



$^{234-238}\text{U}$ ve $^{231,233}\text{Pa}$ ÇEKİRDEKLERİNİN (n,f) TESİR KESİTLERİNİN HESAPLANMASI

M.YİĞİT¹, M. E. KORKMAZ¹, M. GÜNAY², B. ŞARER¹

¹Gazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, ANKARA

²İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, MALATYA

ÖZET

Bu çalışmada $^{234-238}\text{U}$ ve $^{231,233}\text{Pa}$ çekirdeklerinin fisyon tesir kesitleri hesaplandı. Hesaplamalar 1-20 MeV gelme enerjili nötronlarla gerçekleştirildi. Hesaplamalarda ALICE-ASH ve CEM95 bilgisayar programları kullanıldı. CEM95 ile yapılan hesaplamalarda her bir çekirdek için seviye yoğunluğu parametresinin (IFAM) tüm sistematikleri kullanıldı. ALICE-ASH ile yapılan hesaplamalarda RFRM (*Rotation-Finite-Range Model*) ve RLDM (*Rotation-liquid-Drop Model*) modelleri kullanıldı. Hesaplanan fisyon tesir kesitleri Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri (*Experimental Nuclear Reaction Data-EXFOR*) kütüphanesinden elde edilen deneysel değerlerle karşılaştırıldı [1].

Anahtar Kelimeler: Tesir kesiti, Fisyon engeli, Seviye yoğunluğu parametresi, Çığ eksiton modeli.

THE CALCULATIONS OF (n,f) CROSS SECTIONS OF $^{234-238}\text{U}$ AND $^{231,233}\text{Pa}$ NUCLEI

ABSTRACT

In this study, cross section of $^{234-238}\text{U}$ and $^{231,233}\text{Pa}$ have been calculated. Calculations have been studied by 1-20 MeV incident energy neutrons. ALICE-ASH and CEM95 computer programs was used for calculations. In CEM95 calculations, all sistematics of level density parameters (IFAM) was used for each of nuclei. In ALICE-ASH calculations, RFRM (*Rotation-Finite-Range Model*) and RLDM (*Rotation-liquid-Drop Model*) was used. The calculated fission cross section was compared with the experimental data taken from the Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR) [1].

Keywords: Cross section, Fission barrier, Level density parameter, Cascade exciton model.

*E-posta: mustayigit1905@yahoo.com

1. GİRİŞ

Nükleer fisyon tesir kesitleri nükleer yapının anlaşılmasında çok önemlidir. Ayrıca güç reaktörlerinde, nükleer atık dönüşümünün yapıldığı hızlandırıcı güdümlü sistemlerde ve bunlara benzer daha birçok alanda nükleer fisyon tesir kesitlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tesir kesitlerini ölçmek için yapılan deneyler oldukça masraflıdır ve bu ölçümlerin yapılabilmesi için gerekli olan laboratuvarlar sınırlı sayıdadır. Bu nedenlerden dolayı, nükleer fisyon tesir kesitlerini elde etmek için güvenilir modellere ihtiyaç duyulur. Günümüzde, gelme enerjisi 20 MeV'e kadar olan nötronların oluşturduğu reaksiyonlarda, fisyon tesir kesitlerinin hesaplanabilmesi için birçok güvenilir bilgisayar programı vardır. Bu çalışmada ALICE-ASH [2] ve CEM95 [3] bilgisayar programlarını kullanıldı.

2. ÇIĞ EKSİTON MODELİ

CEM95 reaksiyonların üç basamakta gerçekleştiğini varsayar. İlk basamak bir nükleer seviyelerdeki geçiştir. İkinci basamak denge öncesine, üçüncü basamak ise denge (veya bileşik çekirdek) durumuna karşılık gelir. Genel olarak bu üç bileşen deneysel olarak ölçülen değerlere katkıda bulunur. Dolayısıyla parçacık spektrumu için aşağıdaki eşitlik yazılır.

$$\sigma(p)dp = \sigma_{in} [N^{cas}(p) + N^{pfg}(p) + N^{eg}(p)]dp \quad (1)$$

σ_{in} inelastik tesir kesiti, σ_{geom} hedef çekirdeğin geometrik tesir kesiti, N_{in} inelastik ve N_{el} elastik etkileşmelerin toplam sayısıdır. Bu parametreler çığ modelinin içinde Monte Carlo yöntemiyle hesaplanır. İnelastik tesir kesiti $\sigma_{in} = \sigma_{geom} N_{in} / (N_{in} + N_{el})$ eşitliğiyle hesaplanır. R hedef çekirdeğin yarıçapı olmak üzere geometrik tesir kesiti $\sigma_{geom} = \pi R^2$ ile verilir. Weisskopf-Ewing istatistiksel teorisinde [4] bir j parçacığının (j=n, p, d, t, ³He, ⁴He) yayınlanması için Γ_j kısmi genişliği ve Bohr-Wheeler fisyon teorisinde [5] fisyon için Γ_f kısmi genişliği aşağıdaki formüllerle ifade edilir [6].

