

Farklı Seviye Yoğunluk Modelleri Kullanılarak Reaksiyon Eşik Değerinden 20 MeV'e Kadar Paladyum İzotoplarının (n,2n), (n,p) ve (n,α) Tesir Kesitlerinin Hesaplanması

Halide ŞAHAN¹, Muhittin ŞAHAN^{2*}, Eyyüp TEL³

^{1,2,3}Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Osmaniye, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-6223-6807>

²<https://orcid.org/0000-0001-6716-8463>

³<https://orcid.org/0000-0002-5422-3301>

*Sorumlu yazar: muhittinsahan@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 18.02.2022

Kabul tarihi: 02.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

(n,2n), (n,p) ve (n,α) tesir kesitleri
Seviye yoğunluğu modelleri
Empire
Paladyum
EXFOR

Bu çalışmada, Paladyum izotoplarının (^{102,104,106,108,110}Pd) (n,2n), (n,p) ve (n,α) reaksiyon tesir kesitleri Empire-3.2.3 (Malta) istatistiksel model kodu kullanılarak reaksiyon eşik değerinden 20,0 MeV'e kadar hesaplanmıştır. Hesaplamalar, dört farklı nükleer seviye yoğunluğu modeli (Genelleştirilmiş Süper Akışkan modeli, Gelişmiş Genelleştirilmiş Süper Akışkan modeli, Gilbert-Cameron modeli ve Hartree-Fock-Bogoliubov mikroskobik modeli) kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, EXFOR kütüphanesinde bulunan deneysel verilerle ve ENDF kütüphanesinden alınan ENDF/B-VIII.0, TENDL-2019 ve JENDL-5 değerlendirilmiş verilerle karşılaştırılmıştır. 14,5 MeV civarında deneysel ve değerlendirilmiş verilerle karşılaştırıldığında, sonuçlar genel olarak tutarlı bir uyum göstermektedir.

The (n,2n), (n,p) and (n,α) Cross Section Calculations of the Palladium Isotopes Using Different Level Density Models From the Reaction Threshold to 20 MeV

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 18.02.2022

Accepted: 02.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

(n,2n), (n,p) ve (n,α) cross-sections
Level density models
Empire
Palladium
EXFOR

In this study, reaction cross sections of Palladium isotopes (^{102,104,106,108,110}Pd) (n, 2n), (n,p) and (n,α) were calculated from reaction threshold to 20,0 MeV by using Empire-3.2.3 (Malta) statistical model code. The calculations are performed by using four different nuclear level density models (Generalized Superfluid Model, Enhanced Generalized Superfluid Model, Gilbert-Cameron Model, and Hartree-Fock-Bogoliubov Microscopic Model). The obtained results from calculations are compared with the existing experimental data taken from EXFOR library and the evaluated nuclear data library of ENDF/B-VIII.0, TENDL-2019 and JENDL-5 data taken from ENDF. Comparing with experimental and evaluated data around 14,5 MeV, results show generally consistent agreement.

To Cite: Şahan H., Şahan M., Tel E. Farklı Seviye Yoğunluk Modelleri Kullanılarak Reaksiyon Eşik Değerinden 20 MeV'e Kadar Paladyum İzotoplarının (N,2n), (N,P) ve (N,α) Tesir Kesitlerinin Hesaplanması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1527-1549.

1. Giriş

Nötron aktivasyon tesir kesitleri, temel nükleer fizikte, atom çekirdeğinin yapısının ve bileşenlerinin bilinmesinde, radyasyon güvenliğinde, güvenli nükleer reaktörlerin analiz, tasarım ve bakımlarında, hızlandırıcı güdümlü sistemlerde (Accelerator Driven System, ADS), nükleer seviye yoğunluklarında, yıldızların nükleer yapılarının astrofiziksel olarak araştırılmasında, nükleer atık dönüşüm sistemi ve

pek çok mühendislik uygulamalarında, nükleer bilim ve teknoloji alanlarında oldukça önemli rol oynayan temel bilgiler sağlamaktadır. Nükleer reaktörlerin güvenli bir şekilde tasarlanması ve reaktör etrafındaki nötron akı yoğunluklarının belirlenmesi için nötron tesir kesitlerinin net olarak bilinmesi büyük önem taşımaktadır (Uwamino ve ark., 1992, 1994; Oh ve ark., 2008; Meaz ve Kim, 2011; Wang ve ark., 2016; Yiğit, 2018; Pasha ve ark., 2020).

Nötron tesir kesitlerinin hassas ölçülmesi, nükleer mühendisliğin çeşitli uygulamalarında gerekli olan sayısal nükleer verileri büyük ölçüde sağlamaktadır. Bugüne kadar, pek çok çekirdeğin reaksiyon tesir kesitleri hakkında önemli deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Fakat, çoğu zaman değişik çekirdekler için deneysel verilerin bulunmaması veya deneysel ölçüm zorluklarından dolayı, gerekli sayısal verilere ulaşılamamaktadır. Bu durumda, literatürde pek çok çekirdek için teorik model çalışmaları yapılmıştır. EMPIRE (Herman ve ark., 2007, 2013), TALYS (Koning ve ark., 2013), ALICE (Broeders ve ark., 2006) gibi bazı istatistiksel model kodları kullanılarak belirli enerji düzeylerinde farklı çekirdek izotoplarına ait nötron, proton vb. uyarımlı reaksiyonları gerçekleştirmek için direkt, denge ve denge öncesi nükleer reaksiyonların yapısını anlamak üzere pek çok tesir kesiti analiz hesaplamaları teorik olarak yapılmıştır (Kaplan ve ark., 2009; Kavun 2020; Özdoğan ve ark., 2019, 2020,2021; Şekerci ve ark., 2019, 2020; Tel ve ark., 2003, 2009, 2018; Yiğit ve Kara, 2017; Yiğit, 2018; Şahan ve ark., 2012, 2016, 2021).

Platin grubundan (Rutenyum, Ru-44; Rodyum, Rh-45 ve Paladyum, Pd-46) olan Paladyum elementi, doğada ender olarak bulunan ve önemli ticari öneme sahip değerli bir metaldir (Newman ve Smith, 1970; Takahashi ve ark., 2018). William Hyde Wollaston tarafından 1803 yılında keşfedilen Paladyum, parlak gümüş renkli, beyaz bir metal olup platinden yaklaşık olarak %12 daha sert ve dayanıklı bir metaldir. Dünya çapında üretilen paladyumun yaklaşık %60'ı esas olarak nikel, çinko ve bakır arıtımının bir yan ürünü olarak katalitik konvertörlerde kullanılmaktadır. Geri kalan kısmının çoğu elektronik bileşenlerde olmak üzere cerrahi aletlerde, diş hekimliğinde, hidrojen depolanmasında ve arıtılmasında, kimyasal uygulamalarda ve yeraltı suyu arıtılmasında ve çok az kısmı da mücevher yapımında kullanılmaktadır. Hidrojeni emdiğinden dolayı, paladyum soğuk füzyon deneylerinin önemli bileşenlerinden biridir. Paladyum katalizörü, uzun ömürlü radyoaktif atıkların faydalı bir elemente dönüştürülmesi, arabaların egzozlarındaki toksik maddesi gibi bazı zararlı gazların daha az zararlı bileşiklere dönüştürülmesinde kullanılır (Newman ve Smith, 1970; Iwamura ve ark., 2002; Ball, 2004). Paladyum, nükleer teknolojinin farklı alanlarında önemli rol oynamaktadır. Örneğin, proton ve nötron uyarımlı nükleer reaksiyonları, tıbbi radyoizotop üretiminde, aktivasyon analizi ile elementlerin safsızlıklarının belirlenmesinde, düşük aktivasyon malzemelerinin geliştirilmesinde ve yukarıda belirtildiği gibi diğer birçok uygulamada önemlidir (Ditrói ve ark., 2007). Ayrıca, Paladyum izotopları, yıldızlararası ortamda ve galaktik evrimin erken evrelerinde nükleosentezi incelemek için de önemlidir (Wang ve ark., 2016; Pasha ve ark., 2020).

Bu çalışmada, Paladyum izotoplarının $(n,2n)$, (n,p) ve (n,α) reaksiyon tesir kesitleri için Empire-3.2.3 (Malta) (Herman ve ark., 2007, 2013) kodunda bazı seviye yoğunluk modelleri kullanılarak teorik

hesaplamalar yapılmış ve literatürden alınan deneysel ve değerlendirilmiş verilerle karşılaştırılmaları yapılmıştır. Aşağıda, yapılan çalışma detaylı olarak açıklanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bir çekirdeğin yapısal özelliklerinin tanımlanabilmesi ve tesir kesiti hesaplamalarının yapılabilmesi için üzerinde çalışılan çekirdeklerin seviye yoğunluklarının bilinmesi oldukça önemlidir. Çekirdeklerin seviye yoğunluklarının hesaplanabilmesi için değişik seviye yoğunluk modelleri geliştirilmiştir. Böylece, belirli bir enerji aralığındaki enerji seviyelerinin sayısı olarak açıklanan seviye yoğunlukları bu modeller kullanılarak değişik çekirdeklerin seviye yoğunlukları hesaplanmış ve nükleer veri kütüphanelerine katkı sağlanmıştır (Bethe, 1937; Dilg ve ark., 1973; Ignatyuk ve ark., 1975, 1979; Demetriou ve Goriely, 2001; Herman ve ark., 2007, 2013).

Bu çalışmada, nükleer reaksiyon model kodu olan Empire-3.2.3 (Malta) (Herman ve ark., 2007, 2013) versiyonu ile Paladyum izotoplarının ($^{102,104,106,108,110}\text{Pd}$) (n,2n), (n,p) ve (n, α) reaksiyonları için bazı nükleer seviye yoğunluğu hesaplama modelleri kullanarak tesir kesiti fonksiyonlarının teorik hesaplamaları yapılmıştır.

İlk versiyonu 1980'de yayınlanan EMPIRE programı, birkaç yüz MeV'e kadar olan enerji aralığında fotonlar, protonlar, nötronlar, döteronlar ve tritonlar gibi yayımlanan parçacıkların olasılığını tahmin etmek için farklı yazarlar tarafından yazılmış çeşitli nükleer teorik modelleri içerisinde barındıran modüler bir nükleer reaksiyon kodudur (Herman ve ark., 2007, 2013). EMPIRE programı, FORTRAN'da yazılmış birçok koddan, RIPL'den (Reference Input Parameter Library¹), EXFOR'dan (Experimental Nuclear Reaction Data) ve GUI'dan (Graphical user interface) oluşan bir nükleer reaksiyon model kodu hesaplayan bir ara yüz programıdır (Herman ve ark., 2013).

EMPIRE programı, direkt reaksiyonlar için küresel optik modeli (Koning ve Delaroche 2003), bileşik çekirdek bozunumu hesaplamaları için istatistiksel Hauser-Feshbach modelini (Hauser and Feshbach 1952) ve denge öncesi yayınımlar için exciton modelini (PCROSS kodu) (Capote ve ark., 1991) kullanmaktadır.

