

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FÜZYON REAKTÖR TEKNOLOJİSİNDE YAPI MATERYALİ OLARAK
KULLANILAN NİKEL İZOTOPLARININ REAKSİYON TESİR KESİTLERİNİN
DENGİ ÖNCESİ MODELLERLE İNCELENMESİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYKUT YILMAZ

MART 2017

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FÜZYON REAKTÖR TEKNOLOJİSİNDE YAPI MATERYALİ OLARAK
KULLANILAN NİKEL İZOTOPLARININ REAKSİYON TESİR KESİTLERİNİN
DENGİ ÖNCESİ MODELLERLE İNCELENMESİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut YILMAZ

DANIŞMAN: Doç. Dr. Rıdvan BALDIK

ZONGULDAK

Mart 2007

KABUL:

Aykut YILMAZ tarafından hazırlanan “Füzyon Reaktör Teknolojisinde Yapı Materyali Olarak Kullanılan Nikel İzotoplarının Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Denge Öncesi Modellerle İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 16/03/2017

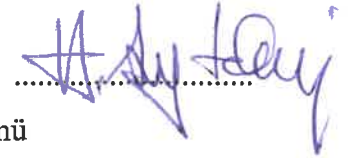
Danışman: Doç. Dr. Rıdvan BALDIK

Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü



Üye: Prof. Dr. Hüseyin AYTEKİN

Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü



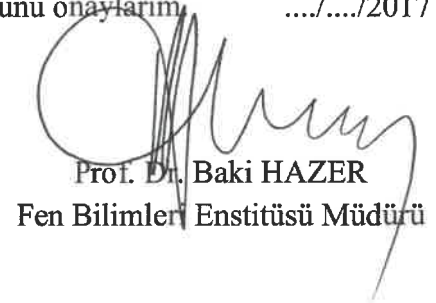
Üye: Doç. Dr. Necla ÇAKMAK

Karabük Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../2017



Prof. Dr. Baki HAZER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Aykut YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FÜZYON REAKTÖR TEKNOLOJİSİNDE YAPI MATERYALİ OLARAK KULLANILAN NİKEL İZOTOPLARININ REAKSİYON TESİR KESİTLERİNİN DENGİ ÖNCESİ MODELLERLE İNCELENMESİ

Aykut YILMAZ

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Rıdvan BALDIK

Mart 2017, 61 sayfa

Bu tezde, füzyon reaktörlerinde yapı malzemesi olarak kullanılan nikel çekirdeğinin doğal izotopları üzerine gelen proton, nötron ve döteron parçacıkları ile oluşturulan reaksiyonların uyarılma fonksiyonları denge öncesi modellerle incelenmiştir. Uyarılma fonksiyonları hesaplanmalarında ise iki boyutlu eksiton model TALYS 1.8 programı ve hibrid ile geometri bağımlı hibrid model ALICE / ASH programı kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, EXFOR (Experimental Nuclear Reaction Data) veri tabanındaki mevcut sonuçlarla karşılaştırılmış ve tartışılmıştır. Ayrıca, incelenen reaksiyonlarda oluşan ürün çekirdekler hakkında bilgiler verilmiştir. Elde edilen sonuçların füzyon reaktörlerinde yapı malzemesi olarak kullanılan nikel çekirdeği üzerindeki olası $^{58,60-62,64}_{\text{Ni}}(\text{p},\text{x})$, $^{58,60-62,64}_{\text{Ni}}(\text{n},\text{x})$ ve $^{58,60-62,64}_{\text{Ni}}(\text{d},\text{x})$ reaksiyonlarının etkilerinin anlaşılması için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Tesir kesiti, denge öncesi modeller, füzyon reaktör teknolojisi, yapı materyali

Bilim Kodu: 404.04.01.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF REACTION NICKEL OF ISOTOPES USED AS CONSTRUCTION MATERIALS IN FUSION REACTOR TECHNOLOGY WITH PRE-EQUILIBRIUM MODELS

Aykut YILMAZ

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Rıdvan BALDIK

March 2017, 61 pages

In this study, the excitation functions of the reactions formed by proton, neutron and deuteron particles on natural isotopes of nickel core used as building materials in fusion reactors have been analyzed by pre-equilibrium reaction models. Two-dimensional exciton model TALYS 1.8 program, hybrid and geometry dependent hybrid model ALICE / ASH program were used to calculate excitation functions. The obtained findings were discussed and compared with the existing results in the EXFOR (Experimental Nuclear Reaction Data) database. Additionally, informations were given about the product nuclei which were formed in the investigated reactions. The obtained results can be used to understand effects of the possible reactions which are $^{58,60-62,64,\text{nat}}\text{Ni}(p,x)$, $^{58,60-62,64,\text{nat}}\text{Ni}(n,x)$ and $^{58,60-62,64,\text{nat}}\text{Ni}(d,x)$ used as building material in fusion reactors.

ABSTRACT (continued)

Keywords: Cross section, pre-equilibrium reaction models, fusion reactor technology, structure materials

Science Code: 404.04.01.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yol gösteren, öneri ve yardımlarını benden esirgemeyen, tezimde büyük katkısı olan tez danışmanım ve değerli hocam; Doç. Dr. Rıdvan BALDIK' a,

Yararlı görüş ve yönlendirici değerli katkılarından dolayı sayın hocalarım, Prof. Dr. Hüseyin AYTEKİN ve Necla ÇAKMAK' a,

Günlük yaşamımda ve tez çalışmam sırasında gösterdiği yapıcı ve yönlendirici katkılarından dolayı Ferudun KOÇER' e,

Yapıcı görüş ve katkılarından dolayı Esra DEVRAN, Serkan SUGEÇTİ ve Arzu HASKÖY YILMAZ' a,

Bütün hayatım boyunca manevi ve maddi desteklerini benden esirgemeyen değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
 BÖLÜM 1 GİRİŞ	 1
 BÖLÜM 2 MATERYAL VE METOT	 7
 2.1 NÜKLEER REAKSİYONLAR.....	 7
2.1.1 Direk Reaksiyonlar	8
2.1.2 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları	9
2.1.3 Rezonans Reaksiyonlar	10
2.2 NÜKLEER REAKSİYON TESİR KESİTLERİ VE UYARILMA FONKSİYONU	10
2.3 DENGİ-ÖNCESİ REAKSİYON MODELLERİ.....	11
2.3.1 Hibrid (Melez) Model	11
2.3.2 Geometri Bağımlı Hibrid Model (GDH)	12
2.3.3 İki Bileşenli Eksiton Model	13
2.4 DENGİ-ÖNCESİ REAKSİYON MODELLERİ İLE UYARILMA FONKSİYONLARI	
HESAPLAMALARINDA KULLANILAN BİLGİSAYAR KODLARI	14
2.4.1 ALICE/ASH Bilgisayar Kodu	15
2.4.2 TALYS 1.8 Bilgisayar Kodu	15

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 3 NİKEL ÇEKİRDEĞİNİN ÜZERİNE GELEN PROTON İLE OLUŞTURULAN DENGİ-ÖNCESİ REAKSİYONLARIN İNCELENMESİ ...	17
3.1 NİKEL ÇEKİRDEĞİNİN DOĞAL İZOTOPLARI ÜZERİNE GELEN PROTON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ	17
3.1.1 $^{58,60,61,64}\text{Ni}$ (p, α) Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları	17
3.1.2 $^{60,61,62,64}\text{Ni}$ (p,n) Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları.....	20
3.2 DOĞAL NİKEL ÜZERİNE GELEN PROTON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ	23
BÖLÜM 4 NİKEL ÇEKİRDEĞİNİN DOĞAL İZOTOPLARI ÜZERİNE GELEN NÖTRON İLE OLUŞTURULAN DENGİ-ÖNCESİ REAKSİYONLARIN İNCELENMESİ	27
4.1 NİKEL ÇEKİRDEĞİNİN DOĞAL İZOTOPLARI ÜZERİNE GELEN NÖTRON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ	27
4.1.1 $^{60,64}\text{Ni}$ (n,2n) Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları	27
4.1.2 $^{58,62,64}\text{Ni}$ (n, α) Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları	29
4.1.3 $^{58,60,61,62}\text{Ni}$ (n,p) Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları	31
BÖLÜM 5 NİKEL ÇEKİRDEĞİ ÜZERİNE GELEN DÖTERON İLE OLUŞTURULAN DENGİ-ÖNCESİ REAKSİYONLARIN İNCELENMESİ.....	37
5.1 NİKEL ÇEKİRDEĞİNİN DOĞAL İZOTOPLARI ÜZERİNE GELEN DÖTERON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ	37
5.1.1 ^{58}Ni (d,2p) ^{58}Co , ^{58}Ni (d, α) ^{56}Co ve ^{64}Ni (d,p) ^{65}Ni Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları.....	37
5.1.2 $^{58,60,61}\text{Ni}$ (d,n) Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları	39

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

5.2 DOĞAL NİKEL ÜZERİNE GELEN DÖTERON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ	41
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 a) $^{58}\text{Ni}(p,\alpha)^{55}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{60}\text{Ni}(p,\alpha)^{57}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.....	18
Şekil 3.2 a) $^{61}\text{Ni}(p,\alpha)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{64}\text{Ni}(p,\alpha)^{61}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.....	19
Şekil 3.3 a) $^{60}\text{Ni}(p,n)^{60}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{61}\text{Ni}(p,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.....	21
Şekil 3.4 a) $^{62}\text{Ni}(p,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.....	22
Şekil 3.5 a) $^{nat}\text{Ni}(p,x)^{55}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu. b) $^{nat}\text{Ni}(p,x)^{60}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu.....	24
Şekil 3.6 a) $^{nat}\text{Ni}(p,x)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu.....	25
Şekil 4.1 a) $^{60}\text{Ni}(n,2n)^{59}\text{Ni}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{64}\text{Ni}(n,2n)^{63}\text{Ni}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.....	28
Şekil 4.2 a) $^{58}\text{Ni}(n,\alpha)^{55}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.....	29
Şekil 4.3 $^{64}\text{Ni}(n,\alpha)^{61}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.....	30
Şekil 4.4 a) $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.....	31
Şekil 4.5 a) $^{61}\text{Ni}(n,p)^{61}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{62}\text{Ni}(n,p)^{62}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.....	33
Şekil 4.6 a) $^{nat}\text{Ni}(n,x)^{57}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu. b) $^{nat}\text{Ni}(n,x)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu.....	34
Şekil 4.7 a) $^{nat}\text{Ni}(n,x)^{60}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu. b) $^{nat}\text{Ni}(n,x)^{59}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu.....	35
Şekil 5.1 a) $^{58}\text{Ni}(d,2p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları	38
Şekil 5.2 $^{64}\text{Ni}(d,p)^{65}\text{Ni}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları	39
Şekil 5.3 a) $^{58}\text{Ni}(d,n)^{59}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{60}\text{Ni}(d,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 5.4	$^{61}\text{Ni}(\text{d},\text{n})^{62}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları	41
Şekil 5.5	a) $^{\text{nat}}\text{Ni}(\text{d},\text{x})^{55}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu. b) $^{\text{nat}}\text{Ni}(\text{d},\text{x})^{56}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu	42
Şekil 5.6	a) $^{\text{nat}}\text{Ni}(\text{d},\text{x})^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu. b) $^{\text{nat}}\text{Ni}(\text{d},\text{x})^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu	43

TABLOLAR DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 $^{58}\text{Ni}(p,\alpha)^{55}\text{Co}$ ve $^{60}\text{Ni}(p,\alpha)^{57}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.....	18
Tablo 3.2 $^{61}\text{Ni}(p,\alpha)^{58}\text{Co}$ ve $^{64}\text{Ni}(p,\alpha)^{61}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.....	20
Tablo 3.3 a) $^{60}\text{Ni}(p,n)^{60}\text{Cu}$ ve $^{61}\text{Ni}(p,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.....	21
Tablo 3.4 $^{62}\text{Ni}(p,n)^{62}\text{Cu}$ ve $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.....	23
Tablo 4.1 $^{60}\text{Ni}(n,2n)^{59}\text{Ni}$ ve $^{64}\text{Ni}(n,2n)^{63}\text{Ni}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.....	28
Tablo 4.2 $^{58}\text{Ni}(n,\alpha)^{55}\text{Fe}$, $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$ ve $^{64}\text{Ni}(n,\alpha)^{61}\text{Fe}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.....	30
Tablo 4.3 $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ ve $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.....	32
Tablo 4.4 $^{61}\text{Ni}(n,p)^{61}\text{Co}$ ve $^{62}\text{Ni}(n,p)^{62}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.....	33
Tablo 5.1 $^{58}\text{Ni}(d,2p)^{59}\text{Ni}$, $^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$ ve $^{64}\text{Ni}(d,p)^{65}\text{Ni}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.....	38
Tablo 5.2 $^{58}\text{Ni}(d,n)^{59}\text{Cu}$, $^{60}\text{Ni}(d,n)^{61}\text{Cu}$ ve $^{61}\text{Ni}(d,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.....	40

TABLÖLAR DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 6.1 14.7 MeV proton, 14.1 MeV nötron ve 9.8 MeV döteron gelme enerjilerinde ^{62}Ni (p,n) ^{62}Cu , ^{64}Ni (n,2n) ^{63}Ni ve ^{60}Ni (d,n) ^{61}Cu reaksiyonları için elde edilen tesir kesiti değerleri.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
mb	: Mili barn
MeV	: Milyon Elektron Volt
Mo	: Amonyum Persülfat
Nat	: Doğal
Nb	: Niobyum
Ni	: Nikel
Pu	: Plütonyum
Ta	: Talatyum
Th	: Toryum
U	: Uranyum
W	: Vanadyum
Z	: Proton sayısı
Zn	: Çinko

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

E_n : Nötron gelme enerjisi

E_p : Proton gelme enerjisi

E_d : Döteron gelme enerjisi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ağır yüklü parçacıklar kütleleri 1 atomik kütle birimi (u) büyüklüğünde veya daha büyük olan parçacıklardır. Bu parçacıklar, protonlar, döteronlar, alfa parçacıkları, fisyon parçacıkları ve hızlandırıcılarla üretilen parçacıkları kapsar. Bunlar pozitif yüklü parçacıklar olup soğurulan madde atomlarının elektronlarıyla Coulomb etkileşmesi yoluyla etkileşerek bu parçacıklar ve elektron arasında çarpışma meydana gelir. Bu çarpışma sonucunda gelen tanecik enerjisinin bir kısmını ortama aktararak enerji kaybı olur. Eğer yüklü bir parçacık atomun elektronları ile bu şekilde etkileşirse aşağıdaki sonuçlar oluşabilir (Krane 2002):

1. Ağır yüklü parçacıklar soğurularak enerjisinin tümünü elektronlara aktarabilir.
2. Ağır yüklü parçacıklar elastik saçılmaya uğrayabilir veya ihmal edilecek bir açıyla saparsa çok az enerji kaybı ile yoluna devam edebilir.
3. Coulomb kuvveti sonsuz menzile sahip olduğundan Ağır yüklü parçacıklar aynı anda birkaç elektronla etkileşebilir, buda atomun iyonlaşmasına sebep olabilir.
4. Ağır yüklü parçacıkların kütleleri elektron kütlelerinden çok büyük olduğundan elektronlarla olan çarpışmalarda yollarından sapmazlar.
5. Verilen bir anda yüklü parçacık, eş zamanlı olarak, birçok elektronla etkileşerek katı ve sıvılarda birkaç pikosaniye, gazlarda ise birkaç nanosaniye yol alır ve durur.

Nötronlar, soğurucunun çekirdekleri ile etkileşirler ve enerjik ağır yüklü parçacıkların oluşmasıyla sonuçlanabilir (Krane 2002).

Hızlı nötronlar, kinetik enerjisi 1 KeV üzerinde olan nötronlardır. Hızlı nötronla olan reaksiyonlar yavaş nötronlarla olanlara nazaran düşük olasılıklıdır. Bu bakımdan, hızlı nötronlar yaygın olarak çekirdeklerden elastik saçılmaya uğrarlar. Diğer taraftan nötron kinetik enerjisinin önemli bir kısmının çekirdeğe transfer edildiği ve geri tepen enerjik çekirdeğin olacağı reaksiyonlar da olabilir. Geri tepen çekirdeğin maddeyle etkileşmesi ağır yüklü parçacıklarıninki ile aynıdır. Nötron tarafından transfer edilen enerji nötronun sıyrarak geçtiği durumda sıfıra yakın ve kafa kafaya yaptığı çarpışma durumunda maksimumdur. (Krane 2002).

İki hafif çekirdeğin birleşerek daha ağır bir çekirdek meydana getirdiği reaksiyonlara füzyon (nükleer kaynaşma) reaksiyonları denir. Bazı temel füzyon reaksiyonları;

$$D + D \rightarrow T (1,01 \text{ MeV}) + p (3,02 \text{ MeV}) \quad (1.1)$$

$$D + D \rightarrow n (2,45 \text{ MeV}) + {}^3\text{He} (0,82 \text{ MeV}) \quad (1.2)$$

$$D + T \rightarrow \alpha (3,45 \text{ MeV}) + n (14,1 \text{ MeV}) \quad (1.3)$$

$$T + T \rightarrow \alpha (\leq 6,6 \text{ MeV}) + 2n (\leq 10,6 \text{ MeV}) \quad (1.4)$$

$$D + {}^3\text{He} \rightarrow \alpha (3,6 \text{ MeV}) + p (14,7 \text{ MeV}) \quad (1.5)$$

$$T + {}^3\text{He} \rightarrow \alpha (4,8 \text{ MeV}) + D (9,8 \text{ MeV}) \quad (1.6)$$

$$D + D \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma (23,8 \text{ MeV}) \quad (1.7)$$

şeklinde. Füzyon, çekirdeklerde bulunan Coulomb engeli nedeniyle fisyonunda olduğu gibi kendiliğinden gerçekleşebilen bir olay değildir. Coulomb engeli aşıldığında çekirdekler hızla kararlı duruma gelecek şekilde birleşirler ve füzyon gerçekleşebilir. Fisyon reaksiyonlarına göre füzyon reaksiyonlarının anlaşılması ve açıklanması daha kolaydır (Long and Tahir 1986; Krane 2002; Séguin et al. 2003).

Termonükleer reaktör olarak da bilinen füzyon reaktörleri, içinde nükleer füzyon meydana gelen ve kullanılabilir enerji elde edilen reaktörlerdir. Bu tür reaktörlerin gerçekleştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu reaktörlerde meydana gelen en önemli sorun, plazmayı reaktörün içinde tutabilmek ve kullanılabilir enerji elde edebilmek için gerekli enerjinin plazma sıcaklığını arttırmak için verilmesi gereken enerjiden daha fazla olmasıdır (Krane 2002).

Dünya enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik yapılan çalışmalarda, enerji kaynakları fosil kaynaklardan yenilenebilir kaynaklara ve nükleer kaynaklara kaydırılmıştır. Bu değişim ile birlikte gelişme göstermesi beklenen nükleer teknoloji, hızlı reaktör, termonükleer ve termal reaktör safhalarını içerir. Gelişim sürecinin zirvesine doğru yönelmiş hızlı reaktör teknolojisi, sınırları karışmış olan bu safhaların ilkinin bitimine giderken, termonükleer reaktör füzyon teknolojisi ise gelişim sürecinin tamamlama aşamasındadır. Reaktör teknolojisinin ekonomik düzeye ulaşması için yaklaşık 10-30 yıllık bir periyot gerekmektedir (Greenspan and Miley 1981, Kulsinki et al. 1989, Şahin 1992, Szöke and Moir 1991).