$$\Gamma_j = \frac{(2j+1)m_j}{\pi^2 p_c(U_c)} \int_{V_j}^{U_j - B_j} \sigma_{inv}^j(E) p_j(U_j - B_j - E) E dE \quad (2)$$

$$\Gamma_f = \frac{1}{2\pi p_c(U_c)} \int_0^{U_f - B_f} p_f(U_f - B_f - E) dE \quad (3)$$

Burada; bileşik çekirdeğin seviye yoğunluğu p_c , j . parçacığın yayınlanmasından sonra oluşan kalan çekirdeğin seviye yoğunluğu p_j ve dönüm noktasında fisyon yapan çekirdeğin seviye yoğunluğu p_f ile gösterilir. j . parçacığın kütlesi m_j , spini s_j ve bağlanma enerjisi B_j 'dir. B_f fisyon engelini yüksekliğidir. CEM95 kodu Cameron formülünü kullanarak parçacığın bağlanma enerjisini hesaplar [7]. $\sigma_{tr}^j(E)$ kalan çekirdek tarafından E kinetik enerjili j . parçacığın soğurulması için ters tesir kesitidir. V_j etkin Coulomb engeli, U ise çekirdeğin termal enerjisidir. Çiğ modeli parçacığın kinetik enerjisi nükleonun bağlanma enerjisini aştığı yüksek enerjilerde daha iyi yerine getirilir. CEM95 hesaplamalarında kullanılan bazı parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CEM95 hesaplamalarında kullanılan input parametreleri

<i>Parametre Adı</i>	<i>Parametre Tanımı</i>
ISHA=1	Seviye yoğunluğu parametresi için kabuk düzeltmesi
IB=1	Makroskobik fisyon engelini model seçimi
IJSP=1	Fisyon engelini açısal momentuma bağımlılığı
ISH=1	Fisyon engeli için temel durum kabuk düzeltmesi
RM=0.5	Ters reaksiyon tesir kesitleri için Dostrovsky formülündeki [8] r_0 (fm) parametresi
IBE=1	Fisyon engelini uyarılma enerjisine bağımlılığı

İstatistiksel denge ve denge öncesi modellerde en önemli nicelik seviye yoğunluğu parametresidir. CEM95'de seviye yoğunluğu parametresi (IFAM) için farklı sistematipler seçilebilir. Bu hesaplamalarda seviye yoğunluğu parametresinin 10 farklı sistematiği kullanıldı.

3. ALICE-ASH

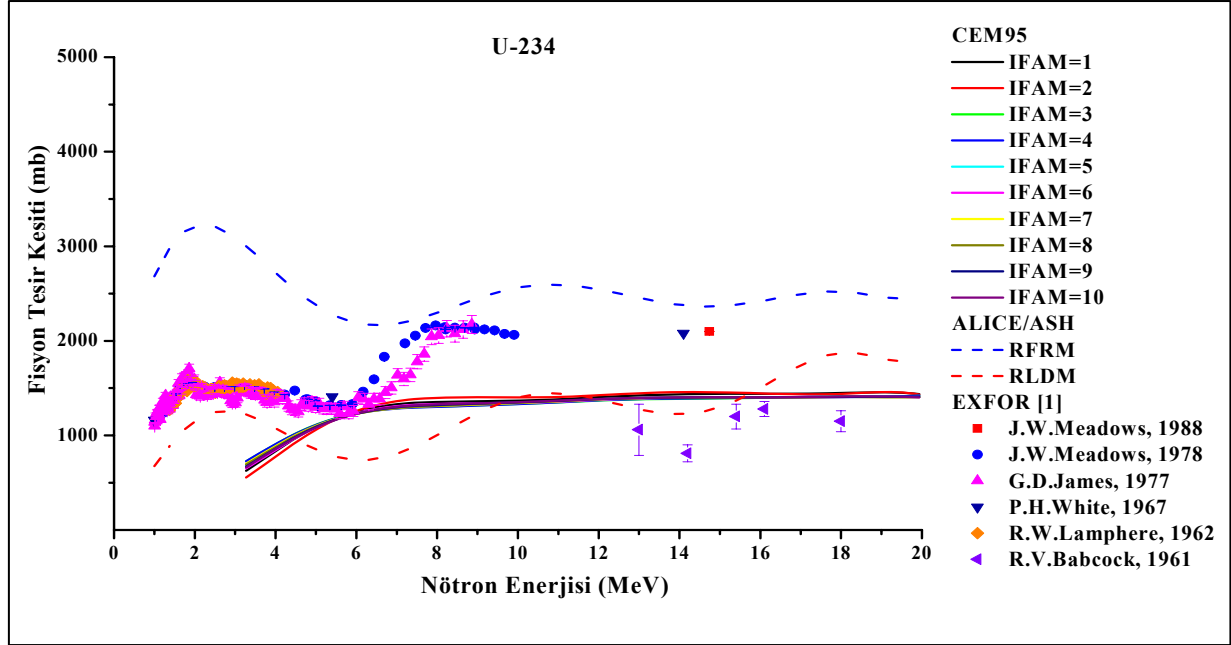
ALICE bilgisayar programı Blann tarafından oluşturulmuştur [9-12]. ALICE-ASH kodu ALICE kodunun geliştirilmiş ve düzeltilmiş versiyonudur. ALICE-ASH, 300 MeV ve daha az enerjiye sahip nükleonlar veya çekirdekler tarafından oluşturulan nükleer reaksiyonlardaki ikincil parçacıkların uyarılma fonksiyonları, enerjileri ve açısal dağılımlarının hesaplanması için uygulanabilir. ALICE-ASH hedef çekirdek ile nükleonların veya başka bir çekirdeğin orta enerjilerdeki etkileşimlerinin çalışılması için yazılmıştır. Geometrik bağımlı hibrit modeli (GDH) reaksiyonun denge öncesi aşamasında uygulanır. Reaksiyonun denge aşamasında ise Weisskopf-Ewing modeli kullanılır. ALICE-ASH, fisyon hesaplamalarında Bohr–Wheeler yaklaşımını kullanmaktadır. ALICE-ASH kodunda fisyon engeli hesaplamaları için iki seçenek vardır. Bu fisyon engelleri programda IFIS parametresi ile gösterilir. IFIS=0 durumu RFRM (*Rotation-Finite-Range Model*) modeline [13] ve IFIS>0 durumu RLDM (*Rotation-liquid-Drop Model*) modeline [14] karşılık gelir. RLDM, fisyon engelini dönen bir çekirdeğin açısal momentumunun bir fonksiyonu şeklinde tanımlar. Mustafa ve arkadaşları [15], RLDM'nin doğruluğu hakkındaki sorulardan dolayı bir model geliştirdiler. Mustafa ve arkadaşlarının modeli, sonlu-aralık nükleer kuvvet etkilerini ve dağınık nükleer yüzey etkilerini içerir. Ayrıca bu model yüzey, dönme ve Coulomb enerjilerinin hesaplanması ile de RLDM'den farklıdır. RFRM modeli Mustafa ve arkadaşlarının modelinin geliştirilmiş bir versiyonudur. RFRM modeli Sierk tarafından daha iyi parametreler ve bilgisayar teknikleri kullanarak oldukça iyi bir şekilde geliştirildi. Yapılan hesaplamalarda bu iki fisyon engel seçeneğini de kullanıldı.

