olmasına rağmen yarılanma ömrü yaklaşık 2 milyon yıl olmasından dolayı günümüzde mevcut olmayan bir çekirdektir. Günümüzde ise  $^{237}\text{Np}$  çekirdeğini, nükleer reaktörde ortaya çıkan  $^{237}\text{Np}$ 'in  $^{241}\text{Am}$ 'e dönüştüğü reaksiyon zincirinde görmek mümkündür. Nükleer teknolojilerde nükleer fisyon önemli olduğu için  $^{237}\text{Np}$ 'in ve  $^{237}\text{Np}$  serisinin ürünleri de dikkat çekici çekirdeklerdendir (Bothe & Becker, 1930).

Periyodik cetveldeki aktinit grubu elementlerinin nötron fisyon reaksiyonlarının tesir kesit hesaplamaları daha önceki çalışmalarda:

$^{237}\text{Np}$  izotopunun zincirleme fisyon reaksiyonu için, Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarında Escher, J. E. ve arkadaşları tarafından 2012 yılında teorik modellerin deneysel olarak test etme çalışmaları yapılmıştır (Jandel ve diğerleri, 2008).  $^{241}\text{Am}$  çekirdeği için ileri nötron dedektörü kullanarak 0,02 eV ile 230 keV enerjileri arasında termal nötron tesir kesitinin deneysel ölçümleri Jandel, M., ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılmıştır (Tsekhanovich ve diğerleri, 2004).

G. Kessedjian ve arkadaşları,  $^{243}\text{Am}$  izotopu fisyon tesir kesiti ölçümlerini GNEISS tesisinde 1 MeV – 6 MeV enerji aralığında 2012 yılında deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir (Tovesson ve diğerleri, 2014).

Bu çalışma kapsamında MeV enerji mertebesinde  $^{235}\text{Neptinyum}$ ,  $^{237}\text{Neptinyum}$ ,  $^{241}\text{Amerisyum}$ ,  $^{243}\text{Amerisyum}$  (n,f) reaksiyonları çalışılmıştır. TALYS 1.8 nükleer reaksiyon simülasyon yazılımı kullanılarak tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar EXFOR deneysel veri kütüphanesinden ve TENDL kütüphanelerinden erişilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Seviye yoğunluk parametre değerleri değiştirilerek reaksiyon tesir kesitinin bu parametreye bağlılığı incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. TALYS Yazılımı

TALYS programı, 1 keV - 1 GeV enerji aralığında hesaplamaya izin verebilmektedir. TALYS'in 1.8 sürümü, hedef çekirdeğin kütesinin 12 ve daha büyük olduğu durumlar için nötronları, protonları, döteronları, alfa parçacıkları ve gama ışınlarını içeren çekirdek reaksiyonlarının bilgisayar destekli benzetimini yapabilen bir yazılım aracıdır. Bu tez çalışmasında 1.8 TALYS programı kullanılmıştır. TALYS yazılımı ayrıca, yaygın kullanılan nükleer reaksiyon modelleri ve nükleer uygulamalar için geniş veri kütüphaneleri oluşturulmasına imkân verir. Program çıktısı olarak, kararsız rezonans bölgesi dahil olmak üzere belirli enerji aralıklarında; toplam tesir kesitleri, elastik ve elastik olmayan tesir kesitleri, fisyon tesir kesitleri, ürün verimlerinden astrofizik reaksiyon hızlarına kadar çeşitli çıktılar almak mümkündür (Koning ve diğerleri, 2007).

Tesir kesiti hesaplamaları için kullanılan TALYS yazılımının seçilmesinin en önemli sebepleri; yazılımın açık kaynak kod olması, temininin kolaylıkla sağlanabilmesi ve yazılımın analiz sonucunda verdiği çıktıların literatürle yeterli uyum gösterebilmesidir (Koning ve diğerleri, 2005).