Gelecek yıllarda füzyon olayının temeline dayanan termal reaktörlerin, dünya enerji üretiminin yarısını karşılaması düşünülmektedir. Mevcut bulunan reaktörler (fisyona dayalı veya konvansiyonel reaktörler) nükleer yakıt ihtiyaçlarını doğal uranyumdan karşılanmaktadır. Başka bir çözüm yolu bulunmadığı takdirde fisyon reaktörlerinin yakıt ihtiyaçlarının gelecekte karşılanamayacağı düşünülmektedir (Greenspan and Miley 1981; Kulsinki et al. 1989, Şahin 1992).

Füzyon reaktör teknolojisinin, nükleer yakıt gereksinimlerinin karşılanabilmesine dayalı olarak 20 veya 40 yıllık gelişme dönemine sahiptir. Bu da füzyon reaktör teknolojisi için sorun teşkil etmektedir. Üretilen yakıtın yeni hızlı reaktörlerde kullanılması, yukarıda bahsedilen sorun için gelecek yıllarda bir başka çözüm yolu bulunması gerekmektedir (Mynatt 1977, Doncals et al. 1985). Hızlı ve üretken reaktör sistemlerin, mevcut nükleer yakıttan farklı olarak yeni bir parçacık kaynağıyla çalıştırılması söz konusu olmaktadır. Bu kaynak termonükleer reaktörlerde füzyon reaksiyonlarından elde edilebilecek parçacıklarla, ağır çekirdeklerin parçalanması ile meydana gelen parçacıklarla ya da bir laser ile hedef çekirdeğe eklenen enerji ile elde edilen parçacıklarla sağlanabilir (Basov et al. 1990).

Günümüzdeki füzyon reaktörleriyle ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu, bu reaktörlerin yapısal malzemeleri hakkındadır. Farklı parçacıklarla yapı malzemelerinin bombardımanı sonucunda oluşan etkilerin araştırılması, bu reaktörlerinin zırhlanmasında oldukça önemlidir. Füzyon reaktörlerinde yapı malzemesi olarak kullanılan çeşitli çekirdekler bulunmaktadır. Üstün performansından ve düşük aktivasyonlarından dolayı V ve Fe alaşımları, yüksek sıcaklığa dayanıklı Nb, Ta, Cr, Mo, Ni ve alaşımları, Ti, Cu, Al ve alaşımları füzyon reaktörlerinde yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Gohar and Smith 2000, Markovskij et al. 2000, Zinkle and Ghoniem 2000, Çapalı ve ark. 2014).

Nikel (Ni) gümüşi beyaz, parlak ve korozyona dayanıklı bir metaldir. Nikel çekirdeğinin doğada ^{58}Ni % 68,077, ^{60}Ni % 26,223, ^{61}Ni % 1.140, ^{62}Ni % 3.634 ve ^{64}Ni % 0.926 olmak üzere 5 tane doğal izotopu bulunmaktadır. Nikel folyolar radyoizotop üretiminde ve nükleer analitik programlarında kullanılmaktadır. Nikel ve nikel içeren alaşımların paslanmaz çelik, mıknatıs, endüstriyel ve tüketici ürünleri gibi uygulama alanları bulunur. Nikel, yoğun radyasyon altında çalışan uzay ve nükleer donanımlarında önemli yapı malzemelerinden biri olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra hızlandırıcı ve nükleer teknolojide kullanılan önemli bir yapısal ve yüzey kaplama malzemesidir. Ayrıca, nikel aktivasyon verileri, ince tabaka aktivasyon analizi ve hızlandırıcı güdümlü sistemlerin tasarımı çalışmaları için ilgi çekicidir. Nikelin tıbbi açıdan önemi ise $^{60,61,62,64}\text{Cu}$ ve $^{55,56,57,58}\text{Co}$ radyonüklidlerin üretimi için, hedef malzeme olarak kullanılabilmesidir. Ayrıca, Ni çekirdeği ile alaşımları yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğundan füzyon reaktörlerinde yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. (Zinkle and Ghoniem 2000, Khandaker et al. 2011, Audi et al. 2003, Yvon and Carré 2009, Amjed et al. 2014). Bu sebeple, bu tez çalışmasında uyarılma fonksiyonları incelenen reaksiyonlarda hedef çekirdek olarak $^{58,60-62,64,\text{nat}}\text{Ni}$ çekirdekleri seçilmiştir.

Reaktörlerde nükleer reaksiyonlar gerçekleşirken yapı malzemelerinin dayanıklılıkları ile ilgili sorunlar meydana gelmektedir. Bu sorunları anlayabilmek ve çözebilmek için tesir kesitlerinin hesaplanması gerekmektedir. Teorik hesaplamaların yapılması, deneysel olarak meydana gelecek durumların belirlenebilmesi için önemlidir. Bilimsel olarak doğrulanmış teorik modeller ile hesaplanan tesir kesitleri, deneysel olarak elde edilemeyen eksiklikleri tamamlayabilir. Aynı zamanda bu hesaplamalarla elde edilen nükleer veriler, teorik çalışmalarda ve nükleer modellerin geliştirilmesi ile nükleer yapının araştırılması için de önem arz etmektedir (Çapalı ve ark. 2014).

Bu tez çalışmasının amacı, füzyon reaktörlerinde yapı malzemesi olarak kullanılan nikelin parçacık bombardımanı ile meydana gelen olası nükleer reaksiyonların tesir kesiti değerlerinin denge öncesi modellerle incelenmesidir. Bu amaç çerçevesinde, tezin ikinci bölümünde nükleer reaksiyonlar ve tesir kesiti ile ilgili açıklamalar yapılmıştır. Ayrıca, bu bölümde kullanılan denge öncesi modeller ve bilgisayar kodları hakkında bilgiler verilmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü, dördüncü ve beşinci bölümlerinin ilk kısımlarında sırasıyla $^{58,60-62,64}\text{Ni}$ (p,x), $^{58,60-62,64}\text{Ni}$ (n,x) ve $^{58,60-62,64}\text{Ni}$ (d,x) reaksiyonlarının uyarılma fonksiyonları TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile incelenerek gerekli açıklamalar ve yorumlar yapılmıştır. Ayrıca, bu bölümlerin ikinci kısımlarında doğal nikel ile oluşturulan $^{\text{nat}}\text{Ni}$ (p,x), $^{\text{nat}}\text{Ni}$ (n,x) ve $^{\text{nat}}\text{Ni}$ (n,x) reaksiyonlarının uyarılma fonksiyonları TALYS 1.8 programı kullanılarak incelenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Tez çalışmasının yedinci ve son bölümünde elde edilen sonuçlar yorumlanarak hesaplanan uyarılma fonksiyonları hakkında öneriler ve değerlendirilmeler yapılmıştır.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE METOT

2.1 NÜKLEER REAKSİYONLAR

Bir nükleer reaksiyonun meydana gelmesi reaktör veya hızlandırıcıdan (ya da radyoaktif bir kaynaktan) çıkan enerjik parçacıklar bir hedef üzerine düşürüldüğünde mümkün olabilir. Rutherford, laboratuvarında bir radyoaktif kaynaktan çıkan alfa parçacıkları kullanılarak ilk nükleer reaksiyonları gerçekleştirilmiştir. Rutherford' un yaptığı ilk deneylerin bazılarında alfa parçacıkları hedef çekirdekten elastik olarak geri saçılmaktaydı. Atom çekirdeğinin varlığı ile ilgili ilk delil olan bu olay Rutherford saçılması olarak bilinir. Genel bir nükleer reaksiyon;



biçiminde gösterilir. Burada a mermi parçacık (çekirdek), A hedef parçacık ve B ile b reaksiyon ürünleridir. B çekirdeği genellikle hedefte duran ve doğrudan gözlenmeyen ağır bir ürün çekirdek, b ise tespit edilebilen ve ölçülebilen hafif bir parçacıktır. Genel olarak a ve b nükleon veya hafif çekirdekler olabilir. Burada Q reaksiyon sonucu ortaya çıkan enerjidir. Q değeri, reaksiyona giren taraftaki atomik kütleler toplamı ile reaksiyon ürünlerinin atomik kütleleri toplamı arasındaki fark alınarak hesaplanır. Q değeri sıfırdan büyük ise dışarıya enerji çıkışı vardır ve reaksiyon ekzotermiktir. Eğer Q değeri sıfırdan küçük ise reaksiyon meydana gelebilmesi için dışarıdan enerji vermek gerekir ve reaksiyon endotermiktir. Çekirdek uyarılmış halde olduğunda Q için tek bir değer bulunamaz. Bu olay sonucunda, çekirdek normal hale gelebilmek için gama ışıınımı yapar ve bize çeşitli Q' lar arasındaki farkı açıklar (Krane 2002).

Nükleer reaksiyonlar direk, bileşik çekirdek ve rezonans reaksiyonları olmak üzere üçe ayrılırlar. Aşağıda bu üç reaksiyon türü açıklanmaktadır.

2.1.1 Direk Reaksiyonlar

Bu tip reaksiyonlarda, mermi parçacık ilk olarak çekirdek yüzeyindeki nükleonlarla daha sonra mermi parçacığının enerjisi arttıkça çekirdeğin içindeki nükleonlarla etkileşmeye başlar. Direk reaksiyonlarda birkaç nükleon reaksiyona katılır. Bu reaksiyonlar, ürün çekirdeğin farklı uyarılmış durumlara ulaşmasını ve çekirdeğin kabuk yapısının incelenmesini sağlar (Krane 2002).

Bir reaksiyonda, gelen parçacık çarpıştığı nükleona yeterince enerji aktarabilirse, çekirdekteki b nükleonu çekirdekten dışarıya atılabilir. Bu reaksiyonlara knock out reaksiyonu denir. Bu olay sonucunda, gelen parçacığın ne kadar enerji kaybettiği ile bağlantılı olarak iki durum gerçekleşebilir. İlk durum, çarpışmadan sonra gelen a mermisi çekirdekten kaçabilecek kadar yeterli enerjiye sahipse reaksiyon;



şeklinde gösterilebilir. Burada, A hedef çekirdeğinden b nükleonunun dışarıya atılmasından sonra kalan çekirdeği B temsil etmektedir. İkinci durum ise şu şekilde açıklanabilir; gelen parçacık o denli enerji kaybedebilir ki bu durumda b gibi bir çekirdeğin oluşumunda yer alacak biçimde hedef çekirdekten dışarıya çıkacak yeterince enerjiye sahip olmaz. Bu tür bir reaksiyon;



şeklinde gösterilebilir. Diğer direk reaksiyon tipleri soyma (stripping) ve yakalama (pick-up) reaksiyonlarıdır. Bu reaksiyonlarda, kompleks bir mermi parçacığının yapısındaki nükleonlardan bir tanesi soyabilir. Bu soyulan nükleon hedef çekirdek içerisinde kalır ve gelen kompleks parçacığa ait diğer nükleon ya da nükleonlar hedef çekirdekten dışarı çıkarlar. Bir merminin hedef çekirdekten başka bir nükleonu yakalaması ve bunu çekirdekten uzaklaştırması şeklinde olabilir veya bu işlemin tersi de gerçekleşebilir. Hedeften mermi çekirdeğe ya da mermiden

hedef çekirdeğe nükleon aktarımının olduğu bu reaksiyonlar transfer reaksiyonları olarak tanımlanmaktadır.

Diğer bir yakalama reaksiyon mekanizması, mermi çekirdeğin hedef ile birleşerek uyarılmış yeni bir çekirdek oluşturmasıyla gerçekleşir. Bu reaksiyonda oluşan ürün çekirdek kararlı hale gelebilmek için fazla enerjisini γ ışınları olarak yayınlar. Gerçekleşme ihtimali çok düşük olan iki çarpışan sistemin kırılması ve dağılmasıyla kendilerini oluşturan bileşenlere ayrışması ancak yeterli enerji sağlanabilirse mümkündür. Reaksiyon ürünlerinin fark edilebilir bir sayıda var olması halinde bu tür reaksiyonlar genellikle parçalanma (spallation) reaksiyonu olarak tanımlanır. Örneğin kompleks bir mermi çekirdek, $A(a,xy)B$ ile gösterilen bir parçalanma reaksiyonu gerçekleştirerek, $a = x + y$ olacak biçimde iki bileşene ayrılabilir. Bir reaksiyonun, direk reaksiyon ya da bileşik çekirdek reaksiyonu olması merminin enerjisine bağlıdır (Krane 2002, Satchler 1980).

2.1.2 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları

Gelen parçacık hedef çekirdek içerisinde veya oldukça düşük bir kabuk modeli seviyesinde bulunan bir nükleonla çarpışması durumunda, gelen ve çarptığı nükleon çekirdekten kaçacak yeterli enerjiye sahip olmayabilir ve çekirdek içerisinde bir dizi çarpışmalar gerçekleşebilir. Çekirdek içerisinde parçacıklardan birisinin, şans eseri çekirdekten kaçmaya yetecek enerjiye sahip olana kadar bu çarpışmalar devam edecektir. İlk olarak 1936'da Bohr tarafından tartışılan çekirdeğin gelen parçacığı yakaladıktan sonra birçok iç çarpışma işlemlerinin olduğu bu durum bileşik (compound) çekirdek olarak adlandırılmıştır. Çekirdeğin elektromanyetik radyasyon yayınlarak bu enerjiyi kaybetmesi bir diğer olasılıktır. Böyle bir reaksiyon denge ve denge-öncesi reaksiyon olarak iki basamaklı olarak göz önüne alınabilir. Denge reaksiyonu, bir bileşik sistemin tam bir termal veya istatistiksel dengeye ulaşması süresi sonunda parçacık yayınlanması esasına dayanır.

Bir direk reaksiyonun gerçekleşebilmesi için geçen zaman, bileşik çekirdek varlığını sürdürmesi için gereken zamandan çok daha kısadır. Örneğin bir direk reaksiyon 10^{-22} s gibi bir sürede gerçekleşirken, bileşik çekirdek 10^{-18} s ile 10^{-16} s arasında varlığını sürdürebilir. Bir bileşik çekirdek reaksiyonu; bileşik çekirdeğin oluşumu ve bozunumu biçiminde iki adımda temsil edilebilir. Sembolik olarak;

$$a + A \rightarrow C^* \rightarrow B + b \quad (2.4)$$

biçiminde gösterebiliriz. Burada, C^* uyarılmış bileşik çekirdeği temsil etmektedir. Bileşik çekirdek reaksiyonları, şiddetli çarpışmalara gereksinim duymadıklarından dolayı düşük enerjilerde (10-20 MeV) gözlenebilmektedir. Bileşik çekirdek reaksiyonlarının tesir kesitleri, direk reaksiyonlarla karşılaştırıldığında çok daha büyük değerlidir. Tesir kesitleri, nükleonlar arası etkileşim rastgele olduğundan açıyla fazla değişim göstermezler, gelen parçacığın yönüne hafifçe bağlıdır (Bayrak 1997, Artun 2015).

2.1.3 Rezonans Reaksiyonlar

Yukarıda anlatılan reaksiyon türleri haricinde direk reaksiyonlar ile bileşik çekirdek reaksiyonları arasında bulunan reaksiyonlar vardır. Bu reaksiyonlar rezonans reaksiyonları olarak adlandırılır. Birbirine çok yakın çok sayıda kesikli düzeyin sürekli bir spektrum gibi davranarak rezonans reaksiyonlarının oluşmasına imkan kıldığı durumlar mevcuttur. Rezonans durumu ancak belirli enerji değerlerinde gerçekleşebilir ve etkileşim potansiyelinin meydana getireceği dalgaların fazı ile genliği bariyer içi ve dışında yaklaşık aynıdır. Ağır-iyon reaksiyonlarında genellikle nükleon başına 10 MeV civarında bir enerji söz konusudur. Bu reaksiyonların en önemli karakteristiği yüksek açısal momentumun gözlenmesidir (Satchler 1980).

2.2 NÜKLEER REAKSİYON TESİR KESİTLERİ VE UYARILMA FONKSİYONU

Reaksiyon oluşumunun bağıl olasılığının bir ölçüsü, tesir kesiti olarak tanımlanır ve barn (b) ile gösterilir. Farklı gelme enerjilerinde hesaplanan tesir kesitleri ile oluşturulan fonksiyonlar, uyarılma fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. Elde edilen veya hesaplanan tesir kesiti değerleri ile hızlandırıcılarla üretilen radyoizotop miktarı hesaplanabilir. Ayrıca, uyarılma fonksiyonu ile hedefteki diğer radyoizotopların kontaminasyon seviyesi de belirlenebilir. Birbirlerine doğru gelen iki küre sadece birbirlerine değerse nükleer reaksiyon gerçekleşir. Reaksiyon olasılığı kürelerin yüzey alanları ile orantılıdır. Hedef alanlarının boyutu yaklaşık 10^{-24} cm^2 (1 barn = 10^{-24} cm^2) kadardır. Nükleer reaksiyonların gerçekleşebilmesi için dikkate alınması gereken bir başka etken ise mermi parçacıkların enerjileridir. Bir mermi parçacığın enerjisi çekirdeğin coulomb engelini aşmak için yeterli değerde değilse ve reaksiyonun enerjisi

Q değerini aşmak için gereken enerjiden düşük ise (tünelleme olayı hariç) nükleer reaksiyon meydana gelmez (Deconinck 1978).

2.3 DENGİ-ÖNCESİ REAKSİYON MODELLERİ

Çok uzun etkileşme süresine sahip olan bileşik çekirdek reaksiyonları ile çok kısa etkileşme süresine sahip direk reaksiyonların açıklamaları sınırlıdır. Deneyler, direk ve birleşik çekirdek reaksiyonlarından farklı bir reaksiyonun olduğunu göstermektedir. Bu reaksiyonlara denge öncesi (Precompound, pre-equilibrium) reaksiyon denir. Denge öncesi reaksiyon mekanizmasında parçacıkların salınması, uyarma enerjisi tüm nükleonların denge haline gelmeden önce meydana gelir. Bu reaksiyonda parçacıklar iki parçacık veya çekirdeğin çarpışarak bir birleşik sistem oluşturup ve bu sistemin tam bir termal ya da istatistik dengeye ulaşması arasında geçen süre içerisinde yayınlanırlar. Bu tür reaksiyonların oluşum süresi yaklaşık 10^{-18} s' dir. Denge öncesi reaksiyonda, teorik olarak gelen hafif parçacıkların enerjisi 5 MeV' den 100 MeV' e kadar oluşturulan nükleer reaksiyonlarda önemlidir (Griffin 1966, Luider 1978, Gupta et al. 1985, Rizvi et al. 1987, Bayrak 1997, Tel 2000, Ergün ve Kaplan 2014).

2.3.1 Hibrid (Melez) Model

Hibrid model çekirdek durumlarını, uyarılmış parçacık ve deşik olarak tanımlar. Ayrıca, bu model tek parçacık durumlarını eşit aralıklı yerleşim olarak kabul eder.