4. HESAPLAMALAR

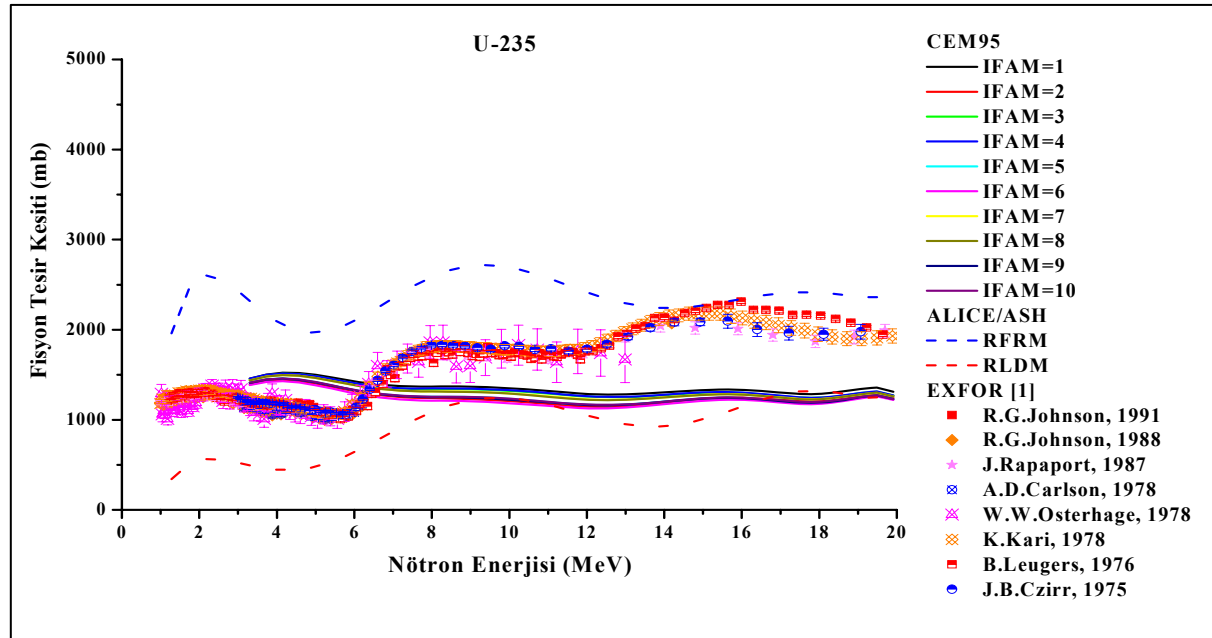
$^{231,233}\text{Pa}$ ve $^{234-238}\text{U}$ izotoplarının her biri için fisyon tesir kesitleri ALICE-ASH ve CEM95 bilgisayar programları kullanılarak hesaplandı. Hesaplanan bu fisyon tesir kesitleri ile deneysel değerler Şekil 1-7'de karşılaştırıldı.