### 2.2. Seviye Yoğunluk Modeli ve Seviye Yoğunluk Parametresi (a)

Nükleer seviye yoğunluğu kavramı, belirli bir enerji aralığındaki enerji seviyelerin sayısı olarak açıklanır. Birimi 1/MeV olarak verilir. Çekirdeğin nükleer yapısıyla ilgili karakterini belirleyen bir unsurdur. Nükleer seviye yoğunluğu modelleri, nükleer seviyelere ait verilerinin tam bulunmadığı durumlarda, nükleer reaksiyonların hesaplamaları öngörmek için kullanılmaktadır. Bu amaçla yapılan nükleer hesaplamalarda kullanılan metotlarından biri de istatistiksel modellerdir. Çekirdeklerin nükleer enerji seviyelerinin bilgisinin bulunmadığı veya eksik olduğu uyarma enerjilerinde seviye yoğunluklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru bir seviye yoğunluğu, optik model potansiyeliyle birlikte, tesir kesitlerinin, spektrumların, açılal dağılımların ve diğer nükleer reaksiyon gözlemlenebilirlerinin teorik bir analizi için en önemli bileşenlerindedir. Bu sebeple seviye yoğunlukları geçmişte araştırmacılar etraflıca çalışmıştır. Mevcut literatürde, doğrudan kombinasyonel yöntemlerden elde edilen mikroskobik seviye yoğunluklarından Hartree-Fock yaklaşımlarına ve fenomenolojik analitik ifadelerle kadar çeşitli modeller bulunmaktadır (Demetriou & Gorieli, 2001).

Ignatyuk ve arkadaşları (Ignatyuk ve diğerleri, 1979) "a" parametresi ile kütle formülünün sıvı damlacık formulasyonundaki kabuk düzeltme terimi arasındaki bağıntıyı öne sürmüşlerdir. Enerjiye bağlı kabuk etkilerini temsil etmek için gerçeği daha çok yansıtan bir seviye yoğunluğu ifadesinin enerjiye bağlı bir fonksiyon olması gerektiğini savundular. Enerji ifadesi içinde enerji küçükken kabuk etkilerinin varlığını fakat enerji yüksekken kabuk etkilerinin ihmalini dikkate almakta ve şu şekilde ifade edilmektedir:

$$a = a(E_x) = \tilde{a} \left( 1 + \delta W \frac{1 - \exp[-\gamma U]}{U} \right) \text{ (Ignatyuk ve diğerleri, 1975)}$$

TALYS yazılımı içinde seviye yoğunluk parametresi aadjust parametresi olarak geçmektedir ve varsayılan çarpan değeri 1'dir. Burada  $\tilde{a}$  asimptotik seviye yoğunluğu değeri,  $\gamma$  değeri a ( $E_x$ ) değerinin  $\tilde{a}$  değerine ne kadar hızlı yakınsadığını gösteren sönüm parametresini gösterirken  $\delta W$  kabuk enerji düzeltme enerjisidir.  $\tilde{a}$  değeri ifadesi ise