Tesir kesitleri, seviye yoğunluğu parametrelerine çok duyarlı olduğundan, tesir kesiti hesaplamaları yapılırken seviye yoğunluğu modeli seçimlerinin yapılması gerekmektedir. EMPIRE'de üçü fenomenolojik ve biri de mikroskobik seviye yoğunluğu modeli olmak üzere dört farklı seviye yoğunluğu modeli kullanılmaktadır. Fenomenolojik seviye yoğunluğu modelleri sırasıyla, Gilbert-Cameron Modeli (GCM), Genelleştirilmiş Süper Akışkan Modeli (Generalized Superfluid Model: GSM) ve Gelişmiş Genelleştirilmiş Süper Akışkan Modelidir (Enhanced Generalized Superfluid Model: EGSM) (Ignatyuk ve ark., 1975, 1979). Mikroskobik seviye yoğunluğu modeli ise Hartree-Fock-Bogoliubov mikroskobik modeline (HFMB) dayanmaktadır. Bu dört seviye yoğunluğu modelinin tamamı RIPL-3 deneysel verilerine uyarlanmıştır (Herman ve ark., 2007, 2013).

¹ <https://www-nds.iaea.org/RIPL/>

En iyi bilinen, en basit ve en çok kullanılan seviye yoğunluğun analitik ifadesi Fermi-Gaz Modeli (FGM) (Bethe 1937; Dilg ve ark., 1973) içerisinde türetilmiştir (Herman ve ark., 2007, 2013). Çekirdeğin uyarılma seviyelerini oluşturan tek parçacık durumlarının eşit aralıklı olduğu varsayımına dayanan Fermi-Gaz seviye yoğunluğu modeli;

$$\rho^{FG}(E_x, J, \pi) = \frac{2J+1}{48\sqrt{2}\sigma^{3/2} a^{1/4} U^{5/4}} \exp\left(2\sqrt{aU} - \frac{(J+\frac{1}{2})^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

eşitliği ile verilir (Bethe 1937; Dilg ve ark., 1973; Herman ve ark., 2007, 2013). Eşitlik 1'den görüldüğü gibi, Fermi-Gaz modelindeki nükleer seviye yoğunlukları, etkin uyarılma enerjisine ($U=E_x - \Delta$) nükleer seviye yoğunluğu parametresine ($a=\alpha A$) ve spin kesme parametresine (σ) bağlıdır. Burada, J çekirdeğin spinini, Δ çiftlenim enerjisini, E_x gerçek uyarılma enerjisini, A kütle numarasını, α deneysel verilerden belirlenen sabit sayıyı temsil eder.

EMPIRE'de tesir kesiti hesaplamaları yapılırken yukarıda bahsedildiği gibi belirli parametrelere karşılık gelen ve LEVDEN=0, 1, 2, 3 olarak adlandırılan dört farklı seviye yoğunluğu modeli kullanılmaktadır. LEVDEN=0 modeli, EMPIRE'a özgü bir seviye yoğunluğu modelidir (EGSM). RIPL-3 deneysel verilerine uyarlanmıştır (ayrık seviyelere ve nötron rezonans aralıklarına, $\langle D_{obs} \rangle$, ayarlanmış). Model, kritik uyarılma enerjisinin (U_{kritik}) altında olduğu durumlarda Süper Akışkan Modelini (GSM), üstünde olduğu durumlarda Fermi Gaz Modelini (FGM) kullanmaktadır (Capote ve ark., 2009). LEVDEN=1 modeli, RIPL-2 deneysel verileri uyarlanmış (ayrık seviyeler ve nötron rezonans aralıkları, $\langle D_{obs} \rangle$) olan GSM modelidir (Ignatyuk ve ark., 1975, 1979; Herman ve ark., 2007, 2013; Koning ve ark., 2008). Model, kritik uyarılma enerjisinin (U_{kritik}) altındaysa Sabit Sıcaklık Modelini (Constant Temperature Model: CTM) (Gilbert ve Cameron, 1965; Ignatyuk ve ark., 1979), üstünde ise bileşik çekirdeğin uyarılma enerjisine bağlı olarak Fermi Gaz Modelini kullanmaktadır. LEVDEN=2, RIPL-2 deneysel verileri uyarlı ve yaklaşık 20,0 MeV'e kadar uyarılan bileşik çekirdekler için önerilen ve ayrık seviyelere ayarlanmış olan GCM seviye yoğunluğu modelidir (Gilbert ve Cameron, 1965; Ignatyuk ve ark., 1979). Gilbert-Cameron modeli, düşük uyarılma enerjilerinde, nükleer seviye yoğunluklarının Sabit Sıcaklık Modelini, yüksek uyarılma enerjilerinde ise düzenli Fermi Gaz seviye yoğunluğu modelini kullanır (Gilbert ve Cameron, 1965; Koning ve ark., 2013). LEVDEN=3, RIPL-3'e uyarlı, sıcaklığa bağlı mikroskobik HFBM seviye yoğunluğu modelini kullanır (Capote ve ark., 2009).

Bu çalışmada, EMPIRE kodu kullanılarak yapılan hesaplamalarda yukarıda belirtilen dört farklı seviye yoğunluğu modelinin tamamı (LEVDEN=0,1,2,3) kullanılmıştır. Bu seviye yoğunluğu girdi değerleri sırasıyla LEVDEN-1, LEVDEN-2, LEVDEN-3 ve LEVDEN-4 olarak isimlendirilmiştir. Her modelde, HMS=0 (Monte Carlo Hybrid Preequilibrium Model), PCROSS=1,5 (exciton model) ve kuantum istatistiksel MSD (Multi-Step-Direct model) (ORION + TRISTAN) ve MSC (Multi-Step-

Compound model) (NVWY teorisi cinsinden) reaksiyonlarının değerleri sıfır olarak (MSC+MSD=0) seçilmiştir (Herman ve ark., 2007, 2013). Empire-3.2.3 (Malta) kodu ile ilgili temel bilgilere Herman ve ark.(2013) çalışmasından ulaşılabilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, $^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$, $^{104}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{103}$, $^{106}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{105}$, $^{108}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{107}$, $^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$, $^{102}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{102}$, $^{104}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{104}$, $^{106}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{106}$, $^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$, $^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$, $^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$, $^{104}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{101}$, $^{106}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{103}$, $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ ve $^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$ reaksiyonlarının nötron yakalama reaksiyon tesir kesitleri 20,0 MeV'e kadar hesaplanmıştır. Nükleer reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları Empire-3.2.3 (Malta) istatistiksel model kodu kullanılarak Gelişmiş Genelleştirilmiş Süper Akışkan (LEV DEN-0) (Capote ve ark., 2009), Genelleştirilmiş Süper Akışkan (LEV DEN-1) (Ignatyuk ve ark., 1975, 1979; Herman ve ark., 2007, 2013; Koning ve ark., 2008), Gilbert-Cameron (LEV DEN-2) (Gilbert ve Cameron, 1965; Ignatyuk ve ark., 1979) ve Hartree-Fock-Bogoliubov mikroskobik (HFBM) (LEV DEN-3) Seviye yoğunluğu modelleri kullanılmıştır.

Hesaplamalardan elde edilen Paladyum izotoplarının ($^{102,104,106,108,110}\text{Pd}$) (n,2n), (n,p) ve (n, α) reaksiyon tesir kesiti sonuçları, EXFOR² kütüphanesinden (Experimental Nuclear Reaction Data: Uluslararası Deneysel Nükleer Veri Kütüphanesi, versiyon 31-01-2022) alınan deneysel verilerle ve ENDF kütüphanesinden (Evaluated Nuclear Data File: Değerlendirilmiş Nükleer Veri Dosyası, versiyon 10-01-2022) alınan ENDF/B-VIII.0 (USA, 2018), TENDL-2019 (TALYS, 2019) ve JENDL-5 (Japan, 2021) değerlendirilmiş verilerle karşılaştırılmıştır. Nötron gelme enerjisine göre değişim sonuçları Şekil 1-5 arasında verilmiştir. Ayrıca, 14,5 MeV civarındaki tüm tesir kesiti değerleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ve literatür ile karşılaştırılması aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

3.1. ^{102}Pd İzotopu için (n,2n), (n,p) ve (n, α) Reaksiyonları

$^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$, $^{102}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{102}$ ve $^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$ reaksiyonlarının 20,0 MeV'e kadar dört farklı seviye yoğunluğu modeli (LEV DEN-0,1,2,3) kullanılarak teorik olarak hesaplanan tesir kesitlerinin nötron enerjisine göre değişimini veren grafikleri Şekil 1'de çizilmiştir. Şekil 1'de deneysel verilerle ve ENDF'den elde edilen ENDFB-VIII.0, TENDL-2019 ve JENDL-5 değerlendirilmiş verilerin grafikleri karşılaştırılma amacıyla verilmiştir. Hesaplanan uyarma fonksiyon verileri ile deneysel ve değerlendirilmiş değerlerin 14,5 MeV civarındaki değerleri Tablo 1'de ikinci sütunda listelenmiştir.

Şekil 1a'da verilen $^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$ reaksiyon tesir kesitleri incelendiğinde, 13,0-18,0 MeV aralığında, LEVDEN-1 ve LEVDEN-3 seviye yoğunluklarından elde edilen tesir kesiti eğrileri birbirleriyle ve deneysel değerlerle uyumlu olduğu gözlenirken, LEVDEN-2 ile elde edilen eğri daha yüksek ve LEVDEN-0 ile elde edilen tesir kesiti eğrisi daha düşük değerler aldığını göstermektedir. 15,0 MeV'e

² <https://www-nds.iaea.org/exfor/>

kadar ENDFB-VIII.0, TENDL-2019 ve JENDL-5 grafikleri hesaplanan tesir kesiti eğrileriyle uyumlu iken, yaklaşık 15,0 MeV'den sonra hesaplanan tesir kesiti eğrilerine göre değerlendirilmiş değerlerin daha düşük olduğu görülmektedir. 17,0 MeV'den sonra hesaplanan LEVDEN-0,1,3 tesir kesiti değerlerinin yaklaşık aynı değerde olduğu görülmüştür. Tablo 1'in ikinci sütununda verilen (n,2n) bölümü incelendiğinde, ortalama 14,5 MeV'de, LEVDEN-0,1,2,3 ile elde edilen tesir kesiti değerleri sırasıyla 911,92 mb, 983,82 mb, 1206,35 mb, 1007,61 mb olduğu, değerlendirilmiş TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 değerleri ise sırasıyla 981,69 mb, 916,97 mb ve 1040,72 mb olduğu görülmektedir. EXFOR'dan elde edilen deneysel tesir kesiti değerlerinin ise 1030 ± 105 mb, (Bormann ve ark., 1970) $1028 \pm 4,98$ mb (Filatenkov, 2016), 1272 ± 90 mb (Augustyniak ve ark., 1977), 1150 ± 100 mb (Kong ve ark., 1999) ve 1094 ± 84 mb (Konno ve ark., 1968) olarak ölçüldüğü görülmektedir.