Bu modelde mermi parçacık, ilk başta hedef çekirdekle $1p-0h$ durumu meydana getirir. Daha sonra, mermi parçacık hedef nükleonla etkileştiğinde $2p-1h$ durumu oluşturur. Böylece iki cisim etkileşmeleri daha fazla parçacık-deşik çifti oluşmasını sağlar. Bu model meydana gelen bütün nükleer durum için parçacıkların uyarılma enerjilerinin dağılımını hesaplamamıza yardımcı olur. Fermi enerjisinin üzerinde bulunan, ϵ_i enerjili tek parçacık durumundaki uyarılmış parçacığın bulunma ihtimalini gösterir. Bütün parçacıkların uyarılma enerjileri için, yeni parçacık-deşik oluşumuna bağlı olarak kısmi parçacık yayınlanma oranları hesaplanır. İlk olarak $2p-1h$ olasılığı ile başlanır ve sırasıyla durumların hepsi düşünülür. Parçacık yayınlanmasındaki her bir süreç denge öncesi spektrumuna katkı sağlarlar. Bu olay, parçacıklar denge sistemindeki en uygun eksiton sayısına ulaşınca kadar sürer. Reaksiyonun denge kısmında, standart bir bileşik çekirdek modeli hesabı ile sürdürülür. Bunu takiben nükleer

dengede, sadece uyarılmış parçacıklar ve deşikler önemlidir. Parçacık yayınlanma oranlarını incelerken tek tek parçacıkların uyarılma enerjileri önem kazanır. Bu sadece kapalı tip hesaplamalar için geçerlidir. Hibrid modelde mermi olarak kompleks parçacıklar kullanılabilir (Blann 1971, Cline 1972).

Gelen parçacık hedef nükleonla etkileştiğinde parçacık-deşik çifti oluşumuna meydana gelen bu modelde, denge öncesi bozunmadan bahsedilebilir. Bu bozunma,

$$P_v(\varepsilon) = \sum_{\Delta n=1}^N \left[\frac{n\chi_v N_n(\varepsilon, U)}{N_n(E)} \right] \rho d\varepsilon \left[\frac{\lambda_c(\varepsilon)}{\lambda_c(\varepsilon)} + \lambda_+(\varepsilon) \right] D_n \quad (2.5)$$

$$\frac{d\sigma(\varepsilon)}{d\varepsilon} = \sigma_R P_v(\varepsilon) \quad (2.6)$$

şeklindeki master denklemi ile ifade edilir. $P_v(\varepsilon)$ $d\varepsilon$ enerjisi ε ile $\varepsilon+d\varepsilon$ arasında olan parçacıkların (nötron ve proton) sayısı, n ; denge konumundaki en olası eksiton sayısı, $n\chi_v$; bir n exciton durumundaki parçacıkların sayısı, E ; bileşik sisteminin eksiton enerjisi, $N(\varepsilon, U)$; bir exciton ε kanal enerjisiyle yayınlandığında kalan çekirdeğin $U = E - Bv - \varepsilon$ exciton enerjisinin diğer $n - 1$ excitonları arasında paylaşılacak şekilde n eksitonun uygun bir biçimde düzenlenme sayısı, $N_n(E)$; exciton enerjisinde n parçacık artı deşik ($n = p + h$) toplam birleşen sayısı, $\lambda_c(\varepsilon)$; bir parçacığın (ε) kanal enerjisiyle sürekli bölgeye yayınlanma hızı, $\lambda_+(\varepsilon)$; ε enerjili bir parçacığın çekirdek içi geçiş hızı, D_n ; bir n eksiton sürecindeki başlangıç popülasyon kesiti, σ_R ; reaksiyon tesir kesiti, ρ ; tek-parçacık düzey yoğunluğunu ifade eder. Yukarıda 2.5 denklemindeki köşeli parantez içindeki nicelik, sürekli bölge enerjisi ε ile $\varepsilon + d\varepsilon$ arasında olan parçacık sayısını verir. İkinci parantez içindeki ifade ise, sürekli bölgeye geçiş hızının toplam geçiş hızına oranı verir (Aydın et al. 2007).

2.3.2 Geometri Bağımlı Hibrid Model (GDH)

Yarı-klasik modeller, denge öncesi yayınlanan parçacıkların enerji spektrumlarını inceler ve tutarsızlıklar oluşur. Tutarsızlıkların tekrar çözülmesiyle, nükleer yoğunluk dağılımının sonucu ve önemi görülmektedir. Hibrid modelin tekrar formüle edilmesiyle reaksiyonun geometri bağımlılığı, kısmi parametreler için etki parametrelerinde temel alınmaktadır. Reaksiyonda $\lambda/2\pi$ kalınlık, küresel kabuk biçimli bölgede her bir kısmi dalgaların katkıları ile etki

parametreleri tarafından yarıçapın tanımlandığı kabul edilmektedir. Nükleer yüzeydeki etkileşmeleri bu modelde tanımlanacak ve geometri bağımlı hibrid model olarak isimlendirilmektedir (Chiba et al. 1996, Blann 1972). Geometri bağımlı hibrid model, kısmi dalgaların toplamını içeren model olarak tanımlanır. İlk parçacık-parçacık çarpışmasının parçacık yoğunluğunun dağılımının etkilerinin toplamında uygun denge öncesi model parametreleri, parçacık açısal yoğunluğu ile giren parçacık yörüngelerinin ortalamasına karşılık gelmektedir (Avriganu et al. 2002).

Geometri Bağımlı Hibrid Model, nükleer oluşumun içerisinde çekirdek-çekirdek saçılmasını içeren eksiton denkleminin bir türüdür. Bu model Blann ve Vonach tarafından;

$$P_v(\varepsilon) = \sum_{\Delta n=+2}^n [n\chi_v N_n(\varepsilon, U) / N_n(E)] \rho d\varepsilon [\lambda_c(\varepsilon) / \lambda_c(\varepsilon) + \lambda_+(\varepsilon)] D_n \quad (2.7)$$

$$\frac{d\sigma(\varepsilon)}{d\varepsilon} = \sigma_R P_v(\varepsilon) \quad (2.8)$$

$$\frac{d\sigma(\varepsilon)}{d\varepsilon} = \pi\lambda^2 \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) T_l P_v(l, \varepsilon) \quad (2.9)$$

olarak tanımlanmıştır. Denklem 2.7 kullanılan, σ_R ; reaksiyon tesir kesiti, $n\chi_v$; n exciton durumundaki (proton veya nötron) sayısı $P_v(\varepsilon)d\varepsilon$; ε ile $\varepsilon + d\varepsilon$ enerjileri arasında yayınlanan parçacıkların (proton veya nötron) sayısını gösterir. Bu modelde, tesir kesiti ile birlikte parçacık-deşik durum yoğunluğu da önemlidir. Parçacık-çekirdek oluşumunun nükleer yüzeye bağımlılığından dolayı sürekli bölgedeki enerjilerde küçük bir değişiklik meydana gelir. Hibrid Model' den ayrıldığı nokta, dışarı salınacak olan parçacığın ve soğurulan parçacığın açısal katkısında değişiklik olmasıdır (Blann 1975, Rizvi et al. 1987, Kaplan ve ark. 2009, Şarer ve ark. 2009).

2.3.3 İki Bileşenli Eksiton Model

Denge öncesi reaksiyonların ilk başarılı teorisi eksiton model, tüm reaksiyonların açılı integrali tesir kesitleri ve yayınlanan parçacığın enerji spektrumunu hesaplayabilmektedir. Nükleer

reaksiyonlar da eksiton model bir reaksiyonu çok adımlı olarak tanımlar. Eksiton modelde durumların farklı sınıfları eksiton sayıları yani parçacık boşluk sayıları olarak karakterize edilir. Eksiton model ve diğer denge öncesi modeller, proton ve nötron ayırımı yapmadan tek bileşenli formül yapısına sahiptirler. Yayılan parçacıkların spektrumlarını hesaplarken proton ve nötron ayırımı yapılmalıdır. Tek bileşenli formülde proton ve nötron ayrımcılığı ve iki bileşenli Pauli master denklemi bu problemin cevabını vermektedir (Dobeš ve Běták 1983). Bu modelde sistemin gelişmesi, master denklem ile tanımlanabilir.

$$\frac{d\sigma_k^{PE}}{dE_k} = \sigma^{CF} \sum_{p_\pi=p_\pi^0}^{p_\pi^{max}} \sum_{p_\nu=p_\nu^0}^{p_\nu^{max}} W_k(p_\pi, h_\pi, p_\nu, h_\nu, E_k) \tau(p_\pi, h_\pi, p_\nu, h_\nu) P(p_\pi, h_\pi, p_\nu, h_\nu) \quad (2.10)$$

σ^{CF} ; bileşik çekirdeğin tesir kesiti, W_k ; emisyon oranı ve τ ise eksiton durumunun ortalama ömrünü verir. P faktörü; ilk ve son eksiton durumundan kalan parçacık sayısını tanımlar. İlk proton sayısı $p_\pi^0 = Z_p$ ve ilk nötron sayısı $p_\nu^0 = Z_n$ dir. Reaksiyon sürecinde herhangi bir eksiton durumunda $h_\pi = p_\pi - p_\pi^0$ ve $h_\nu = p_\nu - p_\nu^0$ proton ve nötron için deşik sayıdır. Proton eksiton sayısı; $n_\pi = p_\pi + h_\pi$, nötron excitation sayısı $n_\nu = p_\nu + h_\nu$ ve deşik (hole) sayısı; $h = h_\pi + h_\nu$ olarak verilmektedir (Koning and Duijvestijn 2004, Koning et al. 2015).

2.4 DENGİ-ÖNCESİ REAKSİYON MODELLERİ İLE UYARILMA FONKSİYONLARI HESAPLAMALARINDA KULLANILAN BİLGİSAYAR KODLARI

Bu tez çalışmasında bilgisayar kodları kullanılarak nikelin doğal izotopları ve doğal nikel proton, nötron ve döteron ile bombardıman edilmiş ve oluşan reaksiyonların denge öncesi reaksiyon tesir kesitleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar EXFOR (Experimental Nuclear reaction Data) veri tabanındaki mevcut tesir kesiti değerleri ile karşılaştırılarak yorumlar yapılmıştır. Bu tez çalışmasında denge-öncesi reaksiyon modellerinin hesaplamalarını sağlayan programlar TALYS 1.8 ve ALICE/ASH kodlarıdır. TALYS 1.8 kodu ile iki bileşenli eksiton modeli, ALICE/ASH kodu ile hibrid ve geometri bağımlı hibrid model hesaplanmıştır. Denge-öncesi modellere tesir kesiti hesaplamalarında kullanılan bilgisayar kodları hakkında bilgi aşağıda verilmiştir.

2.4.1 ALICE/ASH Bilgisayar Kodu

ALICE/ASH bilgisayar kodu denge öncesi modelleri olan hibrid ve geometri bağımlı hibrid (GDH) modelleri ve denge modelleri kullanarak uyarılma fonksiyonu hesaplamaktadır. Bu kod 300 MeV enerjiye kadar gönderilen parçacıklarla oluşturulan nükleer reaksiyonlarda yayılan parçacıkların açısal ve enerjiye bağlı dağılımlarını hesaplayarak toplam tesir kesitini veren ve FORTRAN programlama dili kullanarak yazılmış bir koddur (Broeders et al. 2006).

2.4.2 TALYS 1.8 Bilgisayar Kodu

FORTTRAN programlama dili kullanarak yazılan TALYS 1.8 bilgisayar kodu direk, bileşik çekirdek, denge-öncesi ve fisyon reaksiyonları için geliştirilmiş nükleer reaksiyon modellerini içeren 0.001-200 MeV enerji aralığında ve $12 < A < 339$ kütle numarası aralığında nükleer reaksiyon hesabı yapabilen bir bilgisayar kodudur. Kısmi ve toplam diferansiyel tesir kesiti, enerji spektrumu, açısal dağılımlar, çift-diferansiyel spektrum sonuçları verebilen çok geniş kapsamlı bir koddur (Koning et al. 2015).

BÖLÜM 3

NİKEL ÇEKİRDEĞİNİN ÜZERİNE GELEN PROTON İLE OLUŞTURULAN DENG-ÖNCESİ REAKSİYONLARIN İNCELENMESİ

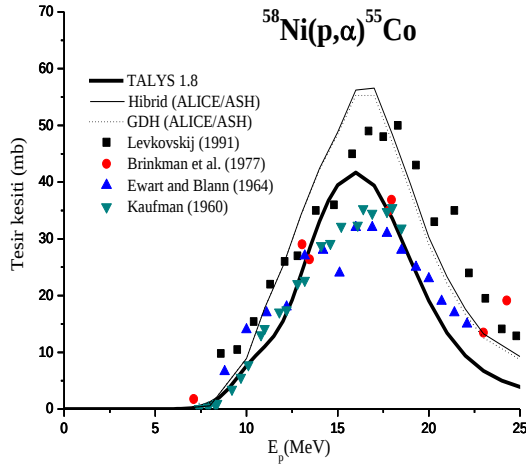
Bölüm 1’ de denklem (1)-(7) ile verilen temel füzyon reaksiyonları göz önüne alındığında bu reaksiyonlar sonucu oluşan ürün parçacık protonların maksimum enerjisi 14,7 MeV’ dir. Bu sebeple $^{58,60-62,64,\text{nat}}\text{Ni}$ (p,x) reaksiyonlarının uyarılma fonksiyonları 14,7 MeV proton gelme enerjisini kapsayacak şekilde hesaplanmıştır.

3.1 NİKEL ÇEKİRDEĞİNİN DOĞAL İZOTOPLARI ÜZERİNE GELEN PROTON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ

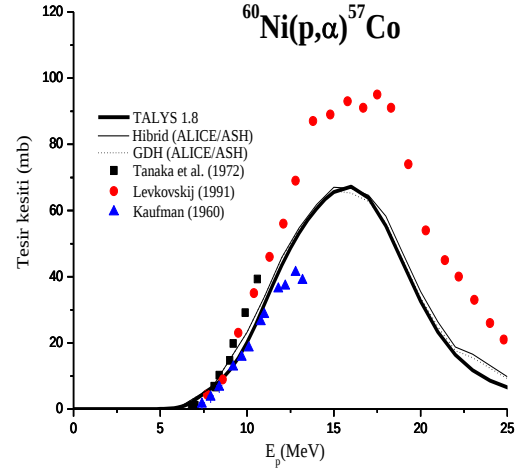
Hedef nikel çekirdeğinin doğal izotopları üzerine proton parçacıklarının gönderildiği $^{58,60-62,64}\text{Ni}$ (p,x) reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH kodları ile uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler EXFOR (Experimental Nuclear reaction Data) veri tabanındaki mevcut sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

3.1.1 $^{58,60,61,64}\text{Ni}$ (p, α) Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları

Nikel çekirdeğinin doğal izotoplarının hedef çekirdek, mermi parçacık olarak proton içeren $^{58}\text{Ni}(p,\alpha)^{55}\text{Co}$, $^{60}\text{Ni}(p,\alpha)^{57}\text{Co}$, $^{61}\text{Ni}(p,\alpha)^{58}\text{Co}$ ve $^{64}\text{Ni}(p,\alpha)^{61}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları kullanılarak uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır, Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 ile sunulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 3.1 a) $^{58}\text{Ni}(p,\alpha)^{55}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{60}\text{Ni}(p,\alpha)^{57}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

Şekil 3.1 ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(p,\alpha)^{55}\text{Co}$ ve $^{60}\text{Ni}(p,\alpha)^{57}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile hesaplanan proton gelme enerjisinde (E_p) en yüksek tesir kesitleri ve optimum enerji aralıkları Tablo 3.1’ de sunulmuştur.

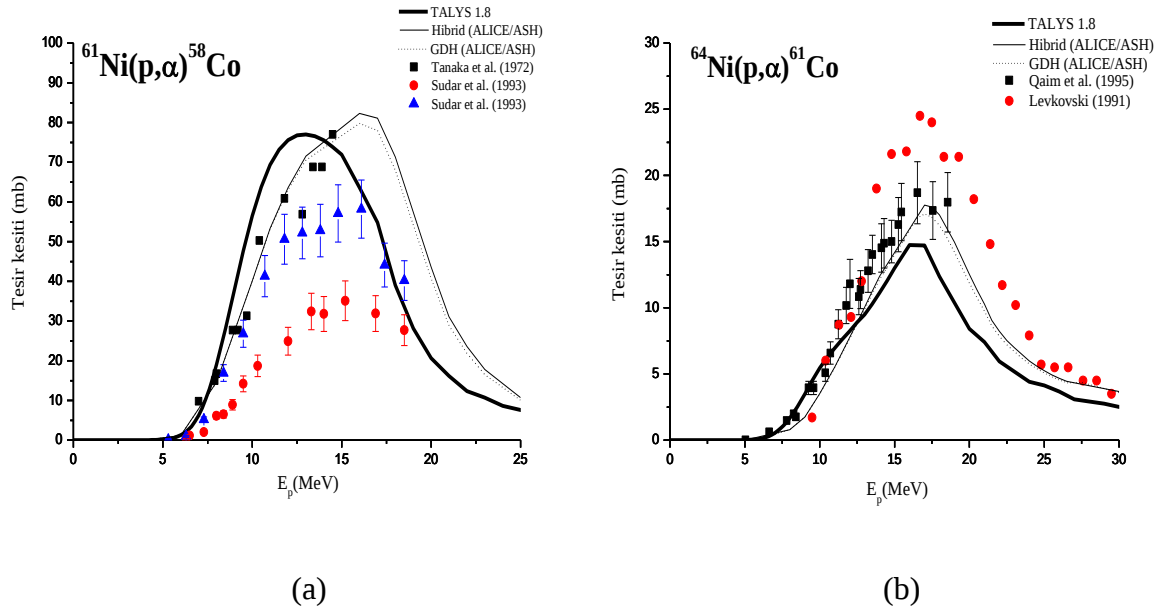
Tablo 3.1 $^{58}\text{Ni}(p,\alpha)^{55}\text{Co}$ ve $^{60}\text{Ni}(p,\alpha)^{57}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.

	E_p (MeV)/En Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)			Optimum Enerji Aralıkları (MeV)		
Reaksiyon	TALYS 1.8	Hibrid	GDH	TALYS 1.8	Hibrid	GDH
$^{58}\text{Ni}(p,\alpha)^{55}\text{Co}$	16/41,7	16/56,2	16/55,2	15-17	15-17	15-17
$^{60}\text{Ni}(p,\alpha)^{57}\text{Co}$	16/67,3	16/67,3	16/67,3	14,5-17,5	14,5-17,5	14,5-17,5

Şekil 3.1 (a) ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(p,\alpha)^{55}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında Brinkman et. al. (1977), Ewart and Blann (1964), Kaufman (1960)’ nın verilerinin TALYS 1.8 koduyla hesaplanan sonuçlarla yakın olduğu görülmektedir. Levkovskij (1991)’ in deneysel sonuçları optimum enerji aralığı seviyesinde ALICE/ASH kodu sonuçlarından daha düşük değerli

olmasına rağmen şekil olarak uyumludur. Ayrıca $^{58}\text{Ni}(p,\alpha)^{55}\text{Co}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{55}Co , 17,53 saat yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

$^{60}\text{Ni}(p,\alpha)^{57}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, Tanaka et al. (1972)' un verileri hem TALYS 1.8 kodunun sonuçlarından hem de ALICE/ASH kodunun sonuçlarından optimum enerji aralığı seviyesinde büyük değerli olmasına rağmen her iki program sonuçları ile davranış olarak uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 3.1 b). Levkovskij (1991) ve Kaufman (1960)' ın deneysel sonuçları teorik hesaplamalara yakındır. Ayrıca $^{60}\text{Ni}(p,\alpha)^{57}\text{Co}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{57}Co , 271,74 gün yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).