Şekil 1'de ^{234}U için yapılan hesaplamalar ve deneysel değerler karşılaştırılmıştır. CEM95 hesaplamalarında seviye yoğunluğu parametresi için kullandığımız sistematikler arasında hem biçim hem de büyüklük olarak büyük benzerlikler vardır. RLDM ve RFRM modelleri ile yapılan hesaplamalarda ise biçim olarak büyük benzerlikler olmasına karşın büyüklük olarak aralarında

büyük fark vardır. RFRM modeli ile yapılan hesaplamalar deneysel değerlerin üzerinde yer alırken, RLDM modeli ile yapılan hesaplamalar deneysel değerlerin altında yer almaktadır.



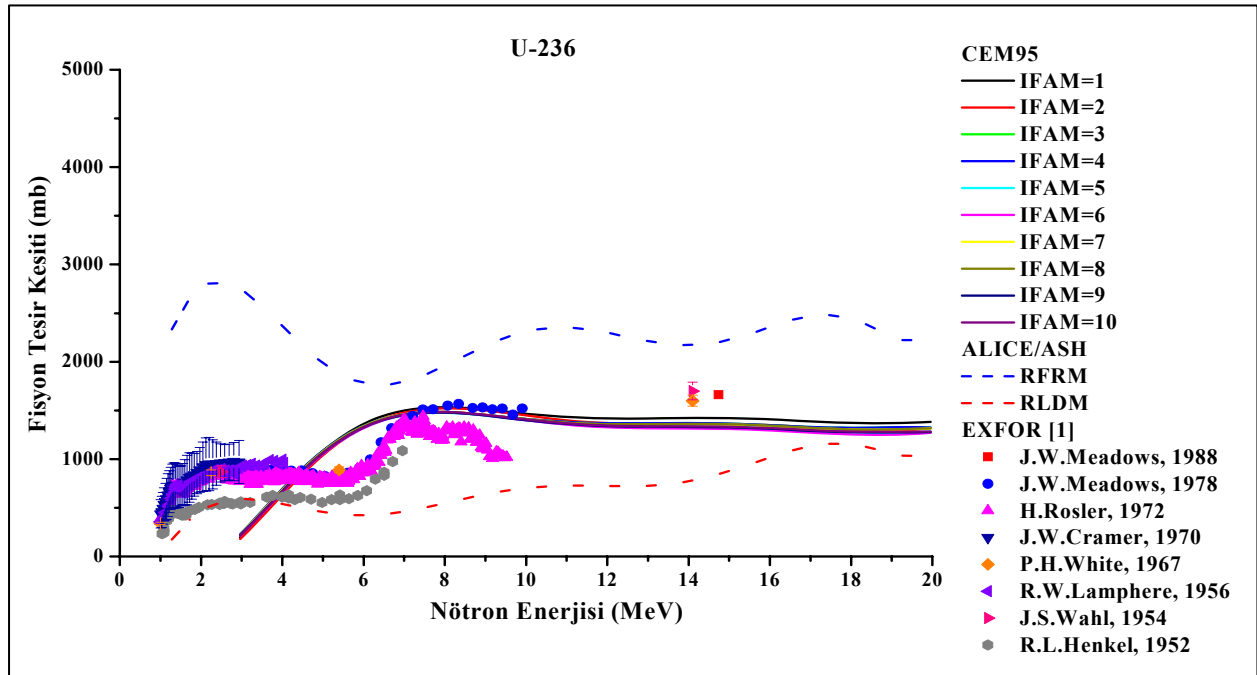
Şekil 1. ^{234}U çekirdeğinin hesaplanan (n,f) tesir kesitlerinin deneysel değerlerle karşılaştırılması.



Şekil 2. ^{235}U çekirdeğinin hesaplanan (n,f) tesir kesitlerinin deneysel değerlerle karşılaştırılması.

RLDM modeli ile yapılan hesaplamalar özellikle biçim olarak deneyle çok iyi bir uyum sağlamaktadır. CEM95 ile deney arasında hem büyüklük hem de biçim olarak uyum yoktur. Yalnızca 5-7 MeV aralığında büyüklük olarak deneyle uyumludur.