Şekil 1b'de verilen $^{102}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{102}$ reaksiyon tesir kesitleri incelendiğinde, yaklaşık 15,0 MeV'e kadar LEVDEN-1 seviye yoğunluğu modelinden elde edilen eğrinin en düşük değer gösterdiği ve 15,0 MeV'de LEVDEN-2 ile yaklaşık aynı değere ($\sim 50,0$ mb) ulaştığı görülmektedir. 5,0 MeV ile 20,0 MeV gelme enerji aralığında LEVDEN-3' den elde edilen tesir kesiti eğrisi diğer hesaplanan değerlere göre daha yüksek değerler gösterirken, ENDF'den elde edilen JENDL-5 değerleri ile hemen hemen benzer değişimler gösterdiği görülmektedir. ENDFB-VIII.0 eğrisinin diğer tüm tesir kesiti eğrilerine göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. 14,0 MeV'den sonra, LEVDEN-0 eğrisinin TENDL-2019 eğrisi ile yaklaşık uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 1 ve Şekil 1b'den görüldüğü gibi, 14,5 MeV gelme enerji aralığında, Weigel ve ark. (1975) ($62,8 \pm 6$ mb) ve Kong ve ark. (1999) ($59,5 \pm 4$ mb) olmak üzere sadece iki tane deneysel tesir kesiti değeri bulunmuştur. 14,5 MeV enerji aralığında hesaplanan tesir kesiti değerleri sırasıyla, LEVDEN-0 ile 111,75 mb, LEVDEN-1 ile 51,17 mb, LEVDEN-2 ile 55,12 mb ve LEVDEN-3 ile 161,8 mb olarak elde edilmiştir. TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 değerleri ise sırasıyla 111,44 mb, 293,79 mb ve 175,12 mb görülmektedir.

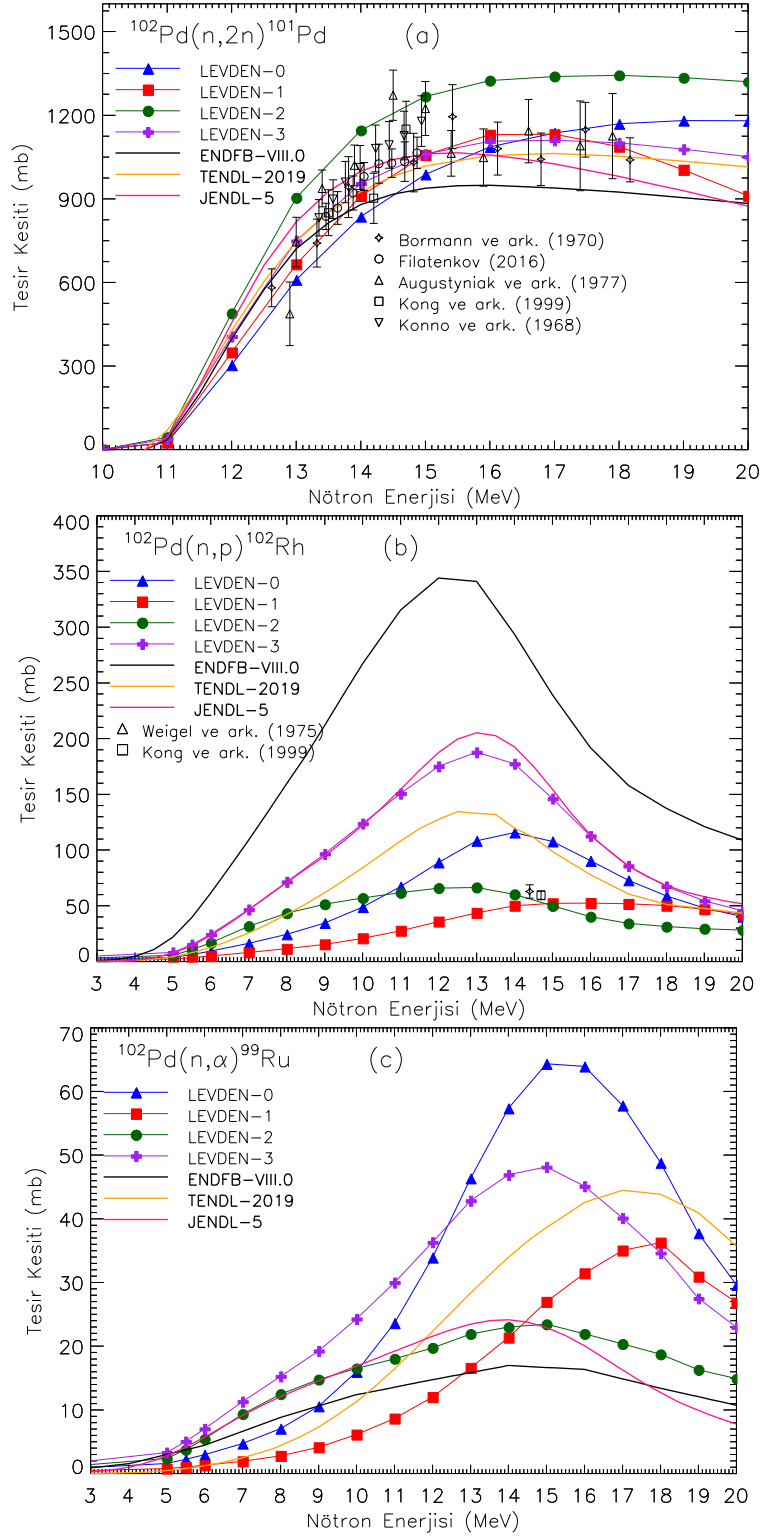
$^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$ reaksiyon tesir kesiti grafikleri Şekil 1c'de verilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 1c'den görüldüğü gibi, $^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$ reaksiyonu için literatürde deneysel veriye rastlanmamıştır. Bu nedenle, hesaplanan tesir kesiti eğrileri sadece ENDF'den alınan değerlendirilmiş verilerle kıyaslanmıştır. Şekil 1c'den görüldüğü gibi, nötron girişli dört modelden de hesaplanan tesir kesitlerinin uyarılma durumlarının 15,0 MeV ve yukarı enerjili durumlarda pik yaptıkları görülmektedir. LEVDEN-0 (64,34 mb), LEVDEN-2 (23,45 mb) ve LEVDEN-3 (48,14 mb) seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan tesir kesiti değişimlerinin 15,0 MeV'de en yüksek değere ulaştığı gözlenirken, LEVDEN-1 seviye yoğunluğu modelinden elde edilen en yüksek tesir kesiti değerine ise (36,28 mb) yaklaşık 18,0 MeV'de ulaştığı gösterilmektedir. LEVDEN-2 ile JENDL-5 değerlerinin 15,0 MeV'e kadar benzer değişimler gösterdikleri görülmektedir. Ayrıca, TENDL-2019'den elde edilen tesir kesiti değerinin 17,0 MeV'de en yüksek ($44,5$ mb) değere ulaştığı görülmektedir.

14,5 MeV enerji civarında, hesaplanan ve değerlendirilmiş tesir kesiti değerleri; LEVDEN-0 ile 57,33 mb, LEVDEN-1 ile 21,35 mb, LEVDEN-2 ile 23,0 mb ve LEVDEN-3 ile 46,91 mb olarak ve

TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 değerleri ise sırasıyla 36,48 mb, 16,97 mb ve 23,78 mb olarak elde edilmiştir.

Tablo 1. 14,5 MeV civarında Paladyum izotopları için (n,2n), (n,p) ve (n,α) nükleer reaksiyon tesir kesitleri (mb birimlerinde)

	$^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$	$^{104}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{103}$	$^{106}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{105}$	$^{108}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{107}$	$^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$
LEV DEN 0	911,92	1287,65	1449,35	1558,05	1644,9
LEV DEN 1	983,82	1401,85	1518,55	1598,55	1663,05
LEV DEN 2	1206,35	1445,35	1524,2	1606,45	1671,25
LEV DEN 3	1007,61	1363,85	1462,85	1542,9	1629,85
TENDL2019	981,69	1154,42	1337,92	1327,16	1606,11
ENDFB-VIII.0	916,97	1349,77	1518,16	1585,42	1577,95
JENDL5	1040,72	1390,59	1474,23	1086,74	1086,74
Bormann ve ark. (1970)	1030±105	—	—	—	1539±107
Filatenkov (2016)	1028±4,98	—	—	—	1392±199
Augustyniak ve ark. (1977)	1272±90	—	—	—	4620±43
Kong ve ark. (1999)	1150±100	—	—	—	1620±105
Konno ve ark. (1968)	1094±84	—	—	—	—
	$^{102}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{102}$	$^{104}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{104}$	$^{106}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{106}$	$^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$	$^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$
LEV DEN 0	111,75	32,79	9,75	4,59	1,93
LEV DEN 1	51,17	13,7	5,37	3,19	1,57
LEV DEN 2	55,12	13,92	7,16	3,57	1,7
LEV DEN 3	161,8	23,64	19,72	4,25	1,71
TENDL2019	111,44	41,76	10,57	12,25	1,4
ENDFB-VIII.0	293,79	31,76	25,3	12,81	5,13
JENDL5	175,12	34,45	12,95	12,33	3,77
Weigel ve ark. (1975)	62,8±6	—	—	—	—
Kong ve ark. (1999)	59,5±4	—	12,2±2,5	—	—
Levkovskii ve Artemev (1971)	—	27±8	14±4	—	—
White ve Gray (1972)	—	11,7±3,0	—	7±1	—
Kasugai ve ark. (1998)	—	19,6±5,6	—	4±0,7	—
Konno ve ark. (1993)	—	—	8,94±0,83	—	—
Filatenkov (2016)	—	—	8,85±6,07	—	—
Pasha ve ark. (2020)	—	—	7,9±8,42	—	—
Prasad ve Sarkar (1971)	—	—	—	9±1,2	—
Lu ve ark. (1970)	—	—	5,6±0,7	5,3± 0,5	—
Lan ve ark. (2008)	—	—	—	13,5±1,3	—
	$^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$	$^{104}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{101}$	$^{106}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{103}$	$^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$	$^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$
LEV DEN 0	60,84	18,06	5,96	2,67	1,26
LEV DEN 1	24,16	7,28	2,85	1,81	1,1
LEV DEN 2	23,22	8,34	7,16	3,57	1,15
LEV DEN 3	47,52	24,36	4,94	3,16	1,37
TENDL2019	36,48	16,72	5,57	2,47	1,78
ENDFB-VIII.0	16,97	6,75	1,9	0,73	0,22
JENDL5	23,78	7,05	5,33	3,29	1,69
Weigel ve ark. (1975)	—	—	5,6± 0,5	—	—
Filatenkov (2016)	—	—	5,5± 0,2	3,03±0,22	—
Kong ve ark. (1999)	—	—	5,3± 0,5	2,5± 0,2	—
Konno ve ark. (1993)	—	—	—	2,7± 0,4	—
Levkovskii ve Artemev (1971)	—	—	—	2,3± 0,5	—
Lu ve ark. (1970)	—	—	5,6± 0,7	2,7± 0,3	—
Paul ve ark. (1953)	—	—	—	—	1,4±0,6
Lan ve ark. (2008)	—	—	—	—	2,02±0,96