$$\tilde{a} = \alpha * A + \beta * A^{2/3} \text{ şeklinde verilir.}$$

Sönüm parametresi için sistematik olarak kullanılan ifade

$$\gamma = \gamma_0 / A^{1/3} \text{ şeklindedir.}$$

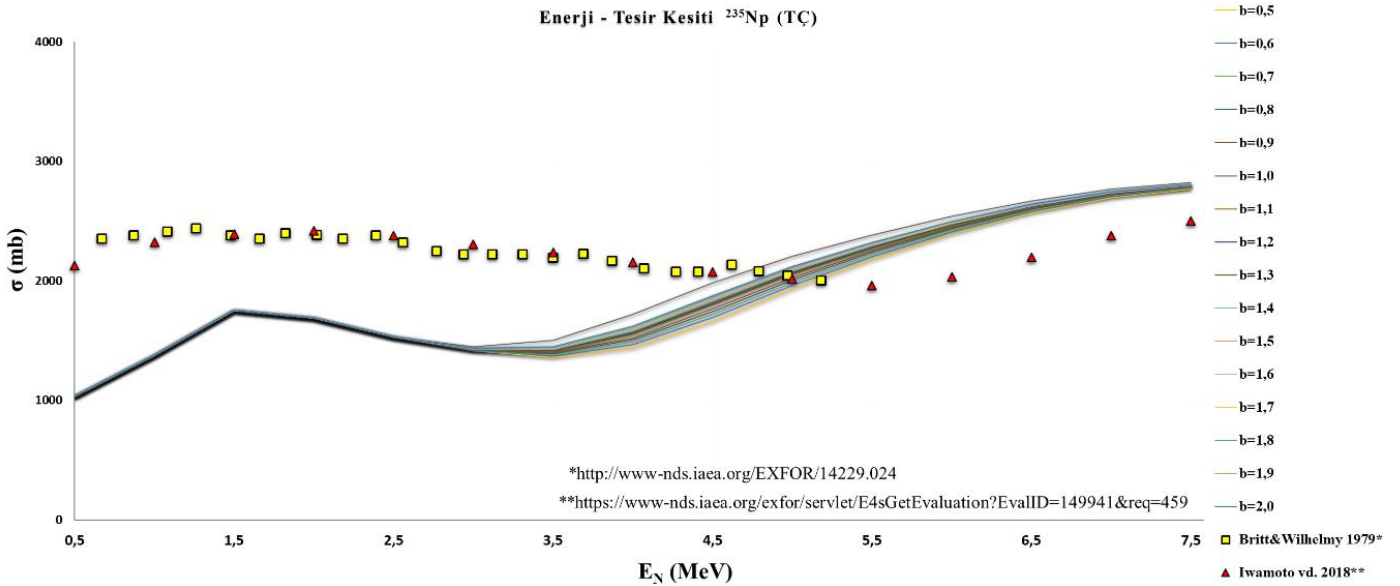
TALYS yazılımı içerisinde bulunan seviye yoğunluk modelleri arasından CTM (Sabit Sıcaklık Fermi Gaz) modeli (Gilbert & Cameron, 1965) kullanılmıştır. Her çekirdek için uygun seviye yoğunluk parametere araması yapmadan önce bu modelin hesaplama sonuçlarına bakarak bu modelin öngördüğü seviye yoğunluk parametresi (a) değeri tespit edilmiştir. Bu değer tespit edildikten sonra bu değer  $\pm \%30$ 'u aralığında altında ve üstünde belirli adımlarla aramalar yapılmıştır. Çalışmada hesaplanan seviye yoğunluk a parametresinin varsayılan değerleri için çarpan kullanılmış ve "b" ile gösterilmiştir. Örneğin, b çarpanı 1 olarak alındığında bu değer varsayılan seviye yoğunluk parametresinin 1 katı olarak hesaba katılmış anlamındadır. Bu sebeple, yapılan hesaplama sonuçlarının gösterimi grafiklerde seviye yoğunluk değerinin katsayısı şeklinde, "b" simgesiyle gösterilmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

$^{235}\text{Np}$  (n,f),  $^{237}\text{Np}$  (n,f),  $^{241}\text{Am}$  (n,f),  $^{243}\text{Am}$  (n,f) reaksiyonlarının tesir kesitleri için elde edilen TALYS hesaplama sonuçları, EXFOR (Deneysel Nükleer Veri Kütüphanesi) ve TENDL'dan erişilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Nötron-fisyon reaksiyonunun modellenmesinde CTM modeli kullanılmış ve yazılım hesaplamalarından elde edilen sayısal veriler MS EXCEL yardımıyla işlenmiş grafik ortamına aktarılmış ve bu grafikler bölüm 3.1'de sunulmuştur.

#### 3.1. $^{235}\text{Np}$ izotopunun Nötron-Fisyon Reaksiyonu için CTM modelinde En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi

Neptinyum çekirdeğinin  $^{235}\text{Np}$  izotopu TALYS paket programı kullanılarak 0,5 – 7,5 MeV enerji aralığında enerjiye sahip nötron-fisyon reaksiyonu için 0,5-2 aralığında 0,1 artışla farklı seviye yoğunluk parametrelerle tesir kesiti hesabı yapılmıştır. Elde edilen veriler, tesir kesitine karşılık nötron enerjisi grafiklerine dönüştürülerek aynı grafik üzerine literatürden elde edilen deneysel veriler eklenerek şekil 3.1'deki grafik oluşturulmuştur.