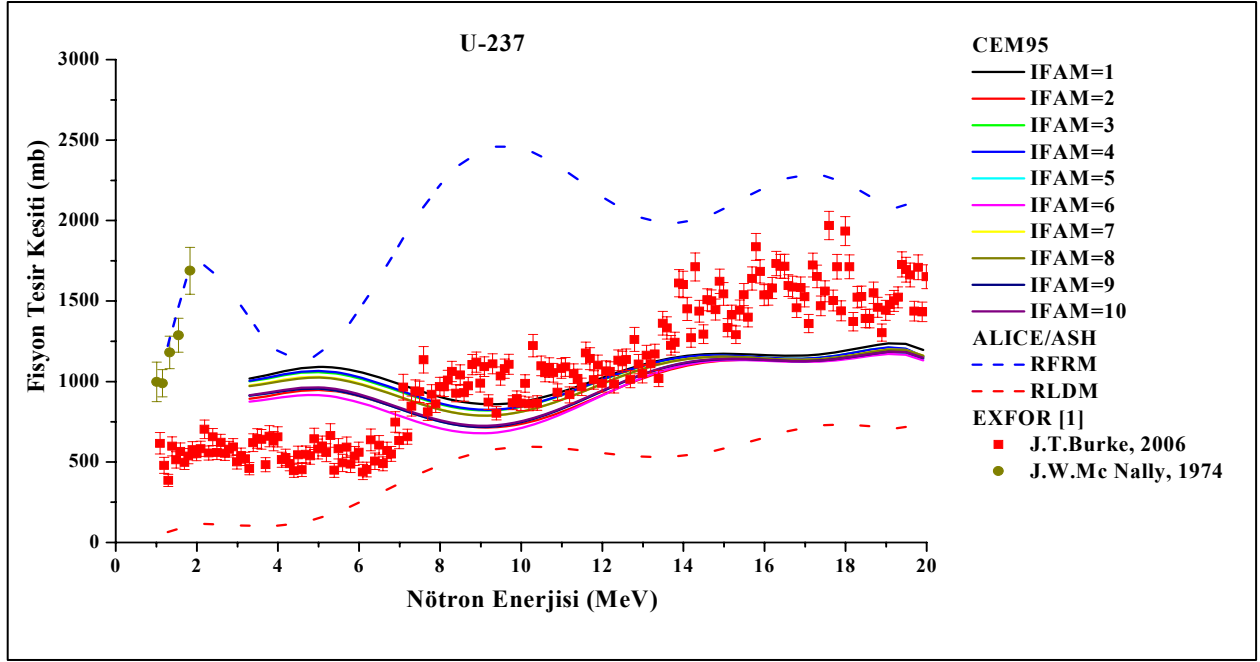
Şekil 2’de ^{235}U için yapılan hesaplamalar ve deneysel değerler karşılaştırılmıştır. ^{235}U için RFRM modeli ile yapılan hesaplamalar, RLDM modeli ile yapılan hesaplamaların büyüklük olarak çok üzerinde olmasına rağmen bu iki model biçim olarak çok benzemektedir. Deneysel değerler bu iki model ile yapılan hesaplamaların arasında yer almakta ve 1-10 MeV aralığında bu iki model ile yapılan hesaplamalar ile deney biçim olarak uyumludur. 10 MeV üzerindeki enerjilerde ise bu uyum kaybolmaktadır. 1-13 MeV aralığında CEM95 ile yapılan hesaplamalar ALICE-ASH ile yapılan hesaplamalara göre deneye daha yakın olmasına rağmen biçim olarak farklıdır. Yalnızca 8-12 MeV aralığında biçim olarak benzerlik bulunmaktadır.



Şekil 3. ^{236}U çekirdeğinin hesaplanan (n,f) tesir kesitlerinin deneysel değerlerle karşılaştırılması.

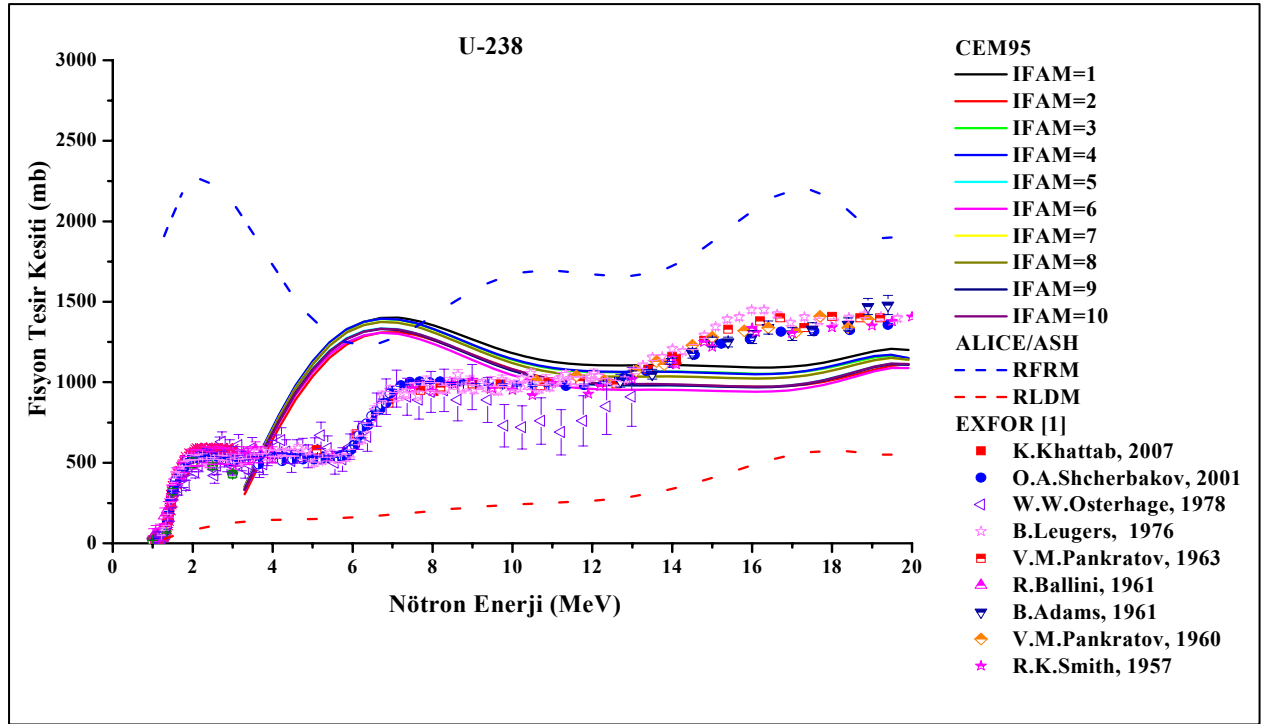
Şekil 3’de ^{236}U için yapılan hesaplamalar ve deneysel değerler karşılaştırılmıştır. ^{236}U için yapılan CEM95 hesaplamalarında seviye yoğunluğu parametresi için kullanılan sistematiği arasında hem biçim hem de büyüklük olarak büyük benzerlikler vardır. RFRM ve RLDM modelleri ile yapılan hesaplamalar biçim olarak birbirlerine benzerdir. RFRM modeli ile yapılan