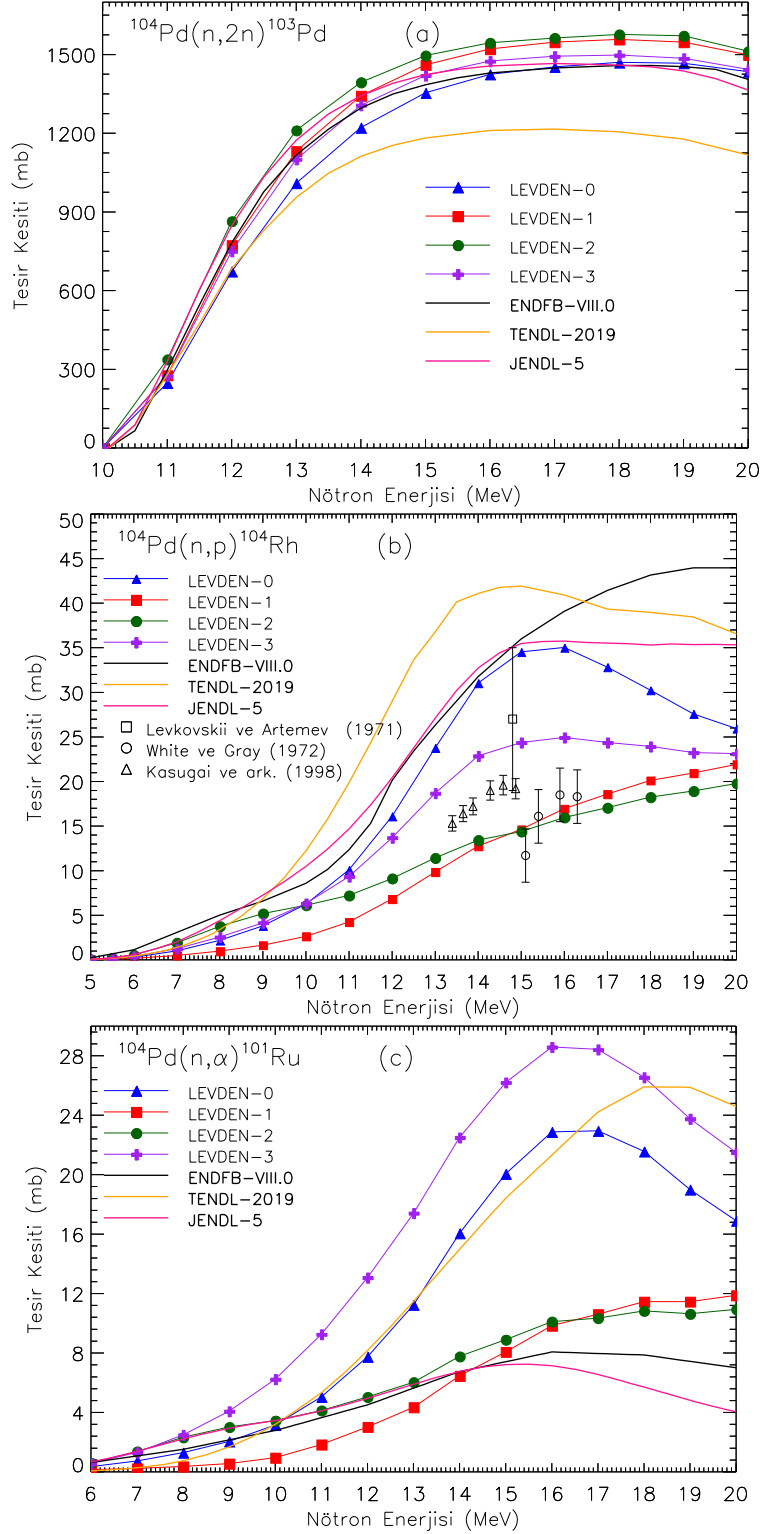


Şekil 1. a) $^{102}\text{Pd}(n,2n)^{101}\text{Pd}$ b) $^{102}\text{Pd}(n,p)^{102}\text{Rh}$ c) $^{102}\text{Pd}(n,\alpha)^{99}\text{Ru}$ reaksiyonlarının hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden elde edilen deneysel ve değerlendirilmiş değerlerle karşılaştırılması.

3.2. ¹⁰⁴Pd İzotopu için (n,2n), (n,p) ve (n,α) Reaksiyonları

Şekil 2 ve Tablo 1’de, ¹⁰⁴Pd(n,2n)Pd¹⁰³, ¹⁰⁴Pd(n,p)Rh¹⁰⁴ ve ¹⁰⁴Pd(n,α)Ru¹⁰¹ reaksiyonları için dört farklı seviye yoğunluğu modeli (LEV DEN-0,1,2,3) kullanılarak hesaplanan tesir kesiti sonuçları verilmiştir. Şekil 2a’dan görüleceği gibi, literatürde deneysel veri bulunamadığından, hesaplanan tesir kesiti sonuçları sadece ENDF’den elde edilen TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 değerleri karşılaştırılmıştır. Tüm seviye yoğunluğu modellerinden (LEV DEN-0,1,2,3) hesaplanan ve ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 ile değerlendirilmiş sonuçlar birbirleriyle iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir. TENDL-2019 eğrisi ise bunlara göre daha düşük değerlerde olduğunu göstermiştir. 12,0-20,0 MeV arasında, LEVDEN-0 ile hesaplanan tesir kesiti en düşük (1221,4 mb), Gilbert-Cameron (LEV DEN-2) ile hesaplanan tesir kesiti ise en yüksek (1394,4 mb) olarak hesaplanmıştır. Şekil 2b’de verilen ¹⁰⁴Pd(n,p)Rh¹⁰⁴ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesiti eğrilerinden görüleceği gibi, dört seviye yoğunluğu modelinden hesaplanan tesir kesiti eğrileri, ENDF’den alınan eğrilere göre daha düşük oldukları görülmektedir. Fakat, LEVDEN-0 ile hesaplanan tesir kesiti değeri (15,0 MeV’de 34,5 mb) diğer hesaplanan üç eğriye (LEV DEN-0,2,3) göre daha yüksek olduğu ve 15,0 MeV’e kadar ENDFB-VIII.0 (15,0 MeV’de 35,9 mb) ve JENDL-5 (15,0 MeV’de 35,4 mb) eğrilerine diğerlerinden daha yakın olduğu görülmektedir. TENDL-2019 eğrisi 17,0 MeV’e kadar diğer tüm eğrilere göre daha yüksek değişim gösterirken 14,5 MeV’de 41,76 mb’lık bir tesir kesitine sahiptir. Genel olarak, benzer değişim gösteren LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrileri 15,0 MeV’de yaklaşık aynı değere (~14,5 mb) sahip oldukları ve 15,0 – 16,5 MeV enerji aralığında, White ve Gray (1972) ölçülen tesir kesitleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. 13,4 - 14,87 MeV aralığında Kasugai ve ark. (1998) tarafından ölçülen tesir kesiti sonuçları LEVDEN-1, ve LEVDEN-2’den daha yüksek iken, LEVDEN-3’e göre daha düşüktür. Levkovskii ve Artemev (1971) tarafından ölçülen tesir kesitinin LEVDEN-0 ile LEVDEN-3 arasında olduğu fakat verilen hata aralığı göz önüne alındığında bu iki modele yakın değerde olduğu görülmektedir.

¹⁰⁴Pd(n,α)Ru¹⁰¹ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin sonuçları Şekil 2c’de verilmiştir. Literatürde deneysel veri bulunamadığından, hesaplanan tesir kesitleri sadece ENDF kitaplığından elde edilen değerlendirilmiş teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Buna göre, benzer değişimler gösteren LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 sonuçları diğer LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 model sonuçlarından daha düşük tesir kesiti eğrilerine sahiptirler. 8,0 – 20,0 MeV aralığında, LEVDEN-3 modelinden elde edilen tesir kesiti eğrisi en yüksek (16,0 MeV’de 28,6 mb) değişim gösterirken LEVDEN-1, ve LEVDEN-2 modellerinden elde edilen eğriler en düşük değerlere sahiptirler. 13,0 MeV’e kadar LEVDEN-2 modeli ile değerlendirilmiş JENDL-5 ve ENDFB-VIII.0 eğrilerinin uyumlu oldukları görülmektedir. 15,5 MeV’e kadar LEVDEN-0 tesir kesiti (21,5 mb) eğrisi TENDL-2019 eğrisi (20,3 mb) ile benzer uyumu göstermiştir.



Şekil 2. a) $^{104}\text{Pd}(n,2n)^{103}\text{Pd}$ b) $^{104}\text{Pd}(n,p)^{104}\text{Rh}$ c) $^{104}\text{Pd}(n,\alpha)^{101}\text{Ru}$ reaksiyonlarının hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden elde edilen deneysel ve değerlendirilmiş değerlerle karşılaştırılması.

3.3. ^{106}Pd İzotopu için $(n,2n)$, (n,p) ve (n,α) Reaksiyonları

$^{106}\text{Pd}(n,2n)^{105}\text{Pd}$ reaksiyonu için seviye yoğunluğu modelleriyle hesaplanan ve ENDF kütüphanesinden elde edilen değerlendirilmiş tesir kesiti değerleri Şekil 3a'da verilmiştir. $^{106}\text{Pd}(n,2n)^{105}\text{Pd}$ reaksiyon tesir kesiti için literatürde herhangi bir deneysel veriye rastlanmadığından, hesaplanan tesir kesiti değerleri sadece ENDF kütüphanesinden alınan değerlendirilmiş veriler ile kıyaslanmıştır. Buna göre,

10,0 MeV ile 20,0 MeV arasında modellerden hesaplanan tesir kesiti değerleri ile ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 verileri genel olarak uyumlu olduğu gözlenirken, 13,0 MeV'den sonra, TENDL-2019 eğrisinin daha düşük olduğu görülmektedir. Özellikle LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülürken, LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrilerinin de birbiriyle uyumlu oldukları görülmektedir. Şekil 3a'dan ve Tablo 1'den görüldüğü gibi, 14,5 MeV civarında LEVDEN-0,1,2,3 seviye yoğunluğu modellerinden hesaplan tesir kesiti değerleri sırasıyla 1449,35 mb, 1518,55 mb, 1524,2 mb, 1462,85 mb olarak hesaplanırken, TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 değerleri ise sırasıyla 1337,92 mb, 1518,16 mb ve 1474,23 mb olarak verilmiştir.

$^{106}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{106}$ reaksiyonu için hesaplanan, deneysel ve değerlendirilmiş tesir kesiti değerleri Şekil 3b ve Tablo 1'de verilmiştir. LEVDEN-0,1,2 seviye yoğunluğu model hesaplama sonuçları 10,0-20,0 MeV aralığında yaklaşık olarak birbiriyle uyumlu iken, LEVDEN-3 model hesaplamasının bunlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. 13,0 MeV'den 15,0 MeV kadar LEVDEN-0 modelinden elde edilen değerlerin, yaklaşık olarak bütün ölçülen deneysel sonuçlarla ve TENDL-2019 ile uyum içinde oldukları görülmektedir. ENDFB-VIII.0 eğrisinin diğer tüm tesir kesiti eğrilerine göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 1'den görüleceği gibi 14,5 MeV civarında LEVDEN-0 ile 9,75 mb, Kong ve ark. (1999) tarafından $12,2 \pm 2,5$ mb, Levkovskii ve Artemev (1971) tarafından 14 ± 4 mb, Konno ve ark. (1993) tarafından $8,94 \pm 0,83$ mb, Filatenkov (2016) tarafından $8,85 \pm 6,07$ mb, Pasha ve ark. (2020) tarafından $7,9 \pm 8,42$ mb ve Lu ve ark. (1970) tarafından $5,6 \pm 0,7$ mb olarak ölçülmüştür. Bunlara ek olarak, deneysel değerlerin hata sınırları göz önüne alındığında, aynı enerji aralığında LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 ile hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel ve JENDL-5 değerleri ile de yaklaşık olarak uyum içinde olduğu görülmektedir. 14,5 MeV'de LEVDEN-1, 2, 3 modellerinden hesaplanan tesir kesitlerinin sırasıyla 5,37 mb, 7,16 mb ve 19,72 mb olduğu görülmektedir.