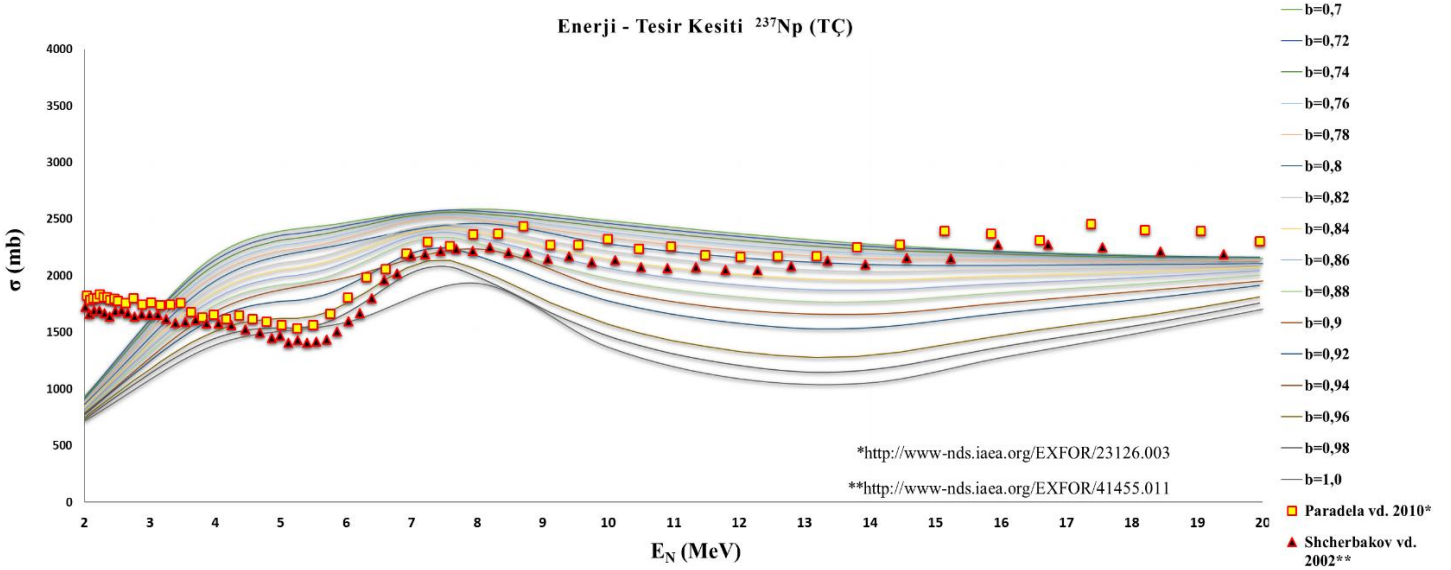
Şekil 1.  $^{235}\text{Np}$  (n,f) reaksiyonu için gelme enerjisine karşılık tesir kesiti grafiği

Şekil 1.'deki grafikten görüleceği gibi  $^{235}\text{Np}$  izotopu için hesaplanan tesir kesitleri 0,5 MeV den 2,5 MeV'e kadar seviye yoğunluk parametresine bağlı olarak değişim göstermemesine rağmen 2,5 MeV üzerindeki enerjilerde tesir kesitlerinde ayrışma görülmektedir. Çalışmamızın sonuçları, deneysel verilerimiz 7,5 MeV'e kadar olması sebebiyle bu aralıklarda deneysel veri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda; deneysel verilerin hesaplama sonuçlarımızla 4,5 MeV civarına kadar uyum göstermediği fakat bu enerjinin üstündeki enerjilerde uyum sağladığı gözlenmiştir. 3.1 incelendiğinde CTM modelinde varsayılan seviye yoğunluk parametresi a değerinin varsayılan değerinin ( $a_{\text{varsayılan}} = 15,46463$ ) en uyumlu değer olduğu görülmektedir. Böylece, hesaplamalar sonucunda deneysel verilere en iyi uyum sağlayan seviye yoğunluk parametre çarpanı, b=1 olarak tespit edilmiştir.