hesaplamalar, RLDM modeli ile yapılan hesaplamaların çok üzerindedir. RLDM modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar özellikle 1-5 MeV aralığında deneyle hem biçim hem de büyüklük olarak uyum içindedir. 3-6 MeV aralığında CEM95 ile yapılan hesaplamalar deney ile gerek biçim gerek büyüklük olarak pek benzememektedir. Fakat 6-10 MeV aralığında CEM95 ile yapılan hesaplamalar deney ile uyumludur.



Şekil 4. ^{237}U çekirdeğinin hesaplanan (n,f) tesir kesitlerinin deneysel değerlerle karşılaştırılması.

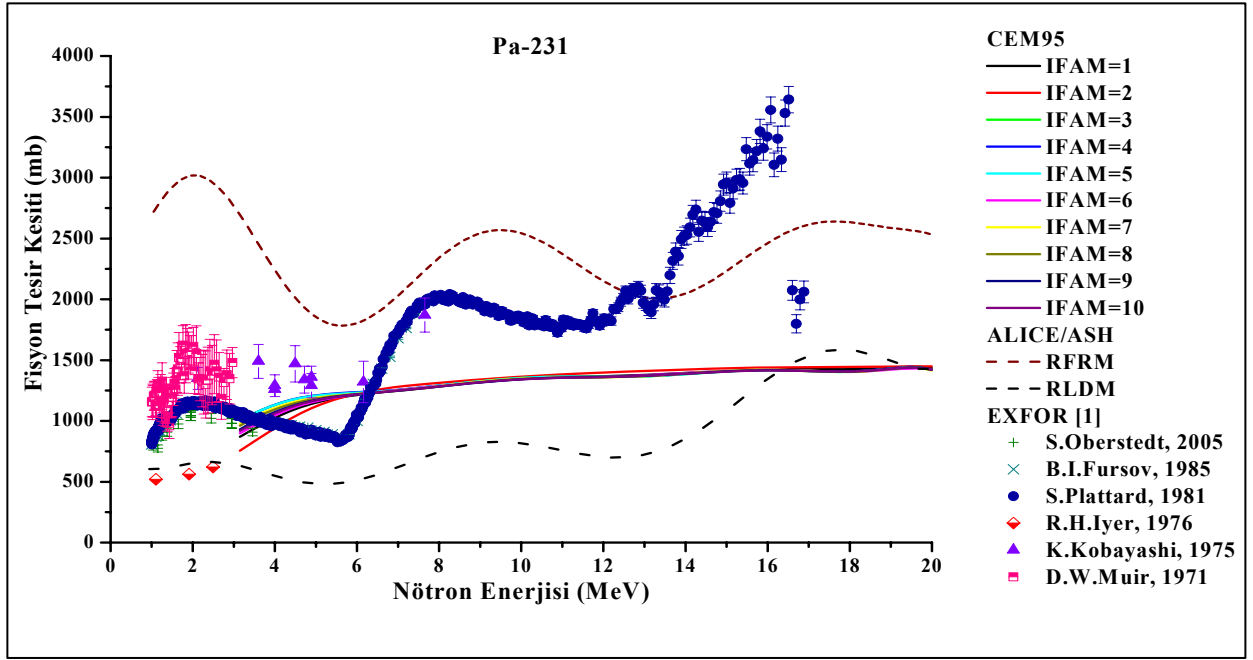
Şekil 4'de ^{237}U için yapılan hesaplamalar ve deneysel değerler karşılaştırılmıştır. ^{237}U için yapılan CEM95 hesaplamaları ALICE-ASH ile yapılan hesaplamalara göre deneysel değerlere daha yakındır. CEM95 hesaplamaları ile deneysel değerler biçim olarak uyumlu değildir. RFRM modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar 13-20 MeV aralığında deneysel değerlerle biçim olarak benzerlik görülmektedir. RLDM modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar 1-11 MeV aralığında deneye büyüklük olarak uzak olmasına rağmen biçim olarak uyumludur. Daha yüksek enerjilere çıktıkça bu uyum kaybolmaktadır.