$^{106}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{103}$ reaksiyonunun 20,0 MeV'e kadar hesaplanan ve literatürden alınan tesir kesiti değerlerinin değişim grafikleri Şekil 3c'de ve 14,5 MeV'deki değerleri Tablo 1'in dördüncü sütununda verilmiştir. 13,5-15,0 MeV aralığında LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 ile hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel ve TENDL-2019 ve JENDL-5 sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülürken, 20,0 MeV'e kadar LEVDEN-1 sonuçlarının tüm değerlerden daha düşük ve LEVDEN-2 sonuçlarının ise daha yüksek olduğu görülmektedir.

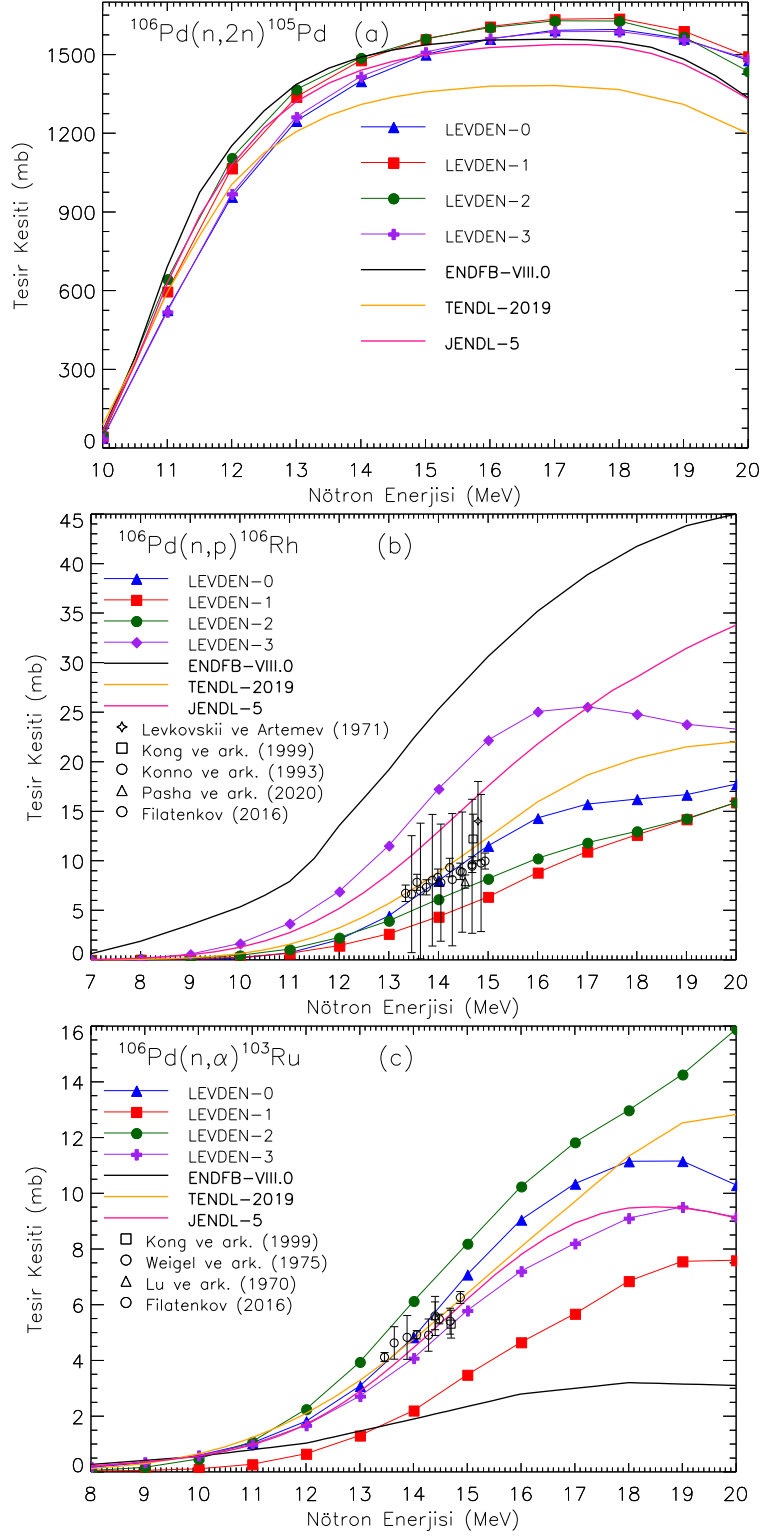
13,5 MeV'den sonra ENDFB-VIII.0 eğrisinin diğer tüm eğrilerden daha düşük olduğu görülmektedir. LEVDEN-3 eğrisinin değerlendirilmiş JENDL-5 eğrisi ile uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 1'den 14,5 MeV'de modellerden hesaplanmış olduğumuz reaksiyon tesir kesiti değerleri; LEVDEN-0 ile 5,96 mb, LEVDEN-1 ile 2,85 mb, LEVDEN-2 ile 7,16 mb ve LEVDEN-3 ile 4,94 mb olduğu ve ENDF kütüphanesinden alınan değerlerin ise TENDL-2019 ile 5,57 mb, ENDFB-VIII.0 ile 1,9 mb ve JENDL-5 ile 5,33 mb olduğu görülmektedir. 14,5 MeV civarında EXFOR veri kütüphanesinden alınan deneysel değerler ise sırasıyla $5,6 \pm 0,5$ mb (Weigel ve ark., 1975), $5,5 \pm 0,2$ mb (Filatenkov, 2016), $5,3 \pm 0,5$ mb (Kong ve ark., 1999) ve $5,6 \pm 0,7$ mb (Lu ve ark., 1970) olarak ölçülmüştür.

3.4. ^{108}Pd İzotopu için $(n,2n)$, (n,p) ve (n,α) Reaksiyonları

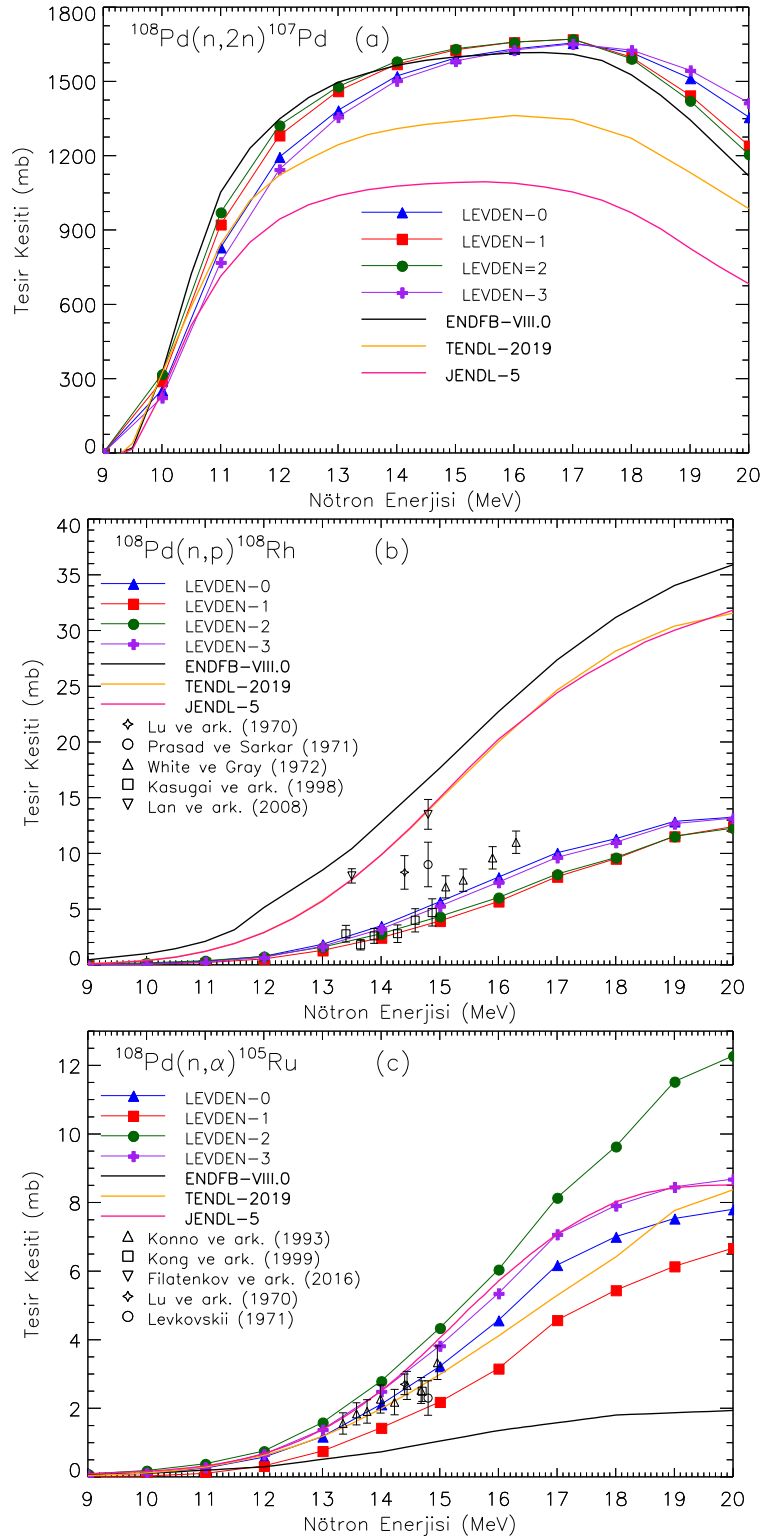
Şekil 4' te dört farklı seviye yoğunluğu modeli kullanılarak teorik olarak hesaplanan $^{108}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{107}$, $^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$ ve $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ reaksiyon tesir kesitlerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 4a incelendiğinde, literatürde $^{108}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{107}$ reaksiyonuyla ilgili herhangi bir deneysel veriye rastlanmadığından, hesaplanan değerler sadece ENDF kütüphanesinden alınan değerler ile kıyaslanmıştır. Buna göre, 9,0-20,0 MeV aralığında modellerden hesaplanan tüm tesir kesiti eğrilerin ENDFB-VIII.0 ile uyum içinde olduğu, TENDL-2019 ve JENDL-5 eğrilerine göre daha yüksek değişim gösterdikleri görülmektedir. Genel olarak, LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrilerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülürken, LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin de birbiriyle uyumlu oldukları görülmektedir. 14,5 MeV'de hesaplanan tesir kesiti değerleri sırasıyla 1558,05 mb (LEVDEN-0), 1598,55 mb (LEVDEN-1), 1606,45 mb (LEVDEN-2) ve 1542,9 mb (LEVDEN-3) iken değerlendirilmiş TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 tesir kesiti değerleri ise sırasıyla 1327,16 mb, 1585,42 mb ve 1086,74 mb olduğu görülmektedir.