Şekil 3.2 a) $^{61}\text{Ni}(p,\alpha)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{64}\text{Ni}(p,\alpha)^{61}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

Şekil 3.2 ile gösterilen $^{61}\text{Ni}(p,\alpha)^{58}\text{Co}$ ve $^{64}\text{Ni}(p,\alpha)^{61}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile hesaplanan proton gelme enerjisinde (E_p) en yüksek tesir kesitleri ve optimum enerji aralıkları Tablo 3.2' de sunulmuştur.

Tablo 3.2 $^{61}\text{Ni}(p,\alpha)^{58}\text{Co}$ ve $^{64}\text{Ni}(p,\alpha)^{61}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.

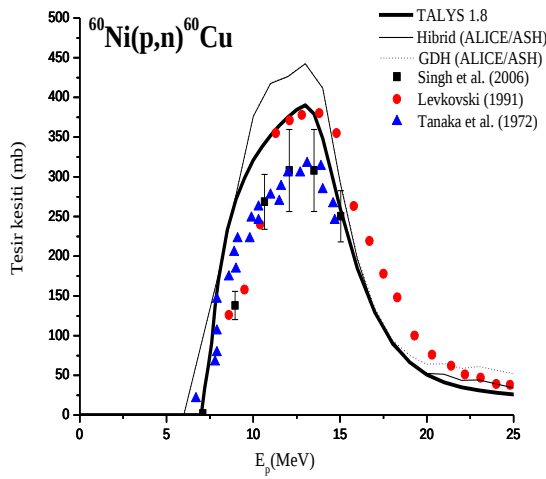
	E_p (MeV)/En Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)			Optimum Enerji Aralıkları (MeV)		
Reaksiyon	TALYS 1.8	Hibrid	GDH	TALYS 1.8	Hibrid	GDH
$^{61}\text{Ni}(p,\alpha)^{58}\text{Co}$	13/76,9	16/82,2	16/79,2	11,5-14,5	15-18	15-18
$^{64}\text{Ni}(p,\alpha)^{61}\text{Co}$	14,7/16	17,5/17,6	17/17	16,5-18	15,5-18	15,5-18

Şekil 3.2 (a) ile gösterilen $^{61}\text{Ni}(p,\alpha)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında Tanaka et. al. (1972)' un verileri ALICE/ASH kodu sonuçları ile yakındır. Sudar et al' un iki farklı deneysel verileri bu çalışmadaki teorik sonuçlardan düşük olmasına rağmen TALYS 1.8 kodunun sonuçlarıyla uyumlu bir şekil oluşturduğu görülmektedir (Sudar et. al. 1993). $^{61}\text{Ni}(p,\alpha)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{58}Co , 70,86 gün yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

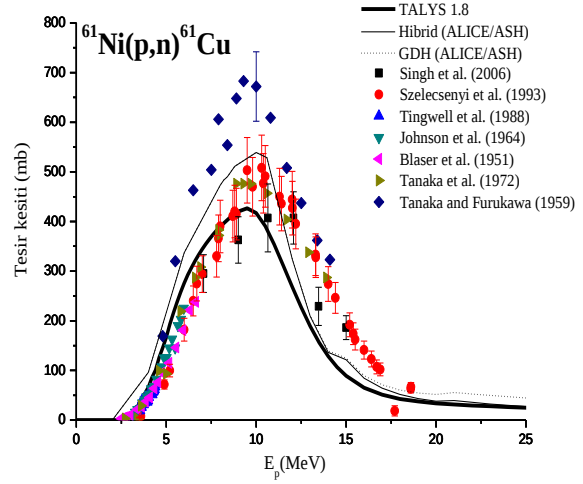
$^{64}\text{Ni}(p,\alpha)^{61}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, optimum enerji aralığı seviyesinde Levkovski (1991)' nin değerleri bu çalışmadaki teorik hesaplamalardan büyük olmasına rağmen şekil olarak uyumludur (Şekil 3.2 b). Qaim et. al. (1995)' un verileri ALICE kodunun sonuçlarıyla yakındır. $^{64}\text{Ni}(p,\alpha)^{61}\text{Co}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{61}Co , 1,65 saat yarı ömürlüdür ve β yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

3.1.2 $^{60,61,62,64}\text{Ni}(p,n)$ Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları

Ni çekirdeğinin doğal izotoplarının hedef çekirdek, mermi parçacık olarak proton içeren $^{60}\text{Ni}(p,n)^{60}\text{Cu}$, $^{61}\text{Ni}(p,n)^{61}\text{Cu}$, $^{62}\text{Ni}(p,n)^{62}\text{Cu}$ ve $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları kullanılarak uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 ile sunulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 3.3 a) $^{60}\text{Ni}(p,n)^{60}\text{Cu}$ reaksiyonun uyarılma fonksiyonları. b) $^{61}\text{Ni}(p,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonun uyarılma fonksiyonları.

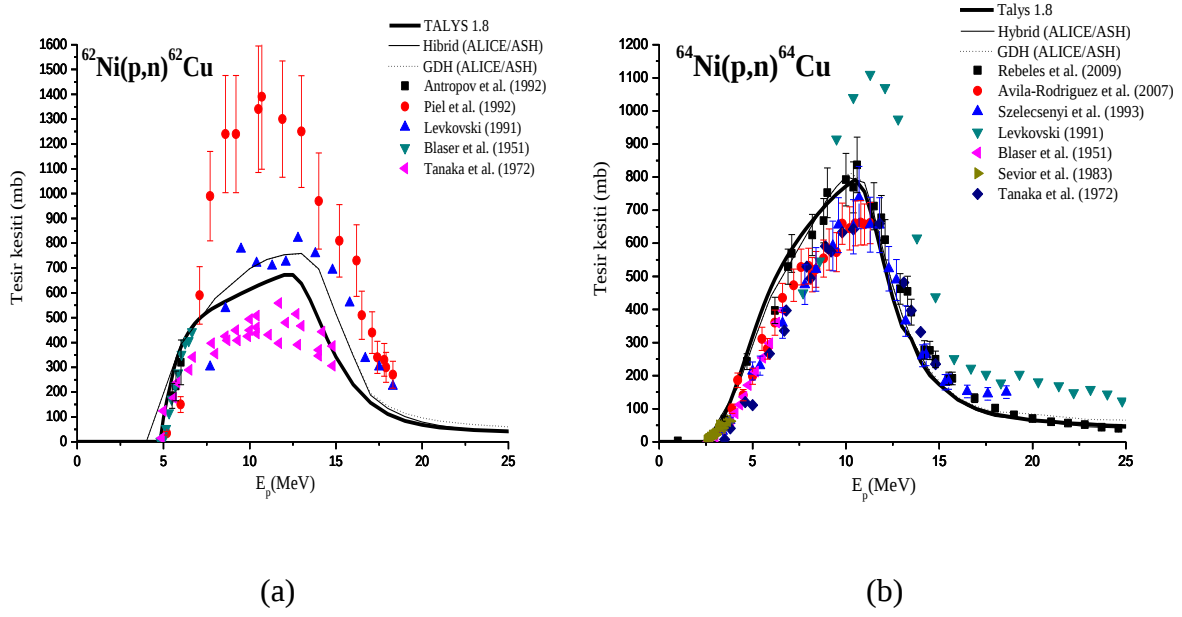
Şekil 3.3 ile gösterilen $^{60}\text{Ni}(p,n)^{60}\text{Cu}$ ve $^{61}\text{Ni}(p,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile hesaplanan proton gelme enerjisinde (E_p) en yüksek tesir kesitleri ve optimum enerji aralıkları Tablo 3.3’ de sunulmuştur.

Tablo 3.3 a) $^{60}\text{Ni}(p,n)^{60}\text{Cu}$ ve $^{61}\text{Ni}(p,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.

	E_p (MeV)/En Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)			Optimum Enerji Aralıkları (MeV)		
Reaksiyon	TALYS 1.8	Hibrid	GDH	TALYS 1.8	Hibrid	GDH
$^{60}\text{Ni}(p,n)^{60}\text{Cu}$	13/390,2	12/426	12/426	12-14	11-14	11-14
$^{61}\text{Ni}(p,n)^{61}\text{Cu}$	9,5/426,1	10/539,1	10/539,1	8,5-10,5	9-11	9-11

Şekil 3.3 (a) ile gösterilen $^{60}\text{Ni}(p,n)^{60}\text{Cu}$ reaksiyonun uyarılma fonksiyonlarında Levkovski (1991)’ nin verileri TALYS 1.8 kodu sonuçlarıyla yakındır. Tanaka et al. (1972) ve Singh et al. (2006)’ un elde ettiği deneysel sonuçlar hem TALYS 1.8 sonuçlarından hem de ALICE/ASH sonuçlarından düşük olmasına rağmen her iki program sonuçlarıyla davranış olarak uyumlu olduğu görülmektedir. $^{60}\text{Ni}(p,n)^{60}\text{Cu}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{60}Cu , 23,7 dakika yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

$^{61}\text{Ni}(p,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonun uyarılma fonksiyonlarında, Tanaka and Furukawa (1959)'nın verileri optimum enerji aralığı seviyesinde hem TALYS 1.8 kodunun sonuçlarından hem de ALICE/ASH kodunun sonuçlarından daha büyük değerlidir (Şekil 3.3 b). Deneysel verilerin teorik hesaplamalarla uyumlu bir davranış sergilediği görülmektedir (Singh et. al. 2006, Szelecsenyi et. al. 1993, Tingwell et. al. 1988, Johnson et. al. 1964, Blaser et. al. 1951, Tanaka et. al. 1972, Tanaka and Furukawa 1959). Ayrıca $^{61}\text{Ni}(p,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{61}Cu , 3,33 saat yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).



Şekil 3.4 a) $^{62}\text{Ni}(p,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonun uyarılma fonksiyonları. b) $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$ reaksiyonun uyarılma fonksiyonları.

Şekil 3.4 ile gösterilen $^{62}\text{Ni}(p,n)^{62}\text{Cu}$ ve $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile hesaplanan alfa gelme enerjisinde (E_p) en yüksek tesisir kesitleri ve optimum enerji aralıkları Tablo 3.4' de sunulmuştur.

Tablo 3.4 $^{62}\text{Ni}(p,n)^{62}\text{Cu}$ ve $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.

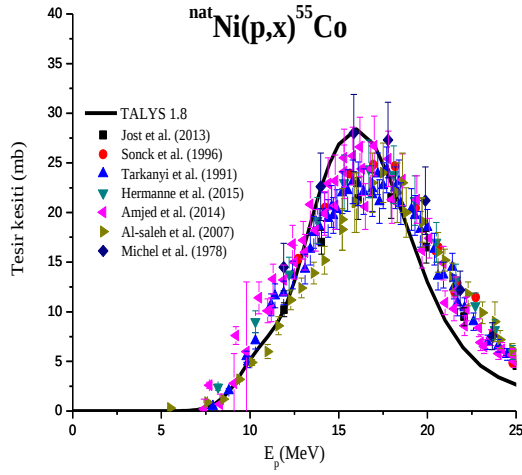
	E _p (MeV)/E _n Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)			Optimum Enerji Aralıkları (MeV)		
Reaksiyon	TALYS 1.8	Hibrid	GDH	TALYS 1.8	Hibrid	GDH
$^{62}\text{Ni}(p,n)^{62}\text{Cu}$	12/672,1	13/758	13/758	11-13,5	11-14	11-14
$^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$	10,5/692	10/801	10/801	9-11	9-11	9-11

Şekil 3.4 (a) ile gösterilen $^{62}\text{Ni}(p,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında Piel et. al. (1992)' un verileri bu çalışmadaki teorik hesaplamalardan daha büyük değerli olmasına rağmen teorik hesaplamalarla şekil olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Levkovski (1991)' nin deneysel değerleri ALICE/ASH kodu sonuçları ile yakındır. Tanaka et. al. (1972)' un verileri bu çalışmadaki teorik hesaplamalardan düşük değerli olmasına rağmen davranış olarak uyumludur. Antropov et. al. (1972) ve Blaser et. al. (1951)' un verileri düşük enerjilerde hem TALYS 1.8 kodu hem de ALICE/ASH kodunun sonuçları ile yakındır. Ayrıca $^{62}\text{Ni}(p,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{62}Cu , 9,67 dakika yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

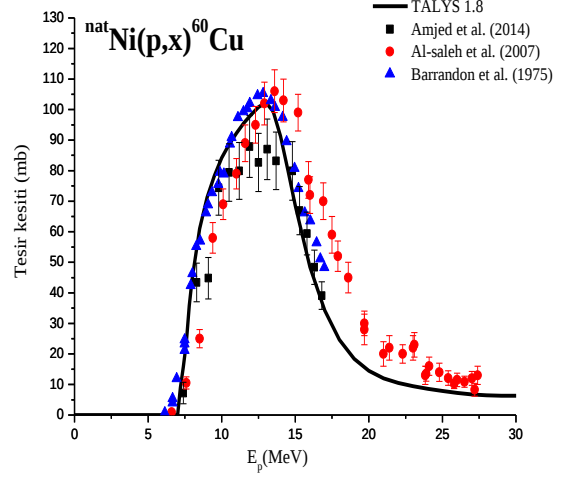
$^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, Levkovski (1991)' nin verileri bu çalışmadaki teorik hesaplamalardan daha büyük değerli olmasına rağmen şekil olarak uyumludur. Rebeles et. al. (2009)' un sonuçlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH kodu sonuçlarıyla oldukça yakın olduğu görülmektedir (Şekil 3.4 b). Avila-Rodriguez et al. (2007) ve Szelecsenyi et al. (1993)' deneysel verileri bu çalışmadaki teorik hesaplamalarla uyum içindedir. Ayrıca $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{64}Cu , 12,7 saat yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

3.2 DOĞAL NİKEL ÜZERİNE GELEN PROTON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ

Bu çalışmada hedef doğal nikelin üzerine proton parçacıklarının gönderildiği $^{nat}\text{Ni}(p,x)$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 kodu ile uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır (Şekil 4.4-4.5). Elde edilen değerler EXFOR veri tabanındaki mevcut sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



(a)

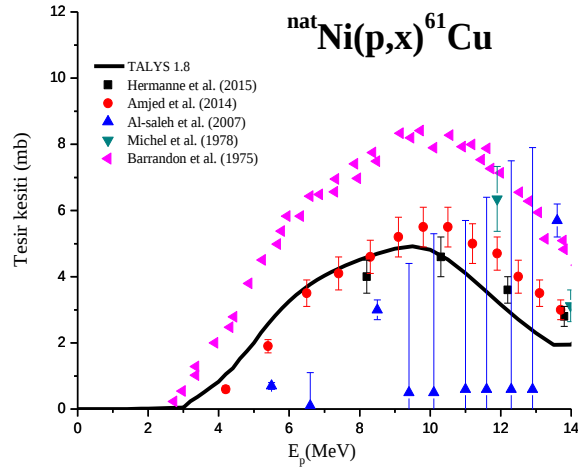


(b)

Şekil 3.5 a) $^{nat}\text{Ni}(p,x)^{55}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu. b) $^{nat}\text{Ni}(p,x)^{60}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu.

Şekil 3.5 (a) ile gösterilen $^{nat}\text{Ni}(p,x)^{55}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonunda, TALYS 1.8 koduyla hesaplanan en yüksek tesisir kesiti değeri 16 MeV proton gelme enerjisinde 28,3 mb' dır. Bu reaksiyon için yapılan hesaplamalara göre optimum enerji aralığı 15,5 MeV ile 17 MeV arasındadır. Deneysel verilerin TALYS 1.8 koduyla hesaplanan uyarılma fonksiyonundaki optimum enerji aralığında, daha düşük değerli olduğu ve TALYS 1.8 kodunun sonuçlarıyla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir (Michel et al. 1978, Tarkanyi et al. 1991, Snock et al. 1996, Al-saleh et al. 2007, Jost et al. 2013, Amjed et al. 2014, Hermanne et al. 2015).

Şekil 3.5 (b) ile gösterilen $^{nat}\text{Ni}(p,x)^{60}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonunda, TALYS 1.8 koduyla hesaplanan en yüksek tesisir kesiti değeri 13 MeV proton gelme enerjisinde 102,3 mb' dır. Bu uyarılma fonksiyonunda yapılan hesaplamalara göre optimum enerji aralığı 12,5 MeV ile 13,5 MeV arasındadır. Deneysel verilerin TALYS 1.8 kodu sonuçları uyumlu olduğu görülmektedir (Barrandon et al. 1975, Al-saleh et al. 2007, Amjed et al. 2014).



Şekil 3.6 $^{nat}\text{Ni}(p,x)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu.

$^{nat}\text{Ni}(p,x)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu Şekil 3.6 ile gösterilmiştir. Bu uyarılma fonksiyonu hesaplanan en yüksek tesisir kesiti değeri 9,5 MeV proton gelme enerjisinde 4,9 mb’ dır. TALYS 1.8 koduyla yapılan hesaplamalarda optimum enerji aralığı 8 MeV ile 10,5 MeV arasındadır. Al-saleh et al. (2007)’ un verileri TALYS 1.8 kodunun sonuçlarıyla farklılık göstermiştir. Barrandon et al. (1975)’ un verilerinin teorik hesaplamalardan oldukça yüksek değerli çıktığı görülmektedir. TALYS 1.8 kodu sonuçları ile Hermanne et al. (2015) ve Amjed et al. (2014)’ un deneysel verileri uyum içerisinde.

BÖLÜM 4

NİKEL ÇEKİRDEĞİNİN DOĞAL İZOTOPLARI ÜZERİNE GELEN NÖTRON İLE OLUŞTURULAN DENGE-ÖNCESİ REAKSİYONLARIN İNCELENMESİ

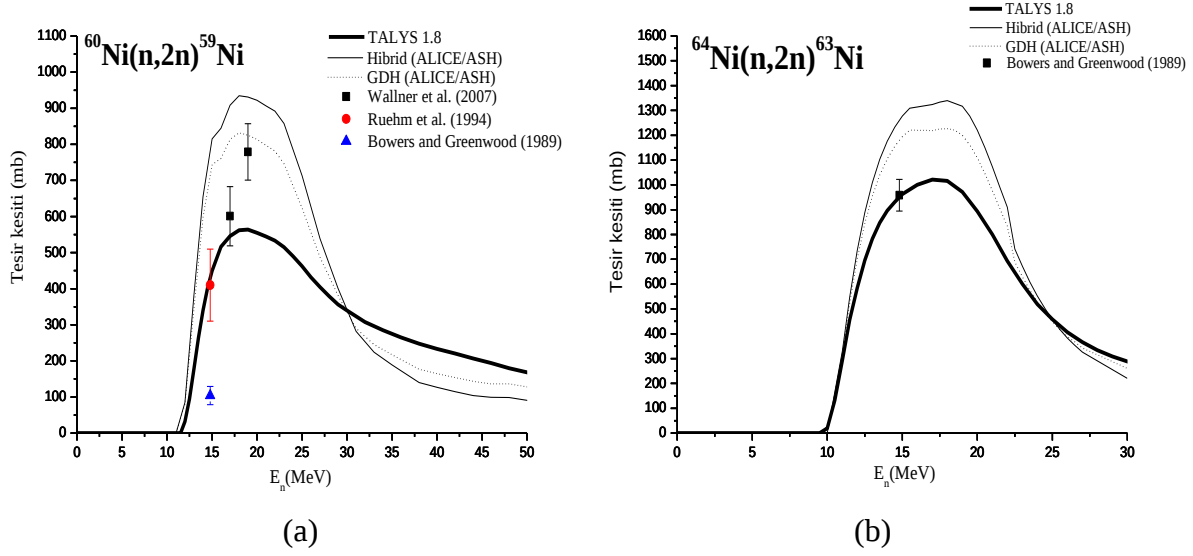
Bölüm 1’ de verilen temel füzyon reaksiyonları denklem (1)-(7) göz önüne alındığında bu reaksiyonlar sonucu oluşan ürün parçacık nötronların maksimum enerjisi 14,1 MeV’ dir. Bu sebeple $^{58,60-62,64}_{\text{nat}}\text{Ni}(n,x)$ reaksiyonlarının uyarılma fonksiyonları 14,1 MeV nötron gelme enerjisini kapsayacak şekilde hesaplanmıştır.