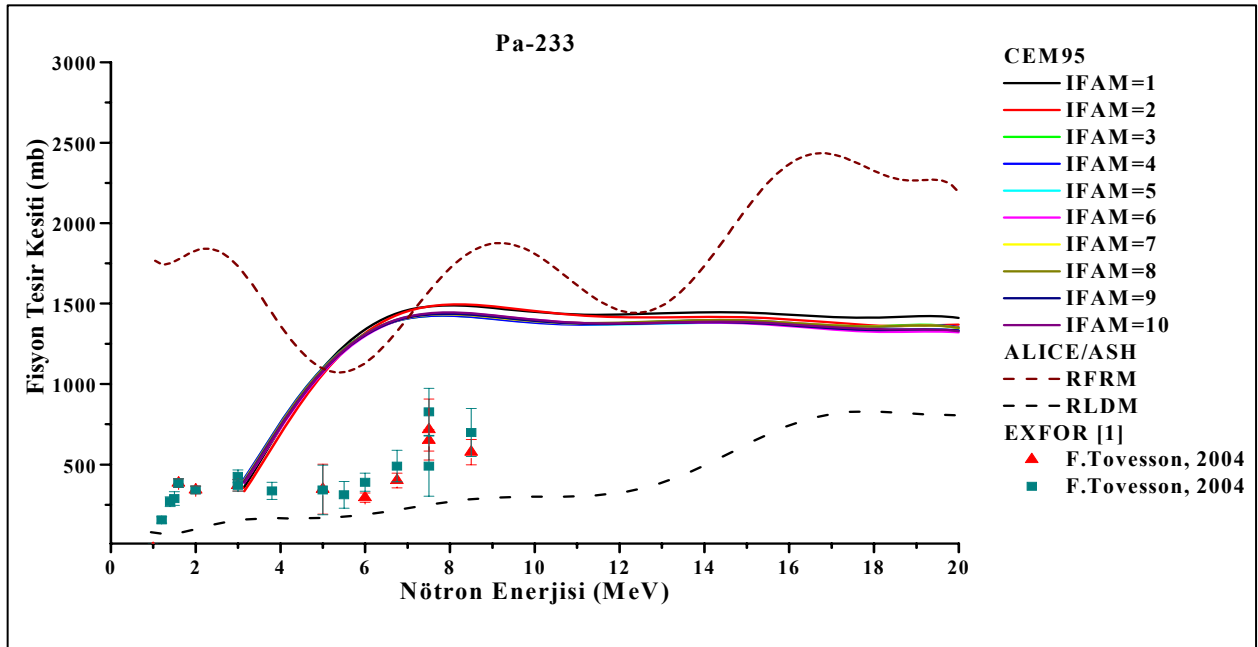
Şekil 5. ^{238}U çekirdeğinin hesaplanan (n,f) tesir kesitlerinin deneysel değerlerle karşılaştırılması.

Şekil 5’de ^{238}U için yapılan hesaplamalar ve deneysel değerler karşılaştırılmıştır. ^{238}U için yapılan CEM95 hesaplamaları büyüklük olarak deneyle benzerlik göstermesine rağmen biçim olarak son derece farklıdır. RFRM ve RLDM modelleri kullanılarak yapılan hesaplamalar biçim olarak birbirine pek benzememektedir. Aynı zamanda RFRM modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar, RLDM modeli kullanılarak yapılan hesaplamaların çok üzerindedir. Deneysel değerler bu iki model ile yapılan hesaplamaların arasında kalmaktadır. 2-6 ve 8-20 MeV aralıklarında RLDM modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar deneyle biçim olarak benzerlik göstermektedir.

Şekil 6’da ^{231}Pa için yapılan hesaplamalar ve deneysel değerler karşılaştırılmıştır. ^{231}Pa için RFRM ve RLDM modelleri kullanılarak yapılan hesaplamalar biçim olarak birbirine benzemesine rağmen büyüklük olarak farklıdır. RLDM modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar



Şekil 6. ^{231}Pa çekirdeğinin hesaplanan (n,f) tesir kesitlerinin deneysel değerlerle karşılaştırılması.



Şekil 7. ^{233}Pa çekirdeğinin hesaplanan (n,f) tesir kesitlerinin deneysel değerlerle karşılaştırılması.

deneysel değerlerin altında yer alırken RFRM modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar yaklaşık 13 MeV'e kadar deneysel değerlerin üzerinde yer almakta, 13 MeV üzerinde ise deneysel değerlerin altına yer almaktadır. Özellikle RLDM modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar büyüklük olarak deneyin çok altında kalmasına rağmen biçim olarak deneyle uyum içindedir. Fakat biçim olarak büyük farklılıklar vardır. CEM95 hesaplamalarında seviye yoğunluğu parametresi için kullanılan sistematikler arasında hem biçim hem de büyüklük olarak büyük benzerlikler vardır. CEM95 hesaplamaları, RLDM ve RFRM modelleri ile yapılan hesaplamaların arasında yer almakta ve biçim olarak benzememektedir.