#### 3.2. $^{237}\text{Np}$ izotopunun Nötron-Fisyon Reaksiyonu için CTM modelinde En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi

$^{237}\text{Np}(n,f)$  reaksiyonu için TALYS 1.8 yazılımı ile varsayılan seviye yoğunluk modeli (CTM) kullanılarak reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. CTM modelinde  $^{237}\text{Np}$  için varsayılan seviye yoğunluğu parametresinin değeri hesaplanmış ve bu a değerinin %70'i ile %100'ü aralığında %2'lik adımlarla TALYS yazılımı çalıştırılmış ve deneysel verilerle en uyumlu a parametresi araştırılmıştır. Teorik nükleer model hesaplamaları, Ulusal Atom Enerjisi Kurumu'na ait nükleer veri bankasından erişilen deneysel verilerle Şekil 3.2'de karşılaştırılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

2 – 20 MeV enerji aralığında deneysel verilerin enerji aralıklarına uygun artışa uygun olarak nötron-fisyon reaksiyonu için yapılan hesaplamalar tesir kesitine karşılık nötron enerjisi grafiklerine dönüştürülerek aynı grafik üzerine literatürden elde edilen deneysel sonuçlar da eklenerek Şekil 3.2'deki grafik elde edilmiştir.

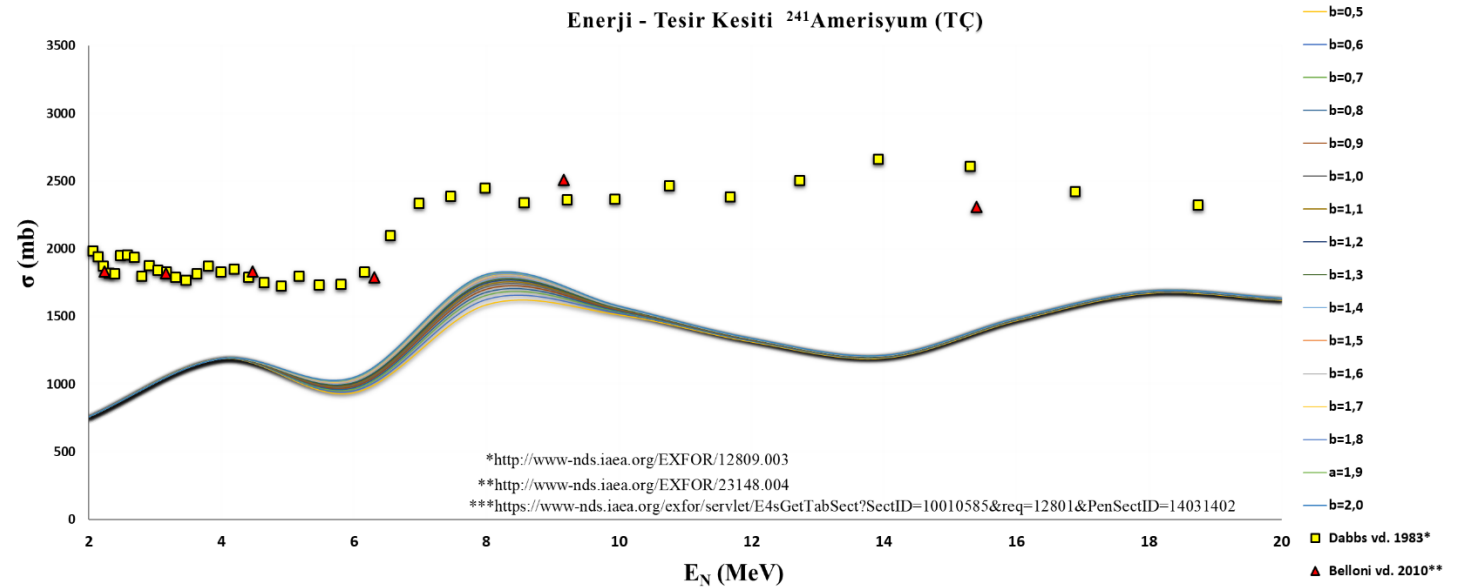


Şekil 2.  $^{237}\text{Np}$  (n,f) reaksiyonu için gelme enerjisine karşılık tesir kesiti grafiği

Yapılan hesaplamalar sonucunda Şekil 2.'de görüldüğü üzere; 2-8 MeV aralığı için deneysel verilerle uygun belli bir a parametresi gözlenmemiştir. 8-20 MeV enerji aralığında ise TALYS yazılımının öngördüğü seviye yoğunluk parametresinin varsayılan değerinin ( $a_{\text{varsayılan}} = 14,87898$ ) %78'i diğer değerlere göre deneysel verilerle daha uyumlu olduğu belirlenmiştir. Böylece en uygun b çarpanı 0,78 olarak tespit edilmiştir.