4.1 NİKEL ÇEKİRDEĞİNİN DOĞAL İZOTOPLARI ÜZERİNE GELEN NÖTRON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ

Hedef nikel çekirdeğinin doğal izotopları üzerine proton parçacıklarının gönderildiği $^{58,60-62,64}\text{Ni}(n,x)$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH kodları ile uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler EXFOR veri tabanındaki mevcut sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

4.1.1 $^{60,64}\text{Ni}(n,2n)$ Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları

Nikel çekirdeğinin doğal izotoplarının hedef çekirdek, mermi parçacık olarak nötron içeren $^{60}\text{Ni}(n,2n)^{59}\text{Ni}$ Ve $^{64}\text{Ni}(n,2n)^{63}\text{Ni}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları kullanılarak uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır ve Şekil 4.1 ile sunulmuştur.



Şekil 4.1 a) $^{60}\text{Ni}(n,2n)^{59}\text{Ni}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{64}\text{Ni}(n,2n)^{63}\text{Ni}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

Şekil 4.1 ile gösterilen $^{60}\text{Ni}(n,2n)^{59}\text{Ni}$ ve $^{64}\text{Ni}(n,2n)^{63}\text{Ni}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile nötron gelme enerjisinde (E_n) en yüksek tesir kesitleri ve optimum enerji aralıklar Tablo 4.1’ de sunulmuştur.

Tablo 4.1 $^{60}\text{Ni}(n,2n)^{59}\text{Ni}$ ve $^{64}\text{Ni}(n,2n)^{63}\text{Ni}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.

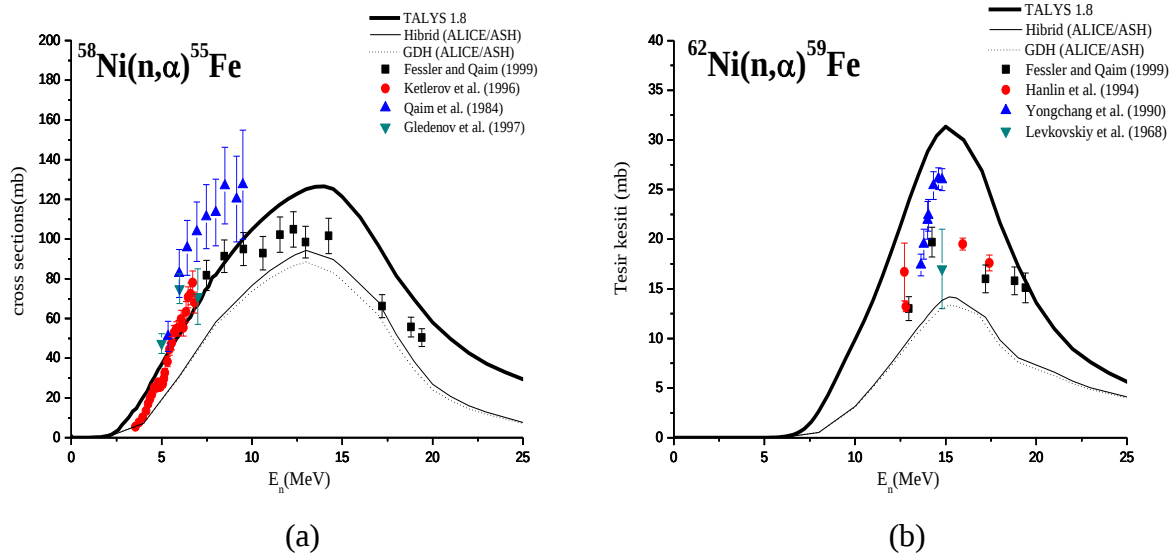
	E_n (MeV)/ E_n Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)			Optimum Enerji Aralıkları (MeV)		
Reaksiyon	TALYS 1.8	Hibrid	GDH	TALYS 1.8	Hibrid	GDH
$^{60}\text{Ni}(n,2n)^{59}\text{Ni}$	19/563,6	18/934,4	18/832	16,5-22	16,5-22	16,5-21,5
$^{64}\text{Ni}(n,2n)^{63}\text{Ni}$	17/1226,8	18/1339,5	18/1226,8	15-19,5	15-19	15-19

Şekil 4.1 (a) ile gösterilen $^{60}\text{Ni}(n,2n)^{59}\text{Ni}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, Ruehm et al. (1994)’ un verileri TALYS 1.8 kodu sonuçlarına yakındır. Wallner et al. (2007)’ un deneysel sonuçları teorik hesaplamalarla uyumlu değildir. Ayrıca $^{60}\text{Ni}(n, 2n)^{59}\text{Ni}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{59}Ni , 101 ky yarı ömürlüdür ve elektron yayınlarak bozunur (Audi et al. 2003).

$^{64}\text{Ni}(n,2n)^{63}\text{Ni}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında Bowers and Greenwood (1989)' verileri TALYS 1.8 sonuçları ile uyum içindedir (Şekil 4.1 b). Ayrıca $^{64}\text{Ni}(n,2n)^{63}\text{Ni}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{63}Ni , 100,1 yıl yarı ömürlüdür ve β yayınlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

4.1.2 $^{58,62,64}\text{Ni}(n,\alpha)$ Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları

Nikel çekirdeğinin doğal izotoplarının hedef çekirdek, mermi parçacık olarak nötron içeren $^{58}\text{Ni}(n,\alpha)^{55}\text{Fe}$, $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$ ve $^{64}\text{Ni}(n,\alpha)^{61}\text{Fe}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları kullanılarak uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile sunulmuştur.



Şekil 4.2 a) $^{58}\text{Ni}(n,\alpha)^{55}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

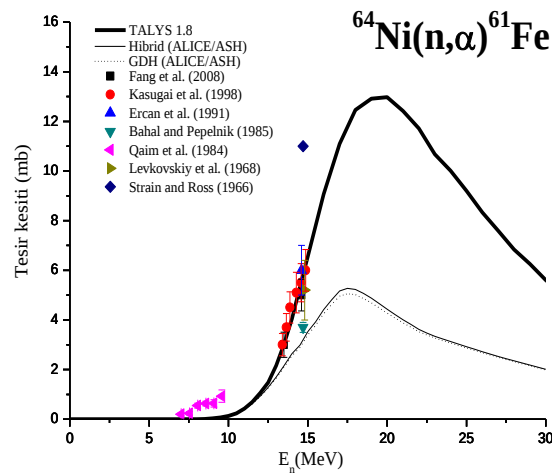
Şekil 4.2-4.3 ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(n,\alpha)^{55}\text{Fe}$, $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$ ve $^{64}\text{Ni}(n,\alpha)^{61}\text{Fe}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları nötron gelme enerjisinde (E_n) en yüksek tesir kesitleri ve optimum enerji aralıkları veriler Tablo 4.2' de sunulmuştur.

Tablo 4.2 $^{58}\text{Ni}(n,\alpha)^{55}\text{Fe}$, $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$ ve $^{64}\text{Ni}(n,\alpha)^{61}\text{Fe}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.

Reaksiyon	E _n (MeV)/E _n Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)			Optimum Enerji Aralıkları (MeV)		
	TALYS 1.8	Hibrid	GDH	TALYS 1.8	Hibrid	GDH
$^{58}\text{Ni}(n,\alpha)^{55}\text{Fe}$	14/126,5	13/94,3	13/88,4	16,5-22	12-14,5	12-14,5
$^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$	15/31,3	15,2/14,1	15,2/13,3	14-16	14-17	14-17
$^{64}\text{Ni}(n,\alpha)^{61}\text{Fe}$	20/12,9	17,5/5,2	17,5/5	18-22	17-19	17-19

Şekil 4.2 (a) ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(n,\alpha)^{55}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, Fessler and Qaim (1999)' in verileri ALICE/ASH kodunun sonuçlarıyla yakındır. Qaim et al. (1984)' un verileri bu çalışmadaki teorik hesaplamalardan daha büyük değerli olmasına rağmen TALYS 1.8 kodu sonuçlarıyla uyumlu bir şekil oluşturmuştur. Ketrolov et al. (1996) ve Gledenov et al. (1977) verileri düşük enerjilerde TALYS 1.8 ile yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca $^{58}\text{Ni}(n,\alpha)^{55}\text{Fe}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{55}Fe , 2,73 yıl yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

Şekil 4.2 (b) ile gösterilen $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında deneysel veriler teorik hesaplamalarla uyumlu değildir (Levkovskiy et al. 1968, Yongchang et al. 1990, Hanlin et al. 1994, Fessler and Qaim 1999). $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{59}Fe , 44,49 gün yarı ömürlüdür ve β yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

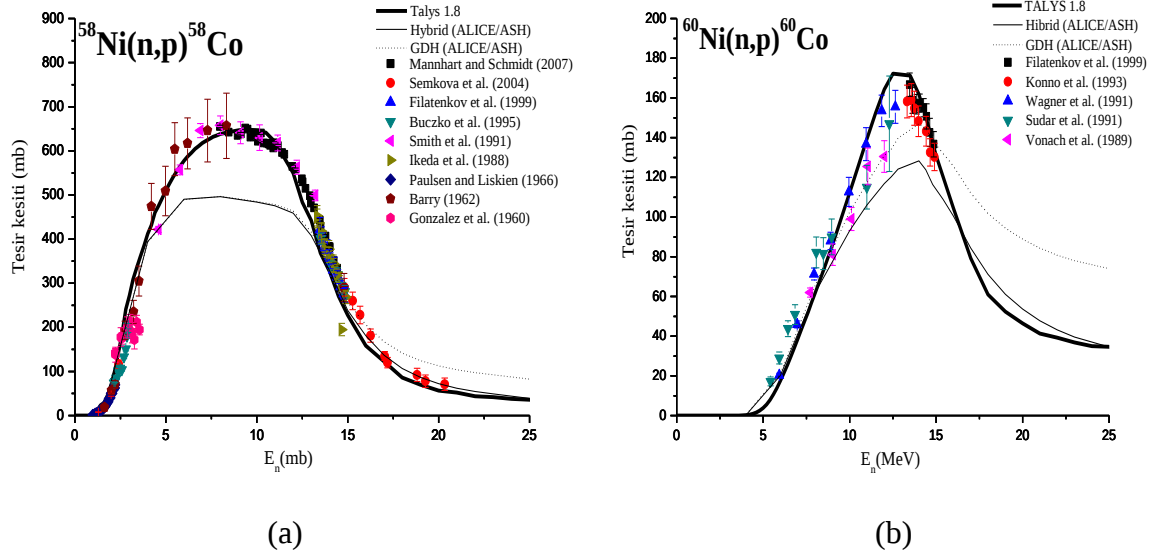


Şekil 4.3 $^{64}\text{Ni}(n,\alpha)^{61}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

$^{64}\text{Ni}(n,\alpha)^{61}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında deneysel veriler TALYS 1.8 kodu ile elde edilen sonuçlarla uyumludur (Strain and Ross, Levkovskiy 1968, Qaim et al. 1984, Bahal and Pepelnik 1985, Ercan et al. 1991, Fang et al. 2008). $^{64}\text{Ni}(n,\alpha)^{61}\text{Fe}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{61}Fe , 5,98 dakika yarı ömürlüdür ve β yayınlı olarak bozunur (Audi et al. 2003).

4.1.3 $^{58,60,61,62}\text{Ni}(n,p)$ Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları

Nikel çekirdeğinin doğal izotoplarının hedef çekirdek, mermi parçacık olarak nötron içeren $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$, $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$, $^{61}\text{Ni}(n,p)^{61}\text{Co}$ ve $^{62}\text{Ni}(n,p)^{62}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları kullanılarak uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 ile sunulmuştur.



Şekil 4.4 a) $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

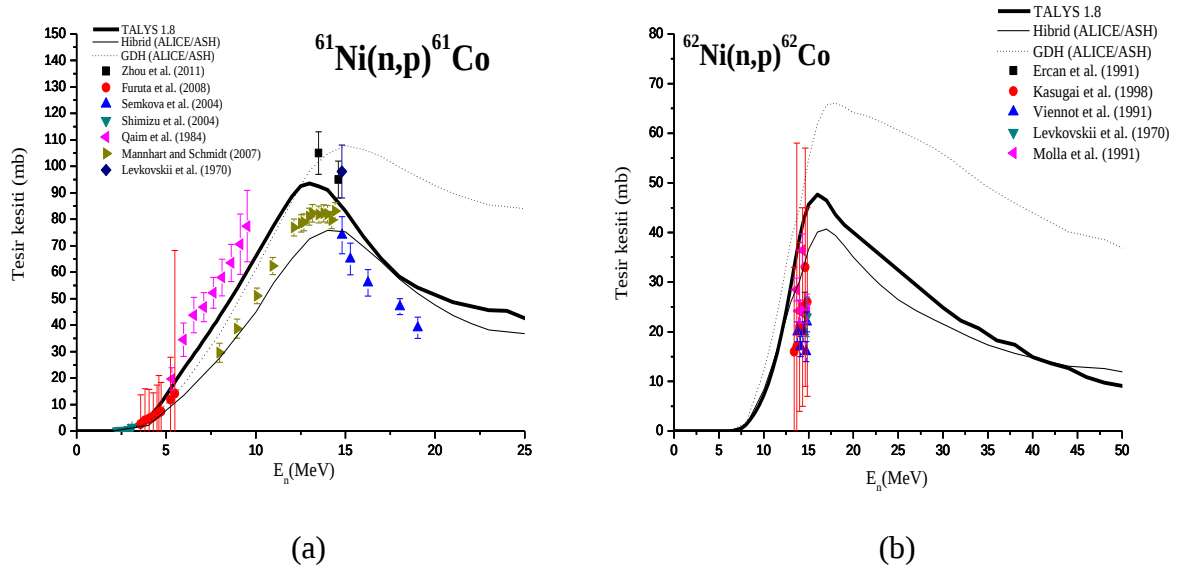
Şekil 4.4 ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ ve $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile hesaplanan nötron gelme enerjisinde (E_n) en yüksek tesir kesitleri ve optimum enerji aralıkları Tablo 4.3' de sunulmuştur.

Tablo 4.3 $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ ve $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.

	E_α (MeV)/En Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)			Optimum Enerji Aralıkları (MeV)		
Reaksiyon	TALYS 1.8	Hibrid	GDH	TALYS 1.8	Hibrid	GDH
$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$	9,5/648	8/496,3	8/496,3	6,5-12,5	6-12,5	6-12,5
$^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$	13/172,2	14/128,2	14/147	12-14	13-15	13-15

Şekil 4.4 (a) ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında deneysel verilerin TALYS 1.8 kodunun sonuçlarıyla oldukça yakın olduğu görülmektedir (Gonzalez et al. 1960, Barry 1962, Paulsen and Liskien 1966, Ikeda et al. 1988, Smith et al. 1991, Buczko et al. 1995, Filatenkov et al. 1999, Semkova et al. 2004, Mannhart and Schmidt 2007). $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{58}Co , 70,86 gün yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

Şekil 4.4 (b) ile gösterilen $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında deneysel verilerin TALYS 1.8 kodunun sonuçlarıyla yakın olduğu görülmektedir (Filatenkov et al. 1999; Konno et al. 1993; Wagner et al. 1991; Sudar et al. 1991; Vonach et al. 1989). $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{60}Co , 5,27 yıl yarı ömürlüdür ve β yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).



Şekil 4.5 a) $^{61}\text{Ni}(n,p)^{61}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{62}\text{Ni}(n,p)^{62}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

Şekil 4.5 ile gösterilen $^{61}\text{Ni}(n,p)^{61}\text{Co}$ ve $^{62}\text{Ni}(n,p)^{62}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile hesaplanan nötron gelme enerjisinde (E_n) en yüksek tesir kesitleri ve optimum enerji aralıkları Tablo 4.4’ de sunulmuştur.

Tablo 4.4 $^{61}\text{Ni}(n,p)^{61}\text{Co}$ ve $^{62}\text{Ni}(n,p)^{62}\text{Co}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.