Şekil 4b'de verilen $^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$ tesir kesiti eğrileri incelendiğinde, 20,0 MeV'e kadar tüm modellerden hesaplanan tesir kesiti eğrileri benzer değişim gösterirken, TENDL2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 tesir kesiti değerlerine göre ise daha düşük değişim göstermektedir. LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrilerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülürken, LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin de birbiriyle uyumlu oldukları görülmektedir. 13,4-14,87 MeV aralığında LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrilerinin Kasugai ve ark. (1998) tarafından ölçülen deneysel verilerle yaklaşık olarak uyumlu olduğu görülürken, 15,1- 16,3 MeV aralığında LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin White ve Gray (1998) tarafından ölçülen deneysel verilerden biraz düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, Lan ve ark. (2008) tarafından ölçülen tesir kesiti değerlerinin TENDL-2019 ve JENDL-5 ile uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 1'den, 14,5 MeV'de LEVDEN-0 ile 4,59 mb, LEVDEN-1 ile 3,19 mb, LEVDEN-2 ile 3,57 mb, LEVDEN-3 ile 4,25 mb, TENDL-2019 ile 12,25 mb, ENDFB-VIII.0 ile 12,81 mb, JENDL-5 ile 12,33 mb olduğu görülmektedir. 14,5 MeV civarında EXFOR'dan alınan deneysel değerler ise sırasıyla, White ve Gray (1972) tarafından 7 ± 1 mb, Kasugai ve ark. (1998) tarafından $4,0\pm 0,7$ mb, Prasad ve Sarkar (1971) tarafından $9\pm 1,2$ mb, Lu ve ark. (1970) tarafından $5,3\pm 0,5$ mb ve Lan ve ark. (2008) tarafından $13,5\pm 1,3$ olarak ölçülmüştür.

Şekil 4c'deki $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ reaksiyon tesir kesitlerinin hesaplanan teorik değişim grafikleri incelendiğinde, 13,0-15,0 MeV aralığında deneysel tesir kesiti değerlerinin hata çubukları da göz önüne alınırsa LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin deneysel değerlere uyumlu olduğu, LEVDEN-2 eğrisinin daha yukarıda ve LEVDEN-1 eğrisinin ise daha aşağıda olduğu görülmektedir. Ayrıca, 10,0-20,0 MeV enerji aralığında, LEVDEN-3 eğrisinin JENDL-5 eğrisi ile uyum içinde olduğu görülürken, LEVDEN-0 eğrisinin ise yaklaşık olarak TENDL-2019 ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3. a) $^{106}\text{Pd}(n,2n)^{105}\text{Pd}$ b) $^{106}\text{Pd}(n,p)^{106}\text{Rh}$ c) $^{106}\text{Pd}(n,\alpha)^{103}\text{Ru}$ reaksiyonlarının hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden elde edilen deneysel ve değerlendirilmiş değerlerle karşılaştırılması.



Şekil 4.a) $^{108}\text{Pd}(n,2n)^{107}\text{Pd}$ b) $^{108}\text{Pd}(n,p)^{108}\text{Rh}$ c) $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)^{105}\text{Ru}$ reaksiyonlarının hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden elde edilen deneysel ve değerlendirilmiş değerlerle karşılaştırılması.

ENDFB-VIII.0 eğrisinin 12,0 MeV'den sonra tüm tesir kesiti eğrilerine göre daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. 14,5 MeV'de, LEVDEN-0, 1, 2 ve 3 seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan tesir kesitleri sırasıyla, 2,67 mb, 1,81 mb, 3,57 mb ve 3,16 mb olarak hesaplanmıştır. TENDL-2019 ENDFB-VIII.0, ve JENDL-5 kütüphanesi değerlendirilmiş verileri ise sırasıyla 2,47 mb, 0,73 mb ve 3,29 mb olarak verilmiştir. EXFOR'dan alınan deneysel verilerin ise 14,5 MeV civarında $3,03 \pm 0,22$

mb (Filatenkov 2016), $2,5 \pm 0,2$ mb (Kong ve ark. 1999), $2,7 \pm 0,4$ (Konno ve ark., 1993), $2,3 \pm 0,5$ mb (Levkovskii ve Artemev 1971) ve $2,7 \pm 0,3$ mb (Lu ve ark., 1970) olduğu görülmektedir. 14,5 MeV civarında, modellerden hesaplanan teorik sonuçlar deneysel verilerle kıyaslandığında bütün sonuçların yaklaşık uyumlu olduğu görülmektedir.

3.5. ^{110}Pd İzotopu için $(n,2n)$, (n,p) ve (n,α) Reaksiyonları

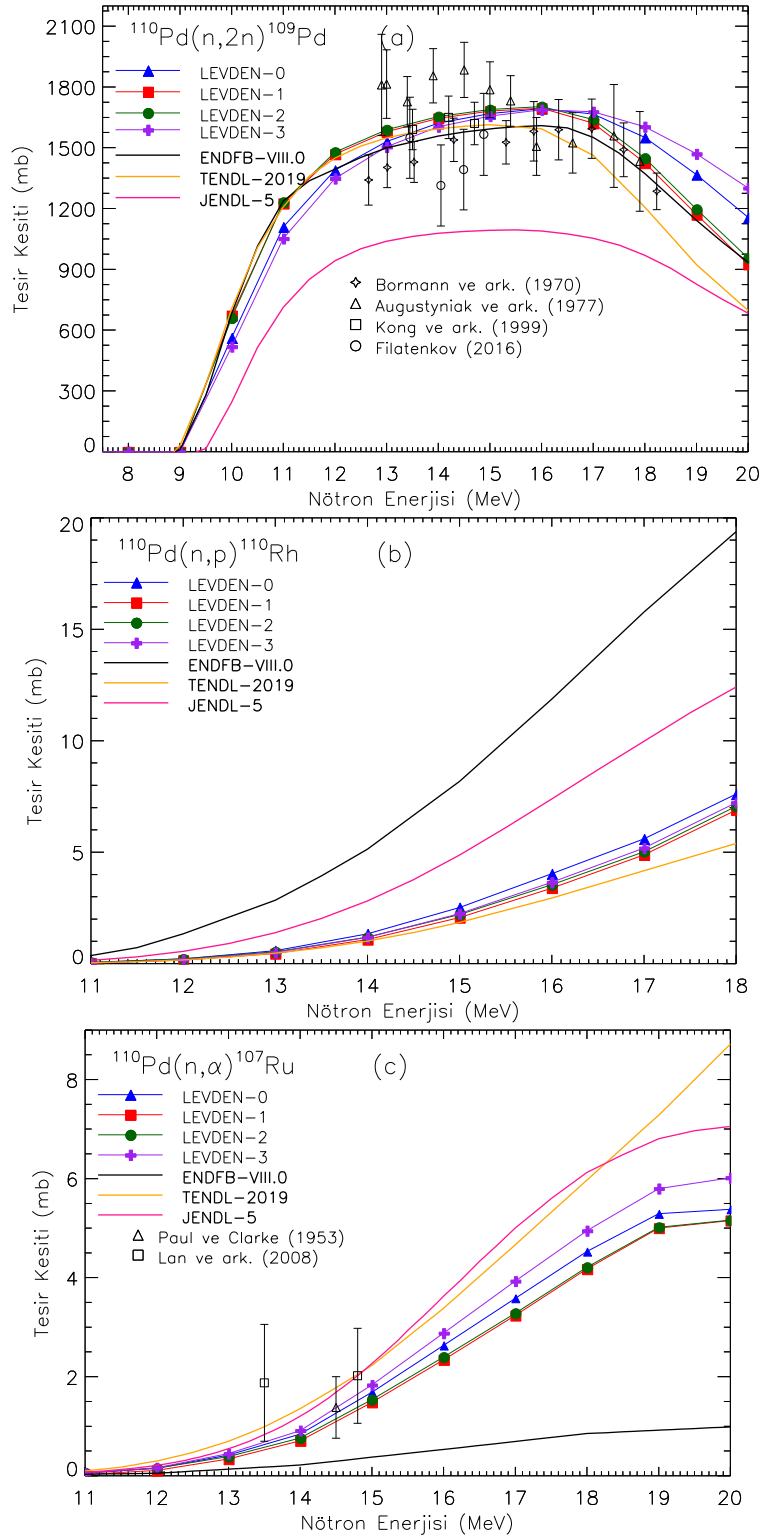
Dört farklı seviye yoğunluğu modeli kullanılarak $^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$, $^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$ ve $^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$ reaksiyonlarının 20.0 MeV'e kadar hesaplanan tesir kesitlerinin değişimini veren grafikleri Şekil 5'de çizilmiştir. Şekil 5a'da verilen $^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$ reaksiyonu için modellerden hesaplanan tesir kesiti eğrileri incelendiğinde, 20,0 MeV'e kadar LEVDEN-0 ile LEVDEN-3 eğrilerinin birbiriyle yaklaşık olarak uyumlu olduğu ve 17,0 MeV'e kadar LEVDEN-0 ile LEVDEN-3 eğrilerinin birbiriyle oldukça iyi uyumlu olduğu görülmektedir. LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrileri 9,0 MeV'den 20,0 MeV'e kadar birbirleriyle ve TENDL-2019 ile uyumludur. LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin 9,0 MeV'den 17,0 MeV'e kadar birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. 9,0-11,5 MeV aralığında, ENDF veri kütüphanesinden alınan değerlendirilmiş ENDFB-VIII.0 eğrisi ile LEVDEN-1 ile LEVDEN-2 eğrileri uyumlu iken, 11,5 MeV'den sonra ENDFB-VIII.0 verilerinin azalmaya başladığı ve yaklaşık olarak LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 ile benzer değişim gösterdiği görülmektedir.

Benzer şekilde, TENDL-2019 eğrisi yaklaşık 13,0 MeV'e kadar LEVDEN-1 ile LEVDEN-2 eğrileri uyumlu iken, daha sonra düşüş göstermektedir. 13,0-18,0 MeV aralığında literatürden alınan deneysel değerlerin hata aralıkları göz önüne alındığında modellerden (LEVDEN-0-3) hesaplanan ve TENDL-2019 ve ENDFB-VIII.0 verileriyle uyumlu olduğu görülmektedir. JENDL-5 eğrisinin diğer tüm sonuçlardan çok daha düşük olduğu görülmektedir. Tablo 1'in son sütunundan ve Şekil 1a'dan görüldüğü gibi, 14,5 MeV'de, seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan tesir kesiti değerleri sırasıyla, LEVDEN-0 ile 1644,9 mb, LEVDEN-1 ile 1663,05 mb, LEVDEN-2 ile 1671,25 mb ve LEVDEN-3 ile 1629,85 mb iken, ENDF'den alınan değerlendirilmiş veriler ise TENDL-2019 ile 1606,11 mb, ENDFB-VIII.0 ile 1577,95 mb ve JENDL-5 1086,74 mb'dir. 14,5 MeV uyarma enerjisi civarındaki deneysel veriler Bormann ve ark. (1970) 1539 ± 107 mb, Filatenkov (2016) 1392 ± 199 mb, Augustyniak ve ark. (1977) 4620 ± 43 mb ve Kong ve ark. (1999) 1620 ± 105 mb olarak verilmiştir.