Şekil 7'de ^{233}Pa için yapılan hesaplamalar ve deneysel değerler karşılaştırılmıştır. ^{233}Pa için yapılan hesaplamalarda seviye yoğunluğu parametresi için kullandığımız sistematikler arasında hem biçim hem de büyüklük olarak büyük benzerlikler vardır. RFRM modeli ile yapılan hesaplamalar ve RLDM ile yapılan hesaplamaların çok üzerinde yer almaktadır. CEM95 ile yapılan hesaplamalar deneye biçim olarak benzememekte, artan enerjiyle hesaplanan ve deney aradaki fark artmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada gelme enerjisi 1-20 MeV aralığında olan nötronlarla oluşturulan $^{234-238}\text{U}$ ve $^{231,233}\text{Pa}$ çekirdeklerinin fisyon tesir kesiti hesaplamaları yapıldı. Hesaplamalar deneysel değerlerle karşılaştırıldı. Hesaplamalar ve deneysel değerler Şekil 1-7'de karşılaştırıldı. Hesaplamalarda CEM95 ve ALICE-ASH bilgisayar programları kullanıldı. Hesaplamalar ALICE-ASH programında RLDM ve RFRM modellerine göre incelendi. Aynı zamanda CEM95 hesaplamalarında çekirdeğin seviye yoğunlukları için farklı sistematikler kullanıldı. Tüm çekirdekler için RFRM modeli ile yapılan hesaplamalar RLDM modeli ile yapılan hesaplamaların üzerinde yer almakta deneysel değerler ise bu modellerin arasında yer almaktadır. Bu iki model ile yapılan hesaplamalar deneyle biçim olarak benzerdir. CEM95 de seviye yoğunluğu parametresi için kullanılan tüm sistematiklerde hesaplanan tesir kesitleri birbirine çok yakın değerler almaktadır. Bu sistematiklerle yapılan hesaplamalar deneyle biçim olarak benzememektedir. Genel olarak tüm çekirdekler için ALICE-ASH ile yapılan hesaplamaların özellikle biçim olarak deneysel değerlere çok yakın olduğu görülmektedir. CEM95 ile yapılan hesaplamalar ise ALICE-ASH hesaplamalarına göre deneyle daha az

uyumludur. Filyon olayının daha fazla anlaşılabilmesi için deneysel olarak daha fazla filyon tesir kesitinin ölçülmesi ve teorik hesaplamalar için yeni formüllerin geliştirilmesi gereklidir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar 05/2007-14 kod numarası ile bu çalışmaya maddi destek veren Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

1. Experimental Nuclear Reaction Data, <http://www.nndc.bnl.gov/exfor/exfor00.htm>, 2008.
2. Broeders C.H.M., Konobeyev A.Yu., Korovin A.Yu., Lunev V.P., Blann M., ALICE/ASH-Pre-compound and Evaporation Model Code System for Calculation of Excitation Functions, Energy and Angular Distributions of Emitted Particles in Nuclear Reactions at Intermediate Energies, Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 7183, 2006.
3. Mashnik S.G., Code CEM95, Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for nuclear research, Moskow, 1995.
4. Weisskopf V.F., Ewing D.H., On the yield of nuclear reactions with heavy elements, Phys. Rev., 57, 472, 1940.
5. Bohr N., Wheeler J.A., The mechanism of nuclear fission, Phys. Rev., 56, 426, 1939.
6. Iljinov A.S., Mebel M.V., Bianchi N., De Sanctis E., Guardalo C., Lucherini V., Muccifora V., Polli E., Reolon A.R., Rossi P., Phenomenological statistical analysis of level densities, decay widths and lifetimes of excited nuclei, Nucl. Phys., A543, 517, 1992.
7. Cameron A.G.W., Nuclear Radiation Widths, Can. J. Phys., 35, 1957.
8. Dostrovsky I., Fraenkel Z., Friedlander G., Monte Carlo Calculations of Nuclear Evaporation Processes. III. Application to Low-Energy Reactions, Phys. Rev., 116, 683, 1959.
9. Blann M., Biblinghoff J., Code ALICE/LIVERMORE 82, Livermore Lawrence Laboratory, UCID-19614, 1982.
10. Blann M., Code ALICE/85/300, Livermore Lawrence Laboratory, UCID-20169, 1984.
11. Blann M., International Center for Theoretical Physics Workshop on Applied Nuclear theory and Nuclear Model Calculations for Nuclear Technology Applications, Italy, 1988.
12. Blann M., ALICE 87 (Livermore) Precompound Nuclear Model Code, 1988.
13. Sierk A.J., Macroscopic model of rotating nuclei, Phys. Rev., 33, 2039, 1986.
14. Cohen S., Plasil F., Swiatecki W.J., Equilibrium Configurations of rotating Charged or Graviting Liquid Masses with Surface Tension, Ann. of Phys., 82, 557, 1974.
15. Mustafa M.G., Baisden, P.A., Chandra H., Equilibrium shapes and fission barriers of rotating nuclei with a macroscopic two center model, Phys. Rev. 25, 2524, 1982.