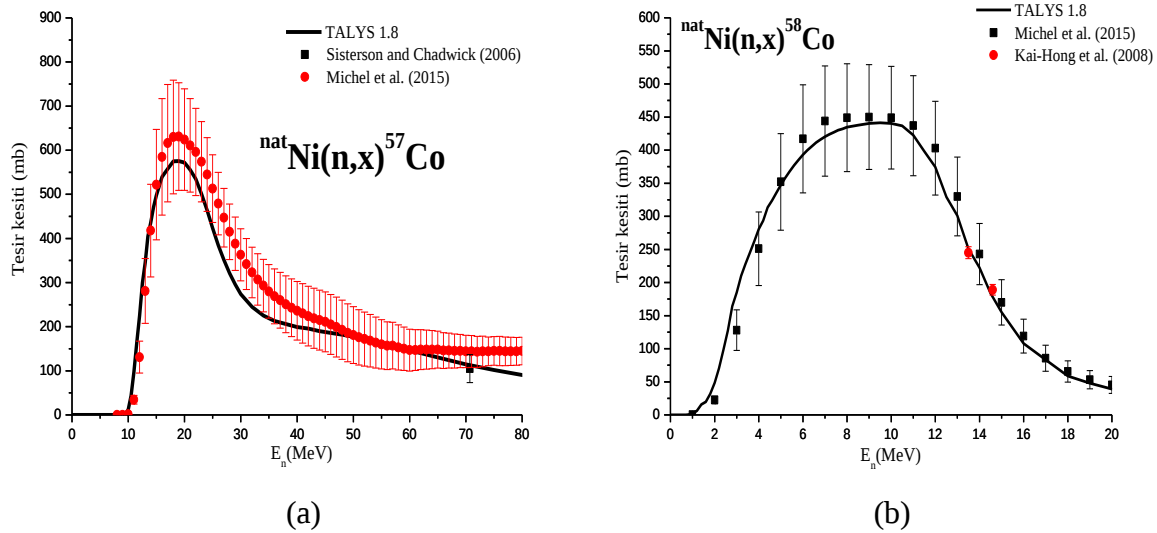
	E_n (MeV)/En Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)			Optimum Enerji Aralıkları (MeV)		
Reaksiyon	TALYS 1.8	Hibrid	GDH	TALYS 1.8	Hibrid	GDH
$^{61}\text{Ni}(n,p)^{61}\text{Co}$	13/93,5	14/75,81	15/107,8	12-14	13-15,5	14-17
$^{62}\text{Ni}(n,p)^{62}\text{Co}$	16/47,6	17/40,6	18/66	15-17	15,5-17,5	16,5-20,5

Şekil 4.5 (a) ile gösterilen $^{61}\text{Ni}(n,p)^{61}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, Qaim et al. (1984)’ un verileri bu çalışmadaki teorik hesaplamalarla yakındır. Mannhart and Schmidt (2007)’ nin verilerinin TALYS 1.8 sonuçları ile hibrid model sonuçları davranış olarak uyumludur (Şekil 4.5 a). Ayrıca $^{61}\text{Ni}(n, p)^{61}\text{Co}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{61}Co , 1,65 saat yarı ömürlüdür ve β yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

Şekil 4.5 (b) ile gösterilen $^{62}\text{Ni}(n,p)^{62}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, deneysel veriler teorik hesaplamalarla uyumlu değildir (Levkovskii et al. 1970, Ercan et al. 1991, Molla et al. 1991, Viennot et al. 1991, Kasugai et al. 1998). Ayrıca $^{62}\text{Ni}(n,p)^{62}\text{Co}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{62}Co , 1,5 dakika yarı ömürlüdür ve β yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

4.2 DOĞAL NİKEL ÜZERİNE GELEN NÖTRON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ

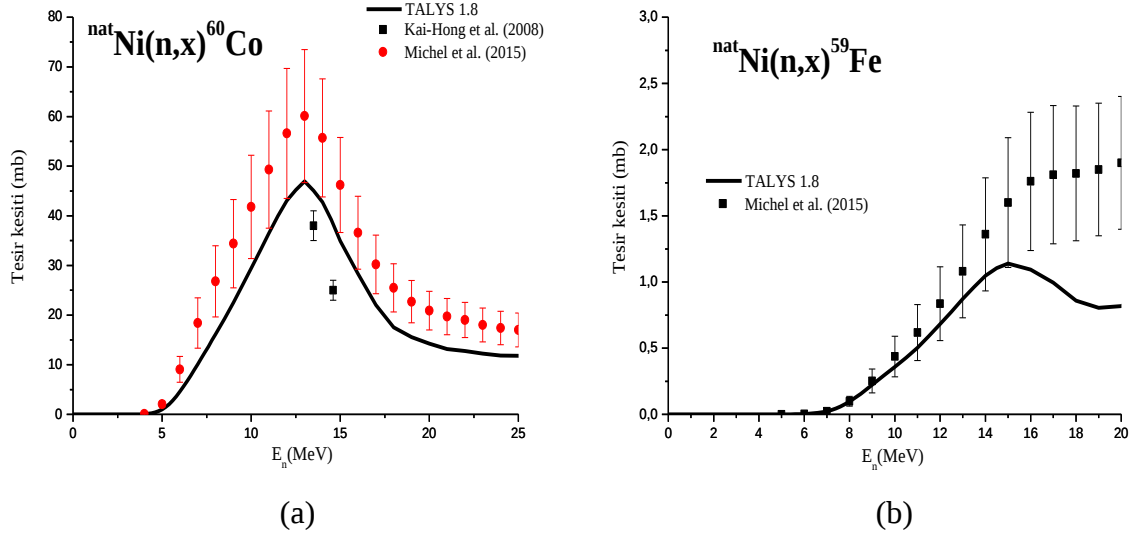
Bu çalışmada hedef doğal nikelin üzerine n parçacıklarının gönderildiği $^{\text{nat}}\text{Ni}(n,x)$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 kodu ile uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler EXFOR (Experimental Nuclear reaction Data) veri tabanındaki mevcut sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.6 a) $^{\text{nat}}\text{Ni}(n,x)^{57}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu. b) $^{\text{nat}}\text{Ni}(n,x)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu.

$^{\text{nat}}\text{Ni}(n,x)^{57}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu Şekil 4.6 (a) ile gösterilmiştir. Bu uyarılma fonksiyonunda hesaplanan en yüksek tesir kesiti değeri 19 MeV nötron gelme enerjisinde 575,5 mb' dır. TALYS 1.8 koduyla elde edilen sonuçlarda optimum enerji aralığı 17 MeV ile 20,5 MeV arasındadır. Sisterson and Chadwick (2006)' in değerleri TALYS 1.8 kodu sonuçları ile oldukça yakındır. Michel et al. (2015)' un verileri bu çalışmadaki teorik hesaplamalardan daha büyük değerli olup, teorik hesaplamalar ile şekil olarak uyumlu olduğu görülmektedir.

Şekil 4.6 (b) ile gösterilen $^{nat}\text{Ni}(n,x)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonunda, TALYS 1.8 koduyla hesaplanan en yüksek tesir kesiti değeri 9,5 MeV nötron gelme enerjisinde 441,1 mb' dır. Bu uyarılma fonksiyonunda hesaplamalara göre optimum enerji aralığı 7 MeV ile 11 MeV arasındadır. Deneyisel verilerin, TALYS 1.8 kodu sonuçları ile oldukça yakın değerli olduğu görülmektedir (Michel et al. 2015, Kai-Hong et al. 2008).



Şekil 4.7 a) $^{nat}\text{Ni}(n,x)^{60}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu. b) $^{nat}\text{Ni}(n,x)^{59}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu.

$^{nat}\text{Ni}(n,x)^{60}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu Şekil 4.7 (a) ile gösterilmiştir. Bu uyarılma fonksiyonunda hesaplanan en yüksek tesir kesiti değeri 13 MeV nötron gelme enerjisinde 46,9 mb' dır. TALYS 1.8 koduyla yapılan hesaplamalarda optimum enerji aralığı 12 MeV ile 13 MeV arasındadır. Michel et al. (2015)' un verileri teorik hesaplamalardan daha büyük değerli olduğu ve teorik hesaplamalar ile davranış olarak oldukları görülmektedir. Kai-Hong et al. (2008)' deneyisel sonuçları TALYS 1.8 kodu ile elde edilen sonuçlara göre daha düşüktür.

$^{nat}\text{Ni}(n,x)^{59}\text{Fe}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu Şekil 4.7 (b) ile gösterilmiştir. Bu uyarılma fonksiyonunda hesaplanan en yüksek tesir kesiti değeri 15 MeV nötron gelme enerjisinde 1,13 mb' dır. TALYS 1.8 koduyla yapılan hesaplamalarda optimum enerji aralığı 14,5 MeV ile 16 MeV arasındadır. Michel et al. (2015)' un verileri TALYS 1.8 kodu ile elde edilen sonuçlardan daha büyük değerli olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 5

NİKEL ÇEKİRDEĞİ ÜZERİNE GELEN DÖTERON İLE OLUŞTURULAN DENGELİ- ÖNCESİ REAKSİYONLARIN İNCELENMESİ

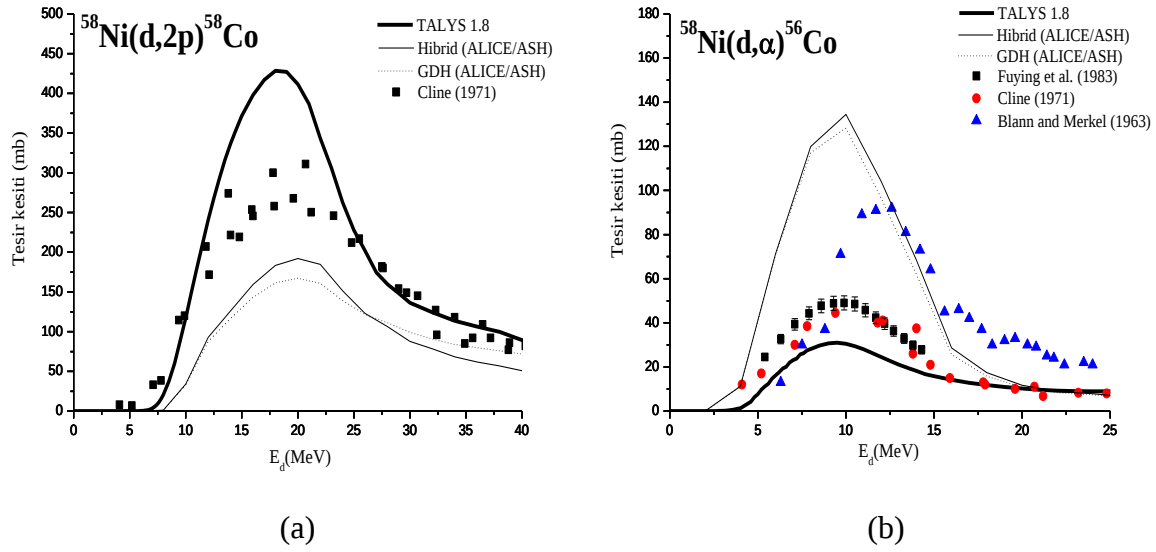
Bölüm 1’ de verilen temel füzyon reaksiyonları denklem (1)-(7) göz önüne alındığında bu reaksiyonlar sonucu oluşan ürün parçacık döteronların maksimum enerjisi 9,8 MeV’ dir. Bu sebeple $^{58,60-62,64,\text{nat}}\text{Ni}(d,x)$ reaksiyonlarının uyarılma fonksiyonları 9,8 MeV döteron gelme enerjisini kapsayacak şekilde hesaplanmıştır.

5.1 NİKEL ÇEKİRDEĞİNİN DOĞAL İZOTOPLARI ÜZERİNE GELEN DÖTERON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ

Hedef nikel çekirdeğinin doğal izotopları üzerine döteron parçacıklarının gönderildiği reaksiyonların TALYS 1.8 ve ALICE/ASH kodları ile uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler EXFOR veri tabanındaki mevcut sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

5.1.1 $^{58}\text{Ni}(d,2p)^{58}\text{Co}$, $^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$ ve $^{64}\text{Ni}(d,p)^{65}\text{Ni}$ Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları

Nikel çekirdeğinin doğal izotoplarının hedef çekirdek, mermi parçacık olarak döteron içeren $^{58}\text{Ni}(d,2p)^{59}\text{Ni}$, $^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$ ve $^{64}\text{Ni}(d,p)^{65}\text{Ni}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları kullanılarak uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 ile sunulmuştur.



Şekil 5.1 a) $^{58}\text{Ni}(d,2p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

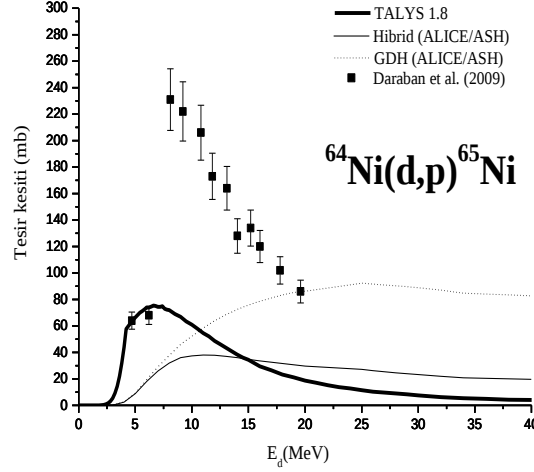
Şekil 5.1-5.2 ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(d,2p)^{59}\text{Ni}$, $^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$ ve $^{64}\text{Ni}(d,p)^{65}\text{Ni}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile hesaplanan döteron gelme enerjisinde (E_d) en yüksek tesir kesitleri ve optimum enerji aralıkları Tablo 5.1’de sunulmuştur.

Tablo 5.1 $^{58}\text{Ni}(d,2p)^{59}\text{Ni}$, $^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$ ve $^{64}\text{Ni}(d,p)^{65}\text{Ni}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.

	E_d (MeV)/En Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)			Optimum Enerji Aralıkları (MeV)		
Reaksiyon	TALYS 1.8	Hibrid	GDH	TALYS 1.8	Hibrid	GDH
$^{58}\text{Ni}(d,2p)^{58}\text{Co}$	18/428,3	20/192,1	20/167	17-20	18-22	18-22
$^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$	9,5/31	10/134,5	10/128,2	8-11	8,5-10,5	8,5-10,5
$^{64}\text{Ni}(d,p)^{65}\text{Ni}$	6,6/75,3	11/38	25/92,2	6-7,5	9-13	9-13

Şekil 5.1 (a) ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(d,2p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, Cline, (1971)’ in verileri TALYS 1.8 kodunun sonuçlarından daha düşük, ALICE/ASH kodunun sonuçlarından daha büyük değerli olduğu görülmektedir. Ayrıca $^{58}\text{Ni}(d,2p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{58}Co , 78,86 gün yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

Şekil 5.1 (b) ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, Fuying et al. (1983) ve Cline (1971)'nin verileri TALYS 1.8 sonuçlarıyla davranış olarak uyumlu oldukları görülmektedir. Blann and Merkel (1963)'in deneysel sonuçları bu çalışmadaki teorik hesaplamalarla uyumlu değildir. Ayrıca $^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{56}Co , 77,23 gün yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

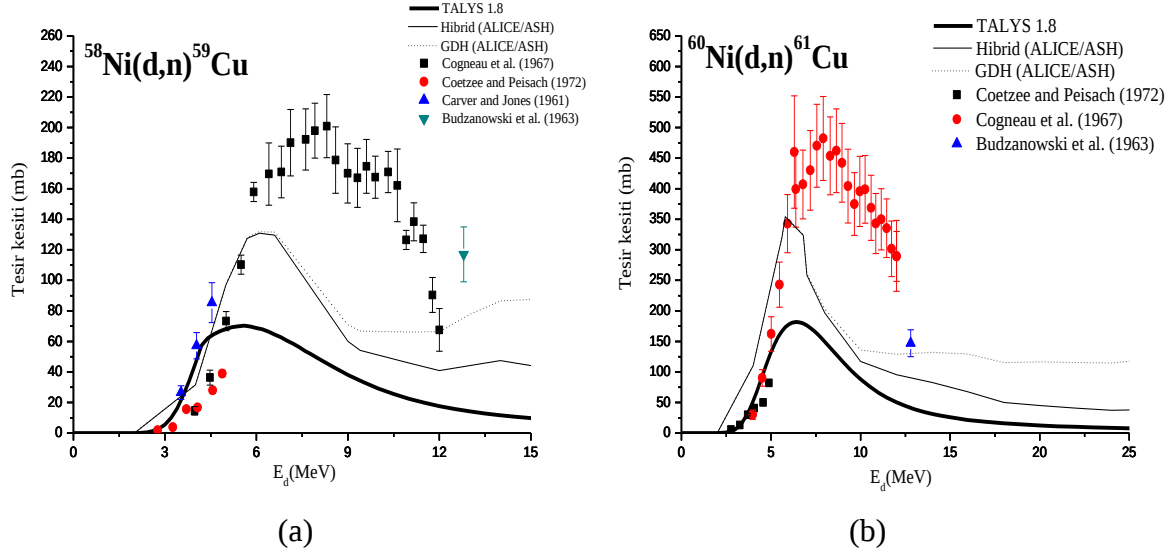


Şekil 5.2 $^{64}\text{Ni}(d,p)^{65}\text{Ni}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

Şekil 5.2 ile gösterilen $^{64}\text{Ni}(d,p)^{65}\text{Ni}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, Daraban et al. (2009)'un yaklaşık 7 MeV' in üzerindeki verileri bu çalışmadaki teorik hesaplamalarla uyumlu değildir. Ayrıca $^{64}\text{Ni}(d,p)^{65}\text{Ni}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{65}Ni , 2,51 saat yarı ömürlüdür ve β yayınlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

5.1.2 $^{58,60,61}\text{Ni}(d,n)$ Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonları

Nikel çekirdeğinin doğal izotoplarının hedef çekirdek, mermi parçacık olarak döteron içeren $^{58}\text{Ni}(d,n)^{59}\text{Cu}$, $^{60}\text{Ni}(d,n)^{61}\text{Cu}$ ve $^{61}\text{Ni}(d,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları kullanılarak uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 ile sunulmuştur.



Şekil 5.3 a) $^{58}\text{Ni}(d,n)^{59}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları. b) $^{60}\text{Ni}(d,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

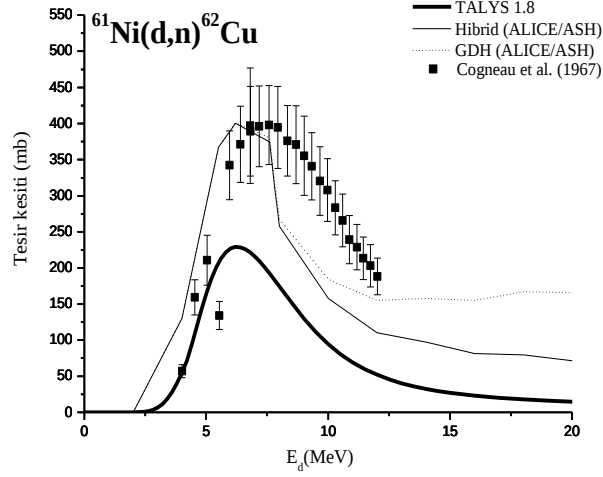
Şekil 5.3-5.4 ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(d,n)^{59}\text{Cu}$, $^{60}\text{Ni}(d,n)^{61}\text{Cu}$ ve $^{61}\text{Ni}(d,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile döteron gelme enerjisinde (E_d) en yüksek tesir kesitleri ve optimum enerji aralıkları Tablo 5.2’ de sunulmuştur.

Tablo 5.2 $^{58}\text{Ni}(d,n)^{59}\text{Cu}$, $^{60}\text{Ni}(d,n)^{61}\text{Cu}$ ve $^{61}\text{Ni}(d,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 ve ALICE/ASH programları ile hesaplanan uyarılma fonksiyonları ile elde edilen veriler.