10,0-20,0 MeV aralığında, modellerden hesaplanan ve ENDF'den alınan değerlendirilmiş verilerin $^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$ reaksiyon tesir kesiti eğrileri Şekil 5b'de verilmiştir. Literatürde $^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$ reaksiyonu tesir kesiti ile ilgili herhangi bir deneysel veriye rastlanmamıştır. Bu nedenle, modellerden hesaplanan değerler sadece ENDF kütüphanesinden alınan değerler ile kıyaslanmıştır.

Şekil 5b incelendiğinde, modellerden hesaplanan tüm tesir kesiti eğrilerinin birbirleriyle ve TENDL-2019 eğrisi ile uyumlu olduğu gözlenirken, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 eğrilerinin bunlara göre daha yüksek değişim gösterdiği gözlenmiştir. Tablo 1'den görüleceği gibi, 14,5 MeV'de teorik tesir kesiti değerleri 1,93 mb (LEVDEN-0), 1,57 mb (LEVDEN-1), 1,7 mb (LEVDEN-2) ve 1,71 mb (LEVDEN-

3) olarak hesaplanırken, ENDF'den alınan değerler ise 1,4 mb (TENDL-2019), 5,13 mb (ENDFB-VIII.0) ve 3,77 mb (JENDL-5) olarak kaydedilmiştir.



Şekil 5. a) $^{110}\text{Pd}(n,2n)^{109}\text{Pd}$ b) $^{110}\text{Pd}(n,p)^{110}\text{Rh}$ c) $^{110}\text{Pd}(n,\alpha)^{107}\text{Ru}$ reaksiyonlarının hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden elde edilen deneysel ve değerlendirilmiş değerlerle karşılaştırılması.

$^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$ reaksiyonunun 11,0 - 20,0 MeV arası hesaplanan tesir kesiti değerlerinin değişim grafikleri Şekil 5c'de verilmiştir. Şekil 5c incelendiğinde, tüm model hesaplamaları benzer değişim gösterirken, LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 ile hesaplanan tesir kesiti değerleri birbirleriyle oldukça uyumlu iken, LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 ile hesaplanan eğriler ise bunlara göre biraz daha yüksek değişim göstermektedir. Model hesaplamalarından elde edilen tesir kesiti eğrileri, ENDFB-VIII.0 eğrisinden daha yüksek iken, JENDL-5 ve TENDL-2019 eğrilerden daha düşük olduğu görülmüştür. Tablo 1 incelendiğinde, 14,5 MeV'de, Paul ve ark. (1953) tarafından ölçülen deneysel veri değeri ($1,4\pm 0,6$ mb), seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan LEVDEN-0 (1,26 mb) ve LEVDEN-3 (1,37 mb) ile yaklaşık benzer değerler göstermektedir. Lan ve ark. (2008) tarafından 14,8 MeV'de $2,02\pm 0,96$ mb olarak ölçülen tesir kesiti değerinin hata aralığı göz önüne alındığında yine tüm hesaplanan değerlerle benzer olduğu görülmektedir. Tablo 1'den, 14,5 MeV'de, LEVDEN-1,2 seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan tesir kesitleri sırasıyla, 1,1 mb, ve 1,15 mb olarak hesaplanmıştır. TENDL-2019, JENDL-5 ve ENDFB-VIII.0 değerlendirilmiş değerler ise sırasıyla, 1,78 mb, 0,22 mb ve 1,69 mb'dır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, nötron enerjisinin bir fonksiyonu olarak Platin grubundan olan Paladyum elementinin izotoplarının ($^{102,104,106,108,110}\text{Pd}$) (n,2n), (n,p) ve (n,α) reaksiyon tesir kesitleri 20,0 MeV'e kadar hesaplanmıştır. Hesaplamalar, Empire-3.2.3 (Malta) istatistiksel model kodu kullanılan "Gelişmiş Genelleştirilmiş Süper Akışkan" seviye yoğunluğu modeli (LEVDEN-0), "Genelleştirilmiş Süper Akışkan" seviye yoğunluğu modeli (LEVDEN-1), "Gilbert-Cameron" seviye yoğunluğu modeli (LEVDEN-2) ve "Hartree-Fock-Bogoliubov mikroskobik" seviye yoğunluğu modeli (LEVDEN-3) ile yapılmıştır. Farklı yoğunluk modellerinde elde edilen sonuçlar, birbirleriyle, EXFOR'dan alınan mevcut deneysel verilerle ve ENDF kütüphanesinden alınan değerlendirilmiş verilerle kıyaslanmıştır. Ayrıca, teorik olarak hesaplanan, deneysel ve değerlendirilmiş verilerin 14,5 MeV civarındaki reaksiyon tesir kesitleri Tablo olarak verilmiştir. Sonuçlar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

- (n,2n) reaksiyonlarında, genellikle LEVDEN-1 ile LEVDEN-2 tesir kesiti eğrileri birbiriyle ve LEVDEN-0 ile LEVDEN-3 tesir kesiti eğrileri de birbirleriyle uyumludur.
- (n,2n), (n,p) ve (n,α) reaksiyon tesir kesitleri için hesaplanan tüm veriler, genel olarak deneysel verilerle ve 14,5 MeV civarında değerlendirilen verilerle iyi bir uyum içindedir.
- $^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$ reaksiyonu dışında, 20,0 MeV'e kadar, LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan (n,2n) tesir kesiti eğrileri LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 ile hesaplanana göre genellikle daha yüksektirler. $^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$ reaksiyonu için LEVDEN-1 seviye yoğunluğu modeli diğer model eğrilerine yakındır.
- 10,0–20,0 MeV nötron enerji aralığında, (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinde tüm modellerden elde edilen eğrilerin değerlendirilmiş ENDFB-VIII.0 eğrileriyle ile genel olarak yaklaşık uyumlu olduğu

- görülürken, $^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$ ve $^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$ reaksiyonları dışında TENDL-2019 eğrilerinin genellikle daha düşük olduğu görülmüştür.
- $^{108}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{107}$ ve $^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$ reaksiyonlarında JENDL-5 sonuçlarının hesaplanan değerlere göre daha düşük olduğu görülmüştür.
 - Tüm (n,p) reaksiyonlarında, LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan eğrileri yaklaşık olarak birbirleriyle uyumlu olduğu ve LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerine göre biraz daha düşük değişim gösterdiği görülmüştür.
 - $^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$, $^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$ reaksiyonlarında tüm modellerden hesaplanan (n,p) tesir kesiti değerlerindeki değişimin genel olarak birleriyle uyumlu oldukları görülmüştür.
 - $^{102}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{102}$ reaksiyonunda LEVDEN-3 seviye yoğunluğu modelinden hesaplanan değerlerin değerlendirilmiş JENDL-5 sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.
 - $^{104}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{104}$ reaksiyonu dışında, diğer hesaplanan (n,p) reaksiyon tesir kesiti eğrilerinde ENDFB-VIII.0 eğrisinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. $^{104}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{104}$ reaksiyonunda, 15,0 MeV'e kadar LEVDEN-0 seviye yoğunluğu eğrisinin yaklaşık olarak ENDFB-VIII.0 eğrisi ile uyumlu olduğu görülmüştür.
 - (n,p) reaksiyonlarında hesaplanan değerler, genel olarak deneysel sonuçlarla uyum içindedirler.
 - $^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$ reaksiyonunda hesaplanan tesir kesiti eğrilerinin ENDF'den alınan üç değerlendirilmiş değerlerden elde edilen sonuçlardan oldukça düşük olduğu görülmüştür.
 - 13-15 MeV nötron enerjisi aralığında LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 ile hesaplanan (n, α) tesir kesiti eğrilerinin deneysel verilerle uyumlu oldukları görülmüştür.
 - (n, α) reaksiyon tesir kesiti eğrileri incelendiğinde, $^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$ reaksiyonunda ve bazı $^{104}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{101}$ durumlarında LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 ile hesaplanan tesir kesiti eğrilerinin ve TENDL-2019 eğrisinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülürken, $^{106}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{103}$, $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ reaksiyonlarında LEVDEN-2 ile hesaplanan tesir kesiti eğrilerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.
 - $^{104}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{101}$ reaksiyonunda, yaklaşık 6,0-13,0 MeV arasında LEVDEN=2 ile ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 eğrileri uyumlu iken, yaklaşık 6,0-16,0 MeV arasında LEVDEN=0 ile TENDL-2019 eğrileri birbiriyle uyumludur.
 - $^{106}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{103}$, $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ ve $^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$ reaksiyonlarında ENDFB-VIII.0 eğrilerinin hesaplanan tesir kesiti eğrilerine göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.
 - 20,0 MeV'e kadar $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ reaksiyonunda LEVDEN-3 ile JENDL-5 eğrilerinin oldukça uyumlu ve LEVDEN-0 ile TENDL-2019 eğrisinin yaklaşık olarak uyumlu oldukları gözlenmiştir.
 - $^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$ reaksiyonu dışında, diğer tüm reaksiyon tesir kesitlerinde, LEVDEN-1 seviye yoğunluğu modeli ile hesaplanan tesir kesiti eğrilerinin genel olarak diğerlerine göre daha düşük oldukları görülmüştür.

- 14,5 MeV civarında hesaplanan tesir kesiti değerleri birkaç durum dışında genel olarak deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, Empire-3.2.3 (Malta) bilgisayar kodunda farklı seviye yoğunluk modelleri kullanılarak ^{102,104,106,108,110}Pd için yapmış olduğumuz teorik hesaplamaların, deneysel verilerin bulunmadığı veya deneysel zorluklardan dolayı deneysel verilerin elde edilmesinin mümkün olmadığı durumlar için benzer çalışmalara katkı sağlayacağını düşünmekteyiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Augustyniak W., Herman M., Marcinkowski A., Zwiegliniski B. Cross sections for the (n,2n) reaction on Pd-102, Pd-110, Cd-112 and Os-192, Nuclear Physics A 1977; 28(1): 145-155.
- Ball P. The elements: A very short introduction. Oxford: Oxford University Press, 2004.
- Bethe HA. Nuclear dynamics, theoretical, reviews of modern physics, Nuclear Physics B 1937; 9(2): 69-244.
- Bormann M., Bissem HH., Magiera E., Warnemunde R. Total cross sections and isomeric cross section ratios for (n,2n) reactions in the energy region 12 - 18 MeV, Nuclear Physics A, 1970; 157: 481-496.
- Broeders CHM., Konobeyev AY., Korovin YA., Lunev VP., Blann M. Report FZKA-7183, ALICE/ASH Manual, FZK 7183, 2006. (<http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA7183.pdf>).
- Capote R., Osorio V., Lopez R., Herrera E., Piris M. Higher institute of nuclear science and technology, cuba. Translated by the IAEA on the March, (PCROSS program code), 1991.
- Capote R., Herman M., Oblozinsky P., Young PG., Goriely S., Belgia T., Ignatyuk AV., Koning AJ., Hilaire S., Plujko V.A., Avrigeanu M., Bersillon O., Chadwick MB., Fukahori T., Zhigang Ge, Yinlu Han, Kailas S., Kopecky J., Maslov VM., Reffo G., Sin M., Soukhovitskii E.Sh., Talou P. Reference input parameter library (RIPL-3). Nuclear Data Sheets, 2009; 110(12): 3107-3214.
- Demetriou P., Goriely S. Microscopic nuclear level densities for practical applications. Nuclear Physics A 2001; 695: 95-108.
- Dilg W., Schantl W., Vonach H., Uhl M. Level density parameters for the backshifted fermi gas model in the mass range 40<A<250. Nuclear Physics A, 1973; 217(2): 269-298.
- Ditrói F., Tárkányi F., Takács S., Mahunka I., Csikai J., Hermanne A., Uddin MS., Hagiwara M., Baba M., Ido T., Shubin Yu., Dityuk AI. Measurement of activation cross sections of the proton