### 3.3. $^{241}\text{Americium}$ izotopunun Nötron-Fisyon Reaksiyonu için CTM modelinde En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi

$^{241}\text{Americium}$  (n,f) reaksiyonu için CTM modele ait olan varsayılan a parametresinin değeri TALYS'te hesaplanmıştır daha sonra elde edilen bu değerin %50'si ve %200'ü aralığında TALYS yazılımı yeniden çalıştırılmıştır. Çalıştırılan analiz sonucunda a parametresinin %50'u ve %200'ü katı aralığında a parametresinin reaksiyon tesir kesiti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Her bir a parametresi için elde edilen yeni reaksiyon tesir kesiti değerleri, deneysel reaksiyon kesir tesiti değerleriyle birlikte Şekil 3.'te grafik halinde sunulmuştur.



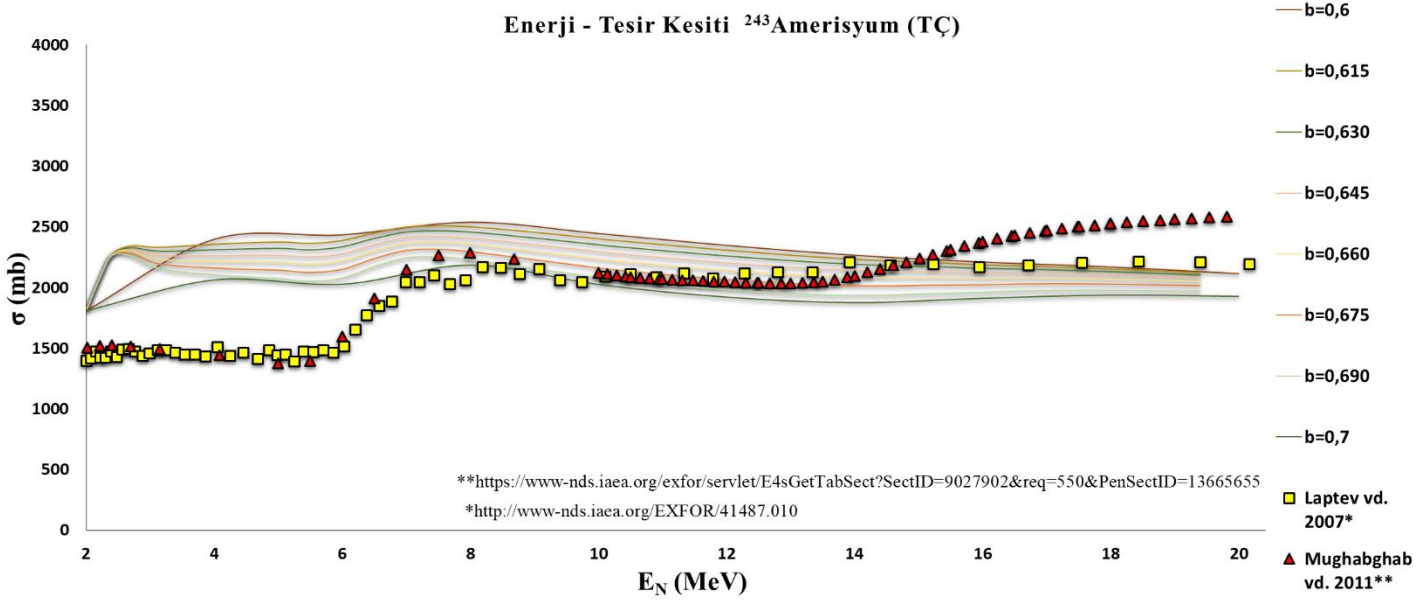
Şekil 3.  $^{241}\text{Americium}$  (n,f) reaksiyonu için gelme enerjisine karşılık tesir kesiti grafiği



2 – 20 MeV arasındaki gelme enerjilerinde 2 MeV’lik aralıklarla artırılarak incelenen  $^{241}\text{Am}$  reaksiyonu için Şekil 3.’e bakıldığında; hesaplanan tesir kesirlerinin deneysel verilerle üst üste çakışmadığı fakat hesaplama sonuçlarının deneysel verilere benzer bir formda dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir.