	$E_d(\text{MeV})/\text{En Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)}$			Optimum Enerji Aralıkları (MeV)		
Reaksiyon	TALYS 1.8	Hibrid	GDH	TALYS 1.8	Hibrid	GDH
$^{58}\text{Ni}(d,n)^{59}\text{Cu}$	5,6/70,2	6,1/130,8	6,1/131,9	5-7,5	5-7	5-7
$^{60}\text{Ni}(d,n)^{61}\text{Cu}$	6,4/181,9	6,8/325	6,8/325	5,5-7,5	5-7	5-7
$^{61}\text{Ni}(d,n)^{62}\text{Cu}$	6,2/229,3	6,2/400,5	6,2/400,5	5,5-7	5,5-7,5	5,5-7,5

Şekil 5.3 (a) ile gösterilen $^{58}\text{Ni}(d,n)^{59}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, Cogneau (1967)’nin verilerinin bu çalışmadaki teorik hesaplamalardan daha büyük değerli olduğu görülmektedir. Carver ve Jones (1961)’in verileri düşük enerjilerde ALICE/ASH kodunun sonuçlarıyla uyumludur. Ayrıca $^{58}\text{Ni}(d,n)^{59}\text{Cu}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{59}Cu , 81,5 saniye yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

Şekil 5.3 (b) ile gösterilen $^{60}\text{Ni}(d,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında, Cogneau et al. (1967)' un sonuçları bu çalışmadaki teorik hesaplamalardan daha büyük değerlidir. Coetzee and Peisach (1972) ve Budzanowski et al. (1963)' un verileri düşük enerjilerde TALYS 1.8 kodu sonuçlarıyla yakındır. Ayrıca $^{60}\text{Ni}(d,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{61}Cu , 3,33 saat yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

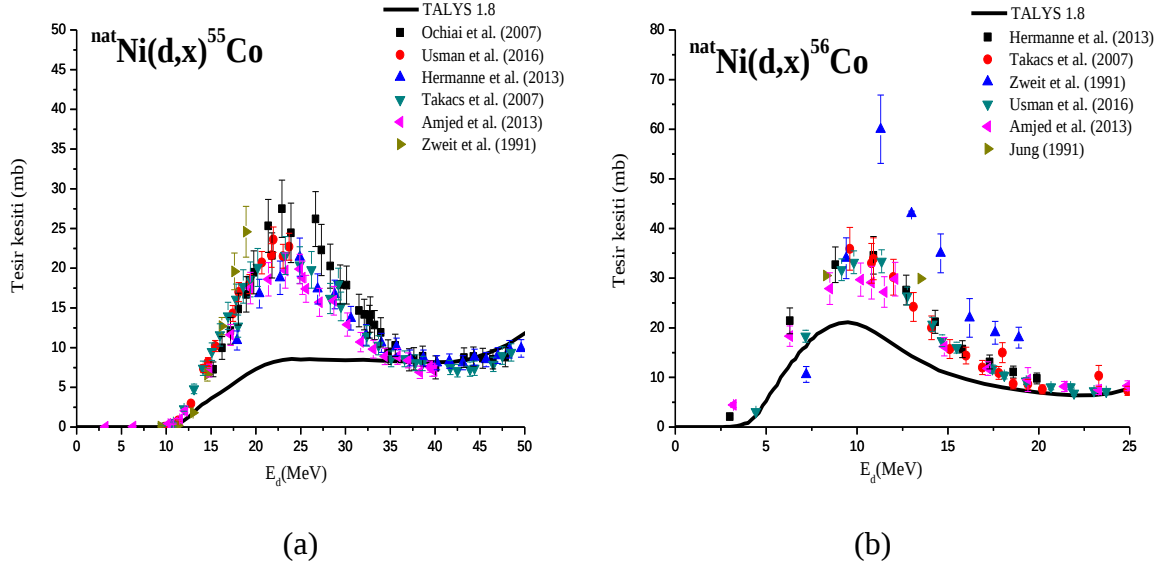


Şekil 5.4 $^{61}\text{Ni}(d,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonları.

Şekil 5.4 ile gösterilen $^{61}\text{Ni}(d,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonlarında Cogneau et al (1967)' nin verileri teorik hesaplamalarla davranış olarak uyumludur. Ayrıca $^{61}\text{Ni}(d,n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyonunda oluşan ürün çekirdek ^{62}Cu , 9,67 dakika yarı ömürlüdür ve elektron yayımlayarak bozunur (Audi et al. 2003).

5.2 DOĞAL NİKEL ÜZERİNE GELEN DÖTERON İLE OLUŞTURULAN REAKSİYONLARIN UYARILMA FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ

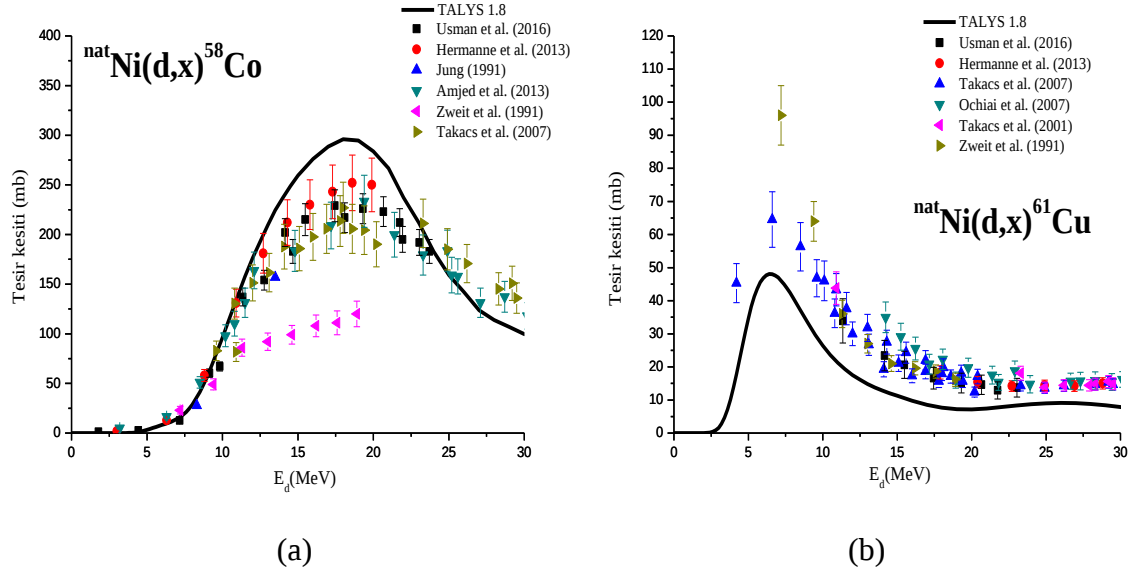
Bu çalışmada hedef doğal nikelin üzerine döteron parçacıklarının gönderildiği $^{nat}\text{Ni}(d,x)$ reaksiyonlarının TALYS 1.8 kodu ile uyarılma fonksiyonları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler EXFOR (Experimental Nuclear reaction Data) veri tabanındaki mevcut sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.5 a) $^{nat}\text{Ni}(d,x)^{55}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu. b) $^{nat}\text{Ni}(d,x)^{56}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu.

Şekil 5.5 (a) da gösterilen $^{nat}\text{Ni}(d,x)^{55}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonunda, TALYS 1.8 koduyla hesaplanan en yüksek tesir kesiti değeri 24 MeV döteron gelme enerjisinde 8,6 mb' dır. Bu uyarılma fonksiyonundaki sonuçlara göre optimum enerji aralığı 20 MeV ile 28 MeV arasındadır. Deneysel verilerin kendi aralarında yakın sonuçlar vermesine rağmen TALYS 1.8 kodu sonuçlarıyla farklılık gösterdiği görülmektedir (Zweit et al. 1991, Ochiai et al. 2007, Takacs et al. 2007, Amjed et al. 2013, Hermanne et al. 2013, Usman et al. 2016).

Şekil 5.5 (b) ile gösterilmiştir. Bu uyarılma fonksiyonunda hesaplanan en yüksek tesir kesiti değeri 9,5 MeV döteron gelme enerjisinde 21,1 mb' dır. TALYS 1.8 koduyla elde edilen sonuçlarda optimum enerji aralığı 8 MeV ile 11 MeV arasındadır. Zweit et al. (1991)' un sonuçları TALYS 1.8 kodu sonuçlarından oldukça büyük değerlidir. Deneysel verilerin teorik hesaplamalardan büyük değerli olmasına rağmen teorik hesaplamalar ile davranış olarak uyumlu oldukları görülmektedir (Jung 1991, Zweit et al. 1991, Takacs et al. 2007, Amjed et al. 2013, Hermanne et al. 2013, Usman et al. 2016).



Şekil 5.6 a) $^{nat}\text{Ni}(d,x)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu. b) $^{nat}\text{Ni}(d,x)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu.

Şekil 5.6 (a) da gösterilen $^{nat}\text{Ni}(d,x)^{58}\text{Co}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonunda, TALYS 1.8 koduyla hesaplanan en yüksek tesis kesiti değeri 19 MeV döteron gelme enerjisinde 294,5 mb' dır. Bu uyarılma fonksiyonundaki sonuçlara göre optimum enerji aralığı 17 MeV ile 20 MeV arasındadır. Zweit et al. (1991)' un verileri TALYS 1.8 kodu sonuçları ile farklılık göstermektedir. Deneysel sonuçların bu çalışmadaki teorik hesaplamalara göre daha düşük değerli çıktığı ve teorik hesaplamalarla şekil olarak uyumlu olduğu görülmektedir (Jung 1991, Takacs et al. 2007, Amjed et al. 2013, Hermanne et al. 2013, Usman et al. 2016).

Şekil 5.6 (b) ile gösterilen $^{nat}\text{Ni}(d,x)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonunun uyarılma fonksiyonunda, TALYS 1.8 koduyla hesaplanan en yüksek tesis kesiti değeri 6,4 MeV döteron gelme enerjisinde 48 mb' dır. Bu uyarılma fonksiyonundaki sonuçlara göre optimum enerji aralığı 5,5 MeV ile 7 MeV arasındadır. Zweit et al. (1991)' un sonuçları TALYS 1.8 kodu sonuçlarına göre optimum enerji aralığında oldukça büyük değerlidir. Deneysel verilerin teorik hesaplamalara göre büyük değerli çıktığı ve teorik hesaplamalarla davranış olarak uyumlu oldukları görülmektedir (Zweit et al. 1991, Takacs et al. 2001, Ochiai et al. 2007, Takacs et al. 2007, Hermanne et al. 2013, Usman et al. 2016).

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Füzyon reaktörleri ve diğer nükleer yapıların tasarımında nükleer reaksiyon tesir kesiti verileri önemlidir. Bu veriler deneysel olarak veya teorik olarak elde edilebilir. Özellikle tesir kesiti verileri reaktörlerde gerçekleşen reaksiyon sonucunda oluşan nükleer etkilerin incelenmesinde ve reaktörlerin zırh malzemesinin seçiminde önemlidir. Füzyon reaktörlerinde oluşan geçici çekirdekler genellikle kısa yarı ömürlü olurlar. Bu çekirdekler için deneysel olarak reaksiyon tesir kesiti verilerini belirlemek oldukça zordur. Bu yüzden reaksiyon tesir kesitlerinin önceden teorik olarak hesaplanmasında yarar vardır. Teorik olarak tesir kesitinin belirlenmesinin bir diğer önemli nedeni ise bir reaksiyonda gelen parçacığın enerjisinin hangi değerlerinde reaksiyon tesir kesiti değerlerinin maksimuma ulaşacağını bilmesidir. Yani, bu enerji değerlerinin önceden bilinmesi gerekir. Sonuç olarak nükleer reaksiyonların tesir kesitlerinin teorik olarak hesaplanması, deneysel olarak tesir kesitlerinin belirlenmesinde yol gösterici rol oynamaktadır.

Bu tezin amacı, füzyon reaktörlerinde yapı malzemesi olarak kullanılan nikelin denge öncesi reaksiyon modelleri kullanılarak tesir kesiti değerlerini hesaplamaktır. Bu amaç çerçevesinde nikelin doğal izotopları ve doğal nikelin hedef çekirdek alındığı, mermi (proton, nötron ve döteryum) parçacıkların belirli aralıktaki gelme enerjileri ile oluşan reaksiyonların denge öncesi reaksiyon tesir kesiti değerleri TALYS 1.8 kodu ve ALICE/ASH kodu ile hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar, mevcut deneysel verilerle karşılaştırılmıştır ve süreçler tartışılmıştır.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde nikel çekirdeğinin doğal izotopları üzerine gelen proton parçacıkları ile oluşturulan reaksiyonların uyarılma fonksiyonlarında belirlenen optimum enerji aralıkları; $^{58,60,61,64}\text{Ni}(p,\alpha)$ reaksiyonları için 14 MeV ile 18 MeV arasında, $^{60,61,62,64}\text{Ni}(p,n)$ reaksiyonları için 11 MeV ile 16 MeV arasındadır.

Ayrıca, $^{60,61,62,64}\text{Ni}(p,n)$ reaksiyonlarının uyarılma fonksiyonlarında ALICE/ASH programıyla hesaplanan Hibrid ve GDH modelleri ile elde edilen en yüksek tesir kesiti değerleri yaklaşık olarak eşit çıkmıştır. Yani bu uyarılma fonksiyonları ile gösterilen reaksiyonlar için yüzey parametrelerinin hesaba katılması sonuçları çok fazla etkilemediği düşünülmektedir. Yine aynı bölümde hesaplanan $^{60}\text{Ni}(p,n)^{60}\text{Cu}$ ve $^{60}\text{Ni}(p,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonları, sırasıyla, $^{\text{nat}}\text{Ni}(p,x)^{60}\text{Cu}$ ve $^{\text{nat}}\text{Ni}(p,x)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonları ile ilişkilendirildiğinde, optimum enerji aralıklarının birbirlerine oldukça yakın çıkmasına rağmen hesaplanan en yüksek tesir kesiti değerleri arasında büyük farklılıklar olduğu görülmektedir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde nikel çekirdeğinin doğal izotopları üzerine gelen nötron parçacıkları ile oluşturulan reaksiyonların uyarılma fonksiyonlarında belirlenen optimum enerji aralıkları; $^{60,64}\text{Ni}(n,2n)$ reaksiyonu için 13 MeV ile 21 MeV arasında, $^{58,62,64}\text{Ni}(n,\alpha)$ reaksiyonu için 12 MeV ile 18 MeV arasındadır. Bununla birlikte, $^{58}\text{Ni}(n,d)^{57}\text{Co}$, $^{60}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ ve $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$ reaksiyonları, sırasıyla, $^{\text{nat}}\text{Ni}(n,x)^{57}\text{Co}$, $^{\text{nat}}\text{Ni}(n,x)^{58}\text{Co}$ ve $^{\text{nat}}\text{Ni}(n,x)^{60}\text{Co}$ reaksiyonları ile ilişkilendirildiğinde, optimum enerji aralıklarının birbirlerine oldukça yakın çıkmasına rağmen hesaplanan en yüksek tesir kesiti değerleri arasında büyük farklılıklar olduğu görülmektedir.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde hesaplanan nikel çekirdeğinin doğal izotopları üzerine gelen döteron parçacıkları ile oluşturulan reaksiyonların uyarılma fonksiyonlarında $^{58,60,61}\text{Ni}(d,n)$ reaksiyonları için belirlenen optimum enerji aralığı 5 MeV ile 8 MeV arasındadır. Aynı reaksiyonlarda ALICE/ASH koduyla elde edilen en yüksek tesir kesiti değerleri yaklaşık eşit çıkmıştır. Ayrıca, $^{58}\text{Ni}(d,\alpha)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu ile $^{\text{nat}}\text{Ni}(d,x)^{56}\text{Co}$ reaksiyonu ilişkilendirildiğinde, optimum enerji aralıkları birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır ve hesaplanan en yüksek tesir kesiti değerleri arasında 10 mb'lık bir fark vardır. Bu bölümle ilgili son olarak, $^{\text{nat}}\text{Ni}(d,x)^{58}\text{Co}$ reaksiyonu ile $^{58}\text{Ni}(d, 2p)^{58}\text{Co}$ reaksiyonu ve $^{\text{nat}}\text{Ni}(d,x)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonu ile $^{60}\text{Ni}(d,n)^{61}\text{Cu}$ reaksiyonu ilişkilendirildiğinde, optimum enerji aralıklarının birbirlerine oldukça yakın çıkmasına rağmen hesaplanan en yüksek tesir kesiti değerleri arasında büyük farklılıklar olduğu görülmektedir.

Bölüm 1'de denklem (1)-(7) ile verilen temel füzyon reaksiyonları sonucu oluşan proton, nötron ve döteron ürün parçacıklarının maksimum enerjileri sırasıyla 14.7 MeV, 14.1 MeV ve 9.8 MeV'dir. Nikelin füzyon yapı malzemesi olarak kullanıldığı bir reaktörde yukarıdaki enerjilerde açığa çıkan ürün parçacıkların nikel ile reaksiyona girme olasılıkları

değerlendirilebilir. Bu çalışmada bu enerjiler ile oluşması muhtemel reaksiyonların en yüksek tesir kesiti değerleri Tablo 6.1’de sunulmuştur. Bu tablodaki üç reaksiyon arasında gerçekleşme olasılığı en yüksek reaksiyon ^{64}Ni (n,2n) ^{63}Ni reaksiyonudur. Son olarak, bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar füzyon reaktörlerinde yapı malzemesi olarak kullanılan Ni çekirdeğinin olası nükleer reaksiyonlarının anlaşılmasına yardımcı olabilir.

Tablo 6.1 14.7 MeV proton, 14.1 MeV nötron ve 9.8 MeV döteron gelme enerjilerinde ^{62}Ni (p,n) ^{62}Cu , ^{64}Ni (n,2n) ^{63}Ni ve ^{60}Ni (d,n) ^{61}Cu reaksiyonları için elde edilen tesir kesiti değerleri.