- induced nuclear reactions on palladium. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2007; 272(2): 231–235.
- Filatenkov AA. Neutron activation cross sections measured at KRI in neutron energy region 13.4 - 14.9 MeV, INDC(CCP)-0460 Rev Distr. G+J, INDC International Nuclear Data Committee, St. Petersburg, Russia, 2016.
- Gilbert A., Cameron, AGW. A composite nuclear level density formula with shell correction, *Canadian Journal of Physics* 1965; 43(8): 1446-1496.
- Hauser W., Feshbach H. The inelastic scattering of neutrons. *Physical Review C*, 1952; 87(2): 366-373.
- Herman M., Capote R., Carlson BV., Oblozinsky P., Sin M., Trkov A., Wienke H., Zerkin V. EMPIRE: Nuclear reaction model code system for data evaluation. *Nuclear Data Sheets*, 2007; 108(12): 2655-2715.
- Herman M., Capote R., Sin M., Trkov A., Carlson B., Brown D., Nobre G., Oblozinsky P., Mattoon C., Wienke H., Hoblit S., Cho YS., Nobre GPA., Plujko V., Zerkin V. EMPIRE-3.2 Malta (rev.1) modular system for nuclear reaction calculations and nuclear data evaluation, User's Manual, 2015. (<https://www-nds.iaea.org/empire/index.html>)
- Ignatyuk AV., Smirenkin GN., Tishin AS. Phenomenological description of energy dependence of the level density parameter, *Sov. J. Nucl. Phys. (Yadernaja Fizika)*, 1975; 21(3): 485-490.
- Ignatyuk AV., Istekov KK., Smirenkin GN. The role of collective effects in the systematics of nuclear level densities. *Sov. J. Nucl. Phys. (Yadernaja Fizika)* 1979; 29(4): 875-883.
- Iwamura Y., Sakano M., Itho T. Elemental analysis of Pd complexes: effects of D₂ gas permeation. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2002; 41(1, 7A): 4642–4650.
- Kaplan A., Tel E., Aydin A. The equilibrium and preequilibrium neutron-emission spectra of some, structural fusion materials for (n, xn) reactions up to 16 MeV Energy, *Physics of Atomic Nuclei*, 2009; 72(6): 903–910.
- Kasugai Y., Yamamoto H., Kawade K., Iida T. Measurements of (n,p) cross-sections for short-lived products by 13.4-14.9 MeV neutrons, *Annals of Nuclear Energy* 1998; 25(1–3): 23-45.
- Kavun Y. The empirical cross section behavior of (d, 3n) reaction for 20±1.5 MeV energy, *Applied Radiation and Isotopes*, 2020; 163(6): 109241.
- Kong X., Hu S., Wang R., Yang J., Pu Z. The cross section measurements for 13.5 -14.7 MeV neutron induced reactions on palladium isotopes. *Journal of Lanzhou University, Natural Sciences* 1999; 35(2): 83-88.
- Konno C., Ikeda Y., Oishi K., Kawade K., Yamamoto H., Maekawa H. Activation cross section measurements at neutron energy from 13.3 to 14.9 MeV Using the FNS facility. JAERI 1329, Tokai-mura, 1993.
- Koning AJ., Delaroche JP. Local and global nucleon optical models from 1 keV to 200 MeV, *Nuclear Physics A* 2003; 713(3-4): 231–310.

- Koning AJ., Hilaire S., Goriely S. Global and local level density models, *Nuclear Physics A* 2008; 810(1-4): 13-76.
- Koning A., Hilaire S., Goriely S. TALYS-1.6, A Nuclear Reaction Program, User Manual, 1st ed., Westerduinweg 3, P.O. Box 25, NL-1755 ZG, Petten, The Netherlands, 2013. (<http://www.talys.eu/download-talys/htm>).
- Lan CL., Fang KH., Xu XS., Wang Q., Kong XZ., Liu R., Jiang L. Activation cross-section measurements for producing short-lived nuclei with 14MeV neutrons-Ge, Pd, Yb, *Radiation Physics and Chemistry* 2008; 77(7): 854-858.
- Levkovskii VN., Artemev OI. Cross sections of reactions (n, p) and (n, α) at the neutron energy of 14.8 MeV, *Sov. J. Nucl. Phys. (Yadernaja Fizika)*, 1971; 13(5): 529.
- Lu WD., Kumar NR., Fink RW. Activation cross sections for (n,p), ((n,np)+(n,pn)+(n,d)), and (n, α) reactions in the region of Z=40 to 58 at 14.4 MeV, *Physical Review C* 1970; 1: 358.
- Meaze AKMMH., Kim GN. Determination of niobium and palladium resonance cross sections by time-of-flight transmission experiment, *Indian Journal of Physics* 2011; 85(2): 329-338.
- Newman RJ., Smith FJ. Platinum metals from nuclear fission. an evaluation of their possible use by industry, *Platinum Metals Rev.*, 1970; 14: 88-92.
- Oh Y., Kang H., Cho MH., Ko IS., Namkung W., Wang T., Rahman MS., Lee M., Kim G. Measurement of the neutron total cross sections of natural palladium by using pulsed neutrons at pohang neutron facility, *Journal of Nuclear Science And Technology, Supplement*, 2008; 5: 590-593.
- Özdoğan H., Şekerci M., Kaplan A. Investigation of gamma strength functions and level density models effects on photon induced reaction cross-section calculations for the fusion structural materials 46,50Ti, 51V, 58Ni and 63Cu. *Applied Radiation and Isotopes*, 2019; 143: 6-10.
- Özdoğan H., Şekerci M., Kaplan A. An investigation on the effects of some theoretical models in the cross-section calculations of $^{50,52,53,54}\text{Cr}(\alpha,x)$ Reactions. *Physics of Atomic Nuclei* 2020; 83: 820-827.
- Özdoğan H., Üncü YA., Şekerci M., Kaplan A. Estimations of level density parameters by using artificial neural network for phenomenological level density models. *Applied Radiation and Isotopes* 2021; 169: 109583.
- Paul EB., Clarke RL. Cross section measurements of reactions induced by neutrons of the 14,5 MeV energy. *Canadian Journal of Physics* 1953; 31(2): 267-277.
- Pasha I., Rudraswamy B., Suryanarayana SV., Naik H., Ram SP., Danu LS., Patel T., Bishnoi S., Karantha MP. Measurement of neutron induced reaction cross sections of palladium isotopes at the neutron energy of 14.54 +/- 0.24 MeV with covariance analysis. *Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry* 2020; 325(2): 175-182.
- Prasad R., Sarkar DC. Measured (n,p) reaction cross-sections and their predicted values at 14.8 MeV, *II Nuovo Cimrntlo A* 1971; 3(4): 467-478.

- Sahan M., Tel E., Aydın A., Yegingil İ. Investigation of some stellar iron group fusion materials for (n, p) reactions. *Journal of Fusion Energy* 2012; 31: 52-64.
- Sahan M., Tel E., Sahan H., Gevher U., Kara A. Cross section calculations of (n,2n) and (n,p) nuclear reactions, on Germanium isotopes at 14–15 MeV, *Journal of Fusion Energy* 2016; 35: 730-742.
- Sahan H., Sahan M., Tel E. Cross-section calculation of (n, p) and (n,2n) reactions for high temperature reactors construction materials tungsten and rhenium. *Physics of Atomic Nuclei* 2021; 84(5): 724-738.
- Şekerci M., Özdoğan H., Kaplan A. Investigation on the different production routes of ^{67}Ga radioisotope by using different level density models. *Moscow University Physics Bulletin*, 2019; 74(3): 277-281.
- Şekerci M., Özdoğan H., Kaplan A. Level density model effects on the production cross-section calculations of some medical isotopes via (α, xn) reactions where $x = 1-3$, *Modern Physics Letters A*, 2020; 35(24): 2050202.
- Takahashi S., Ikeda M., Iwata K., Tanaka S., Akayama R., Takahashi T. Estimation of the radiation dose of ^{107}Pd in palladium products and preliminary proposal of appropriate clearance level. *Journal of Nuclear Science and Technology* 2018; 55(12): 1490-1495.
- Tel E., Şarer B., Okuducu Ş., Aydın A., Tanır G. A new empirical formula for 14–15 MeV neutron-induced (n, p) reaction cross sections, *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 2003; 29: 2169-2177
- Tel E., Bölükdemir MH., Okuducu S., Aydın A., Kaplan A. Investigation of neutron skin effect, with density dependence by using a new calculation method for initial exciton numbers on pre-equilibrium reactions. *Physica Scripta*, 2009; 80, 065201.
- Tel E., Kavun Y., Sahan M., Aydın A. A study on the new empirical cross section formulae for (c, p) reactions at 20 – 1 MeV incident energy. *Journal of Fusion Energy* 2018; 37: 270-274
- Uwamino Y., Sugita H., Kondo Y., Nakamura T. Measurement of neutron activation cross sections of energy up to 40 MeV using semi-monoenergetic p-Be neutrons. *Nuclear Science and Engineering* 1992; 111(4): 391–403.
- Uwamino Y., Sugita H., Kondo Y., Nakamura T. Measurement of neutron activation cross sections for energies up to 40 MeV for natural samples of Si, Cu and Zn. *Journal of Nuclear Science and Technology* 1994; 3(1): 1-11.
- Wang T., Kim G., Oh YD., Cho MH., Ko IS., Namkung W. Neutron total cross sections and resonance parameters of palladium. *Nuclear Science and Engineering* 2016; 183: 286–297.
- Weigel H., Michel R., Herr W., Measurement of 14MeV cross sections for (n,p), (n,alpha),(n,2n) and (n,np+pn+d) reactions in the elements Sc,Ni,Ge,Pd,Cd,Sm,Dy,Gd and Yb by taking into account the "effective" n-energy spectra (in German). *Radiochim Acta* 1975; 22: 11.
- White RL., Gray TJ. Neutron cross sections in Pd isotopes over an energy range of 15.1 to 16.3 MeV. *Bulletin of the American Physical Society Ser. II* 1972; 17: 687 (FD10).

- Yiğit M., Kara A. Model-based predictions for nuclear excitation functions of neutron-induced reactions on $^{64,66,68}\text{Zn}$ targets. *Nuclear Engineering and Technology* 2017; 49: 996-1005.
- Yiğit M. A review of (n,p) and (n,α) nuclear cross sections on palladium nuclei using different level density models and empirical formulas. *Applied Radiation and Isotopes* 2018; 140: 355–362.