### 3.4. $^{243}\text{Am}$ izotopunun Nötron-Fisyon Reaksiyonu için CTM modelinde En İyi Seviye Yoğunluk Parametresinin Belirlenmesi

CTM modelinin  $^{243}\text{Am}$  izotopu için varsayılan seviye yoğunluk  $a$  parametresi TALYS yazılımında çalıştırılmış ve bulunan  $a$  parametresi %30’u ila %40 oranında azaltılmış ve yazılımda tekrar çalıştırılmıştır. 2- 20 MeV enerjilerindeki nötron-fisyon reaksiyonunun tesir kesitleri  $a$  parametresinin %60’ı ila %70’i aralığı için yapılan hesaplamaların sonuçları literatürden elde edilen deneysel verilerle beraber karşılaştırılmak üzere Şekil 4.’te gösterilmiştir.



Şekil 4.  $^{243}\text{Am}$  (n,f) reaksiyonu için gelme enerjisine karşılık tesir kesiti grafiği

Şekil 4. dikkatlice incelendiğinde hesaplama sonuçlarının 2 - 6 MeV arası deneysel verilerle uyumu gözlenmemiştir. 7 - 20 MeV enerji aralığında ise tamamiyle olmasa da diğerlerine göre deneysel verilerle en yakın uyumu gösteren seviye yoğunluk  $a$  parametresi; varsayılan  $a$  parametresinin ( $a_{\text{varsayılan}} = 14,84924$ ) %67,5’si olarak alınan değer olmuştur. Böylece  $^{243}\text{Am}$  reaksiyonunda yapılacak hesaplamalar için CTM seviye yoğunluk modelinde en uygun  $b$  çarpanı 0,675 olarak belirlenmiştir.

## 4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada, aktinit grubunda yer alan  $^{235}\text{Np}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{241}\text{Am}$  ve  $^{243}\text{Am}$  çekirdekleri için seviye yoğunluk parametrelerinin değişiminin tesir kesitlerine olan etkisi incelenmiştir. TALYS nükleer kodu kullanılarak yapılan hesaplamalarla her çekirdek için önce varsayılan  $a$  parametresi hesaplanmış sonra bu değer  $\pm$  %30’u aralığında belirli adımlarla değiştirilerek deneysel verilerle en iyi uyumu verecek  $a$  parametresinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tez çalışması kapsamında üzerine odaklanılan nokta,  $^{235}\text{Np}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{241}\text{Am}$  ve  $^{243}\text{Am}$  çekirdekleri için en uygun seviye yoğunluğu parametresinin belirlenmesidir. Bu amaçla yürütülen çalışma sayesinde; çalışmada seçilen hedef çekirdeklerin varsayılan seviye yoğunluk modeline (CTM) bağlı olarak nükleer yapılarına -seviye yoğunluk parametresi- ait özellikleri hakkında bilgilere ulaşılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan seviye yoğunluk modeli, Gilbert – Cameron modeli olarak bilinen sabit sıcaklık fermi gaz modelidir (CTM). Elde edilen hesaplama sonuçları, EXFOR (Deneysel Nükleer Veri Kütüphanesi) ve TENDL’den erişilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır ve yazılım hesaplamalardan elde edilen sayısal veriler MS EXCEL yardımıyla işlenmiş ve grafik ortamına aktarılmıştır.

Sonuç olarak,  $^{235}\text{Np}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{243}\text{Am}$  (n,f) reaksiyonları için seviye yoğunluk parametresinin değişimi reaksiyon tesir kesitlerinin önemli ölçüde değişimine sebep olmuştur. Tez çalışması kapsamında yukarıda belirtilen her bir çekirdek için en uygun  $a$  parametresi tespit edilmiştir. Bu reaksiyonların laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi çok yüksek maliyet gerektirmesi ve zaman açısından oldukça zorluk barındırmasından dolayı, TALYS gibi bir nükleer reaksiyon simülasyon yazılımının sanal ortamda bu reaksiyonları çalıştırıp reaksiyon hakkında ön bilgi verebilmesi büyük bir önem teşkil etmektedir.

Gelecekte bu çalışmaya ek olarak Tek-Çift ve Çift-Tek çekirdeklerin proton-nötron sayılarının durumuna göre reaksiyon tesir kesitinin değişimi incelenebilir ve gelecek çalışma önerileri şu şekilde verilmiştir:

- 1) Çalışılacak çekirdek sayısı artırılmalıdır.
- 2) Seçilen çekirdekler aynı elementin çok sayıda farklı izotopu olmalıdır.
- 3) TALYS gibi başka yazılımlar da hesaplamalarda kullanılmalıdır (ALICE/ASH, EMPIRE vb.).
- 4) Birden fazla seviye yoğunluk modeli kullanılmalıdır (BFM,GSM vb.)

## Kaynakça

- Amaldi. (1984). From the discovery of the neutron to the discovery of nuclear fission. *Physics Reports*, 1-331.
- Bothe & Becker. (1930). Artificial excitation of nuclear  $\gamma$  rays. *Journal of Physics*, 66(5-6), 289-306.
- Çapalı ve diğerleri. (2017). Hızlı nötron reaktörlerinde yakıt malzemesi olarak kullanılan 235,238 U ve 239Pu izotoplarına yönelik tesir kesiti hesaplamaları için nükleer seviye yoğunluğu parametresinin incelenmesi. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 19(3), 1-6.
- Capote ve diğerleri. (2016). Prompt fission neutron spectra of actinides. *Nuclear Data Sheets*, 131, 1-106.
- Demetriou & Goriely. (2001). Microscopic nuclear level densities for practical applications. *Nuclear Physics A*, 695(1-4), 95-108.
- Gilbert & Cameron. (1965). A composite nuclear-level density formula with shell corrections. *Canadian Journal of Physics*, 43(8), 1446-1496.
- Hahn & Strassmann. (1938). About the formation of radium isotopes from uranium by irradiation with fast and slowed neutrons. *Natural Sciences*, 26(46), 755-756.
- Ignatyuk ve diğerleri. (1975). Phenomenological description of energy dependence of the level density parameter. *Yadernaya Fizika*, 21(3), 485-490.
- Ignatyuk ve diğerleri. (1979). Role of collective effects in the systematics of nuclear level densities. *Soviet Journal of Nuclear Physics*.
- Jandel ve diğerleri. (2008). Neutron capture cross section of Am 241. *Physical Review C*, 78(3).
- Kawano ve diğerleri. (2000). Simultaneous evaluation of fission cross sections of uranium and plutonium isotopes for JENDL-3.3. *Journal of nuclear science and technology*, 37(4), 327-334.
- Koning ve diğerleri. (2005). Nuclear Data for Science and Technology. In C. H. al. (Ed.), *AIP Conference Proceedings*, 769, p. 1154.
- Koning ve diğerleri. (2007). TALYS-1.0. *International Conference on Nuclear Data for Science and Technology* (pp. 211-214). EDP Sciences.
- Koning ve diğerleri. (2015). *User Manual of TALYS-1.8*. Hollanda: Nükleer Araştırma ve Danışma Kurulu, Petten.
- Li, J. &. (2007). The actinides—a beautiful ending of the Periodic Table. *Journal of Alloys and Compounds*, 444, 202-206.
- Nayak & Desai. (2016). Cross sections and neutron emission spectra in fission of unstable actinide nuclei using surrogate reactions and direct neutrons. *Proceedings of the DAE-BRNS Symp. on Nucl. Phys.* Kolkata, INDIA.
- Nesvizhevsky & Villain. (2017). The discovery of the neutron and its consequences (1930–1940). *Comptes Rendus Physique*, 18 (9-10), 592-600.
- Rogers. (2013). The neutron's discovery-80 years on. *Physics Procedia*, 1-9.
- Tovesson ve diğerleri. (2014). Fast Neutron-Induced Fission Cross Sections of 233, 234, 236, 238U up to 200 MeV. *Nuclear Science and Engineering*, 178(1), 57-65.
- Tsekhanovich ve diğerleri. (2004). Fission-product formation in the thermal-neutron-induced fission of odd Cm isotopes. *Physical Review C*, 70 (4).