Reaksiyon	Gelme Enerjisi (MeV)/ En Yüksek Tesir Kesiti Değeri (mb)
^{62}Ni (p,n) ^{62}Cu	14,7/567,43
^{64}Ni (n,2n) ^{63}Ni	14,1/1176,3
^{60}Ni (d,n) ^{61}Cu	9,8/145,28

KAYNAKLAR

- Amjed N, Tarkanyi F, Ditroi F, Takacs S and Yuki H** (2013) Activation Cross-Sections Of Deuteron Induced Reaction of Natural Ni up to 40 MeV. *Applied Radiation and Isotopes*, UK, 82:87.
- Amjed N, Tarkanyi F, Hermanne A, Ditroi F, Takacs S and Hussain M** (2014) Activation Cross Sections of Proton Induced Reactions on Natural Ni up to 65MeV. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.92, UK, p.73.
- Antropov A E, Gusev V P, Zhuravlev Y Y, Zarubin P P, Kolozhvary A A and Smirnov A V** (1992) Total Cross Sections: of (p,n) Reaction on the Nuclei of Isotopes Nickel and Zinc at E(p)=5-6 MeV. *Rossiiskoi Akademii Nauk*, Russia, 56:198.
- Artun O** (2015) Medikal Radyoizotop Üretimi İçin Nükleer Model Hesaplamaları ve Veri Elde Edilmesi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, ss. 6-23.
- Audi G, Wapstra A H, Bersillon O and Blachot J** (2003) The NUBASE Evaluation of Nuclear and Decay Properties. *Nuclear Physics A*, 729:3-128.
- Avila-Rodriguez M A, Nyeb J A and Nickles R J** (2007) Simultaneous Production of High Specific Activity ⁶⁴Cu and ⁶¹Co With 11.4MeV Protons on Enriched ⁶⁴Ni Nuclei. *Applied Radiation and Isotopes*, UK, 65:1115
- Avrigeanu M, Avrigeanu V and Plompen A J** (2002) Pre-equilibrium–Emission Surface Effects in Activation Reactions. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 39:803-806.
- Aydin A, Tel E and Şarer B** (2007) Investigation of the (n,p) Reaction Cross-Sections of Some Nuclei in The Rare-Earth Elements For an Incident Energy Range of 8–24 MeV. *Physica Scripta*, 75(3):299.
- Bahal B M and Pepelnik R** (1985) Cross Section Measurements of Cr, Mn, Fe, Co, Ni for an Accurate Determination of These Elements in Natural and Synthetic Samples Using a 14 MeV Neutron Generator. *Ges. Kernen.-Verwertung*, Germany, 85:11.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Barrondon J N, Debrun J L, Kohn A and Spear R H** (1975) A Study of the Main Radioisotopes Obtained by Irradiation of Ti, V, Cr, Fe, Ni, Cu and Zn with Protons From 0 to 20 MeV. *Nuclear Instrum. and Methods in Physics Research*, Netherlands, 127:269.
- Barry J F** (1962) The Cross Section of the $^{58}\text{Ni}(\text{N},\text{P})^{58}\text{Co}$ Reaction In the Energy Range 1,6 to 14,7 MeV. *J. Nuclear Energy A&B (Reactor Science and Technology)*, UK, 16:467.
- Basov N G, Belousov N I, Grishunin P A, Kharitonov V V, Rozanov V B and Subbotin, V I** (1992) Transmutation of High-Level Fission Products and Actinides in a Laser-Driven Fusion Reactor. *Fusion Science and Technology*, 22(3):350-355.
- Bayrak C** (1997) (n, n1) Tepkimelerinde Denge Öncesi Etkinin İncelenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(13).
- Blann M** (1972) Importance of The Nuclear Density Distribution on Pre-Equilibrium decay. *Physical Review Letters*, 28(12):757.
- Blann M** (1975) Preequilibrium Decay. *Annual Review of Nuclear Science*, 25(1):123-166.
- Blann M and Merkel G** (1963) Reactions Induced in ^{58}Ni with 0-24 MeV Deuterons: Statistical Model Analysis. *Physical Review*, USA, 131:764.
- Blann M** (1971). Hybrid Model For Pre-Equilibrium Decay in Nuclear Reactions. *Physical Review Letters*, 27(6), 337.
- Blaser J P, Boehm F, Marmier P and Scherrer P** (1951) Anregungsfunktionen und Wirkungsquerschnitte der (p,n)-Reaktion (II). *Helvetica Physica Acta*, Switzerland, 24:441.
- Bowers D L and Greenwood L R** (1989) Analysis of Long-Lived Isotopes by Liquid Scintillation Spectrometry. *American Society of Testing and Materials Reports*, USA, 1001:508.
- Brinkman G A, Helmer J and Lindner L** (1977) Nickel and Copper Foils as Monitors For Cyclotron Beam Intensities. *Radiochemical and Radioanalytical Letters*, Hungary, 28:9.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Broeders C H M, Konobeyev A Y, Korovin A Y, Lunev V P and Blann M** (2006) ALICEASH Pre-compound and Evaporation Model Code System for Calculation of Excitation Functions, Energies and Angular Distributions of Emitted Particles in Nuclear Reactions at Intermediate Energies. *Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz- Gemeinschaft Wissenschaftliche Berichte FZKA*, 7183:230.
- Buczko C M, Csikai J, Sudar S, Grallert A, Jonah S A, Jimba B W, Chimoye T and Wagner M** (1995) Excitation Functions and Isomeric Cross Section Ratio of the Ni-58(n,p)Co-58-m,g Reactions From 2 to 15 MeV. *Physical Review, Nuclear Physics*, USA, 52:4:1940.
- Budzanowski A, Freindl L, Grotowski K, Rzeszutko Mrs. M, Slapa M, Szmider J and Hodgson P E** (1963) Elastic Scattering and Total Reaction Cross-Sections For The Interaction of 12,8 MeV Deuterons With 12C, 58Ni, 60 Ni and 209Bi Nuclei. *Nuclear Physics*, Netherlands, 49:144.
- Carver J H and Jones G A** (1961) (N-Z) Dependence of Radiative Deuteron Capture Cross Sections. *Nuclear Physics*, Netherlands, 24:607.
- Cline C K** (1971) Reaction Mechanisms and Shell Structure Effects in Fe-54+Li-6 and Ni-58+d Reactions. *Nuclear Physics*, Section A, Netherlands, 174:73.
- Cline C K** (1972) The Pauli Exclusion Principle in Pre-equilibrium Decay. *Nuclear Physics A*, 195(2), 353-360.
- Coetzee P P and Peisach M** (1972) Activation Cross Sections For Deuteron-Induced Reactions on Some Elements of The First Transition Series, Up to 5,5 MeV. *Radiochimica Acta*, Germany, 17:1.
- Cogneau M, Gilly and L J and Cara J** (1967) Absolute Cross Sections and Excitation Functions For Deuteron-Induced Reactions on The Nickel Isotopes Between 2 and 12 MeV. *Nuclear Physics*, Netherlands, 99:686.
- Çapalı V, Özdoğan H, Doğan S S ve Kaplan A** (2014) 27 Al, 54 Fe, 58 Ni ve 90Zr Hedef Çekirdekleri İçin 10–30 MeV Enerji Aralığında (γ , p) Reaksiyon Tesir Kesiti Hesaplamaları. *Suleyman Demirel University Journal of Science*, 9:(2).
- Daraban L, Rebeles R A and Hermanne A** (2009) Study of The Excitation Function For The Deuteron Induced Reaction on 64Ni(d,2n) for The Production of The Medical Radioisotope 64Cu. *Applied Radiation and Isotopes*, UK, 67:506.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Deconinck G** (1978) Nuclear Methods Monographs, *Introduction to Radioanalytical Physics*, Elsevier Scientific Publishing Co. No.1, Amsterdam.
- Dobeř J and Běťák E** (1983) Two-component Exciton Model. *Zeitschrift für Physik A Atoms and Nuclei*, 310(4):329-338.
- Doncals N C, Varner S Y, Pathbun R W and Petras D S** (1985) Non-refueling Liquid-Metal Fast Breeder Reactor, *American Nuclear Society*, Duderstadt J J, 33:445.
- Ercan A, Erduran M N, Subasi M, Gueltekin E, Tarcan G, Baykal A and Bostan M** (1991) 14,6 MeV Neutron Induced Reaction Cross Section Measurements. *Conference on Nuclear Data for Science and Technology*, Juelich 1991, Germany, p.376.
- Ergün Y and Kaplan A** (2014) Tiroid Sintigrafisinde Kullanılan 94, 99, 99m Tc ve 131I Radyonüklidlerinin Üretim Tesir Kesiti Hesaplamaları. *SDÜ Fen Dergisi*, 9(1).
- Ewart H A and Blann M** (1964) Nuclear Reactions of Nickel with Protons Up to 56 MeV. (W,EWART,1964) Priv. Comm: Ewart (1964).
- Fang K, Xu S, Lan C, Xu X, Konga X, Liu R and Jiang L** (1998) Cross-Section Measurement For The Reactions Producing Short-Lived Nuclei Induced By Neutrons Around 14 MeV. *Annals of Nuclear Energy*, UK, 25:1485.
- Fessler A and Qaim S M** (1999) Excitation Functions of ^{50}Cr (n,np+pn+d), ^{58}Ni (n,a), ^{58}Ni (n,alpha-p+p-alpha), and ^{62}Ni (n,alpha) ^{59}Fe Reactions. *Radiochimica Acta*, Germany, 84:1.
- Filatenkov A A, Chuvaev S V, Aksenov V N, Yakovlev V A, Malyshev A V, Vasil'ev S K, Avriganu M, Avriganu V, Smith D L, Ikeda Y, Wallner A, Kutschera W, Priller A, Steier P, Vonach H, Mertens G and Rochow W** (1999) Systematic Measurement of Activation Cross Sections at Neutron Energies from 13,4 to 14,9 MeV. *Khlopin Radiev. Inst., Leningrad Reports*, No.252, Russia.
- Furuta M, Shimizu T, Hayashi H, Miyazaki I, Yamamoto H, Shibata M and Kawade K** (2008) Measurements of Activation Cross Sections of (n,p) and (n,a) reactions in The Energy Range of 3,5-5,9 MeV Using a Deuterium Gas Target. *Annals of Nuclear Energy*, UK, 35:1652.
- Fuying Z, Zhenlan T and Zhenxia W** (1983) Measurements of Excitation Functions for Ni-58(d,a), Ni-58(d,a+n) and Ni-58(d,t). *Chinese Journal of Nuclear Physics (Beijing)*, China, 5:166.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gledenov Y M, Sedysheva M V, Khuukhenhuu G, Shanglian, Guoyou T, Zemin C and Yingtian C** (1997) Study of The Fast Neutron Induced (n,a) Reaction For Middle-Mass Nuclei. *Conference On Nuclear Data For Science And Technology*, Trieste, Italy, p.514.
- Gohar Y and Smith D L** (2000). Multiplier, Moderator, and Reflector Materials for Advanced Lithium–Vanadium Fusion Blankets. *Journal of Nuclear Materials*, 283, 1370-1374.
- Gonzalez L, Rapaport J and Van Loef J J** (1960) Ni-58(n,p)Co-58 Cross Section For Neutrons of Energies Between 2.2 And 3.6 MeV, *Physical Review*, USA, 120:1319.
- Greenspan E and Miley G H** (1981) Fissile and Synthetic Fuel Production Ability of Hybrid Reactors. *Atomkernenergie Kerntechnik*, 38(1):12-19.
- Griffin J J** (1966) Statistical Model of Intermediate Structure. *Physical review letters*, 17(9):478.
- Gupta J P, Bhardwaj H D and Prasad R** (1985) Pre-equilibrium Emission Effect in (n, p) Reaction Cross-Sections at 14.8 MeV. *Pramana*, 24(4):637-642.
- Hanlin L, Wenrong Z and Weixiang Y** (1994) Cross-Section Measurement for Ni58(n,np+pn+d)Co57, Ni-60(n,p)Co-60 and Ni-62(n,alpha)Fe=59 Reactions. *Chinese Journal of Nuclear Physics (Beijing)*., China 16:263.
- Hermanne A, Rebeles R A, Tarkanyi F and Takacs S** (2015) Excitation Functions of Proton Induced Reactions on NatOs up to 65 MeV: Experiments and Comparison With Results From Theoretical Codes. *Nuclear Instrumental Methods in Physics Research*, Netherlands, 345:58.
- Hermanne A, Takacs S, Rebeles R A, Tarkanyi F and Takacs M P** (2013) New Measurements and Evaluation of Database For Deuteron Induced Reaction on Ni up to 50 MeV. *Nuclear Instrumental Methods in Physics Research*, Netherlands, 229:8.
- Ikeda Y, Konno C, Oishi K, Nakamura T, Miyade H, Kawade K, Yamamoto H and Katoh T** (1988) Activation Cross Section Measurements For Fusion Reactor Structural Materials at Neutron Energy From 13,3 to 15,0 MeV using FNS Facility. *JAERI Reports*, No.1312, Japan.
- Johnson C H, Trail C C and Galonsky A** (1964) Thresholds for (p,n) Reactions on 26 Intermediate-Weight Nuclei. *Physical Review*, USA, 136:1719.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Jost C U, Griswold J R, Bruffey S H, Mirzadeh S, Stracener D W and Williams C L** (2013) Measurement of Cross Sections For The $^{232}\text{Th}(p,4n)^{229}\text{Pa}$ Reaction at Low Proton Energies. *Conference proceedings by Am. Institutes of Physical, USA*, 1525:520.
- Jung P** (1991) Cross Sections For The Production of Helium and Long Living Radioactive Isotopes by Protons and Deuterons. *Conference on Nuclear Data for Science and Technology*, Juelich 1991, Germany, p.352.
- Kai-Hong F, Xiao-San X, Chang-Lin L, Ji-Long Y and Xiang-Zhong K** (2008) Cross-Section Measurement for $\text{Ni}(n,x)\text{Co-58-m+g}$, $\text{Ni}(n,x)\text{Co-60-m}$, $\text{Ni}(n,x)\text{Co-61}$ and $\text{Ni}(n,x)\text{Co-62-m}$ Around 14 MeV. *Chinese Physics C*, China, 32:251.
- Kaplan A, Aydın A, Tel E and Sarer B** (2009) “Equilibrium and Pre-Equilibrium Emissions in Proton-Induced Reactions on ^{203}Tl , ^{205}Tl ”, *Pramana-Journal of Physics*, 72(2):343-353
- Kasugai Y, Yamamoto H, Kawade K and Iida T** (1998) Measurements of (n,p) Cross-Sections for Short-Lived Products by 13,4-14,9 MeV Neutrons. *Annals of Nuclear Energy*, UK, 25:23.
- Kaufman S** (1960) Reactions of Protons with Ni-58 and Ni-60. *Physical Review*, USA, p. 117:1532.
- Ketlerov V V, Goverdovskij A A, Mitrofanov V F, Ostapenko Yu B and Khryachkov V A** (1996) Measurement of the $^{58}\text{Ni}(N,A)^{55}\text{Fe}$ Reaction Cross Section. *Vop. At. Nauki i Tekhn*, 1: 121.
- Khandaker M U, Kim K S, Lee M W, Kim K S and Kim G N** (2011) Excitation Functions of (p,x) Reactions on Natural Nickel up to 40 MeV. *Nucl. Instrumational Methods in Physics Research*, Netherlands, 269:1140.
- Koning A J and Duijvestijn M C** (2004) A Global Pre-Equilibrium Analysis From 7 to 200 MeV Based on The Optical Model Potential. *Nuclear Physics A*, 744, 15-76.
- Koning A, Hilaire S and Goriely S** (2015) Talys 1.8, a nuclear reaction program, user manual. Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), Netherlands, 8-70
- Konno C, Ikeda Y, Oishi K, Kawade K, Yamamoto H and Maekawa H** (1993) Activation Cross Section Measurements at Neutron Energy from 13,3 to 14.9 MeV. *JAERI Reports*, No.1329, Japan.
- Krane K S** (2002) *Nükleer Fizik 2*. Palme Yayıncılık, Ankara, 378-839.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kulsinski G L, Emmert G A, Blanchard J P, El-Guebaly L A, Khater H Y, Santarius J F, Sawan M E, Sviatoslavsky I N, Wittenberg L J and Witt R J** (1989) “APOLLO-An Advanced Fuel Fusion Power Reactor for the 21st Century”, *Fusion Technology*, 15:1224.
- Levkovski V N** (1991) Cross sections of Medium Mass Nuclide Activation ($A=40-100$) by Medium Energy Protons and Alpha-Particles ($E=10-50$ MeV). *Levkovskij, Act. Cs. By Protons and Alphas*, Moscow 1991, USSR.
- Levkovskii V N, Vinitskaya G P, Kovel'skaya G E and Stepanov V M** (1970) Cross Sections for (n,p) and (n,alpha) Reactions With 14,8 MeV Neutrons. *Soviet Journal of Nuclear Physics*, Russia, 10:25.
- Levkovskiy V N, Kovel'skaja G E, Vinitskaja G P, Stepanov V M and Sokol'skyj V V** (1968) Cross Sections of The (n,p) and (n,alpha) Reactions of The Neutrons Energy of 14,8 MeV. *Yadernaya Fizika*, Russia, 8:7.
- Long K A and Tahir N A** (1986) Theory and Calculation of The Energy Loss of Charged Particles in Inertial Confinement Fusion Burning Plasmas. *Nuclear fusion*, 26(5): 555
- Luider F J** (1978) Note on the solution of The Master Equation in The Exciton Model of Pre-Equilibrium Theory. *Zeitschrift für Physik A Atoms and Nuclei*, 284(2):187-188.
- Mannhart W and Schmidt D** (2007) Measurement of Neutron Activation Cross Sections in the Energy Range from 8 MeV to 15 MeV. *Physics Technology Bundesanst Neutronenphysik Reports*, No.53, Germany.
- Markovskij D V, Forrest R A, Freiesleben H, Kovalchuk V D, Richter D, Seidel K, and Unholzer S** (2000) Experimental Investigation of Radioactivities Induced in Fusion Reactor Structural Materials by 14-MeV Neutrons. *Fusion Engineering and Design*, 51:695-700.
- Michel R, Hansmann D, Neumann S, Glasser W, Schuhmacher H, Dangendorf V, Nolte R, Herpers U, Smirnov A N, Ryzhov I V, Prokofiev A V, Malmborg P, Kollar D and Meulders J P** (2015) Excitation Functions For The Production of Radionuclides by Neutron-Induced Reactions on C, O, Mg, Al, Si, Fe, Co, Ni, Cu, Ag, Te, Pb, and U up to 180 MeV. *Nucl. Instrumational Methods in Physics Research*, Netherlands, 343:30.
- Michel R, Stueck R and Peiffer F** (1985) Proton-Induced Reaction on Ti, V, Mn, Fe, Co and Ni. *Nuclear Physics, Section A*, Netherlands, 441:617.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Michel R, Weigel H and Herr W** (1978) Proton-Induced Reactions on Nickel with Energies Between 12 and 45 MeV. *Zeitschrift fuer Physik A*, Germany, 286:393.
- Molla N I, Miah R U, Rahman M and Akhter A** (1991) Excitation Functions of Some (n,p), (n,2n) and (n,alpha) Reactions on Nickel, Zirconium and Niobium Isotopes in The Energy Range 13.63-14.83 MeV. *Conferance on Nuclear Data for Science and Technology*, Juelich 1991, Germany, p.355.
- Mynatt F R** (1977) “Analysis of Acceleration Breeder Concepts with LMFBR, GCFF and Molten Salt Type Blankets”, Proc. Information Mtg. Accelerator Breeding, Uptown, NewYork, p. 18-19.
- Ochiai K, Nakao M, Kubota N, Sato S, Yamauchi M, Ishioka N H, Nishitani T and Konno C** (2007) Deuteron Induced Activation Cross Section Measurement for IFMIF. *Conferance on Nuclear Data for Science and Technology*, Nice 2007, Vol. 2, France, p.1011.
- Paulsen A and Liskien H** (1966) Cross Sections For Some (n,p) Reactions Near Threshold. *Nuclear Data For Reactors Conferance*, Paris 1966, France, p.217
- Piel H, Qaim S M and Stoecklin G** (1992) Excitation Functions of (p,xn)-Reactions on natNi and Highly Enriched ⁶²Ni: Possibility of Production of Medically Important Radioisotope ⁶²Cu at a Small Cyclotron. *Radiochimica Acta*, Vol.57, Germany, p.1
- Qaim S M, Woelfle R, Rahman M M and Ollig H** (1984) Measurement of (n,p) and (n,alpha) Reaction Cross Sections on Some Isotopes of Nickel in The Energy Region of 5 to 10 MeV Using a Deuterium Gas Target at a Compact Cyclotron. *Nuclear Science and Engineering*, USA, 88:143.
- Qaim S M, Uhl M, Rosch F and Szelecsenyi F** (1995) Excitation Functions of (p,alpha) Reactions on ⁶⁴-Ni, ⁷⁸-Kr and ⁸⁶ Sr, *Physical Review*, USA, 52:733.
- Rebeles R A, Van den Winkel P, Hermanne A and Tarkanyi F** (2009) New Measurement and Evaluation of The Excitation Function of ⁶⁴Ni(p,n) Reaction for The Production of ⁶⁴Cu, *Nuclear Instrumational Methods in Physics Research*, Netherlands, 267:457.
- Rizvi A I, Afzal Ansari M, Gautam P R, Singh KY R, and Chaubey K A** (1987) Excitation Function Studies of (α , xpyn) Reactions for ⁶³, ⁶⁵Cu and Pre-Equilibrium Effect. *Journal of the Physical Society of Japan*, 56(9):3135-3144.
- Ruehm W, Schneck B, Knie K, Korschinek G, Zerle L, Nolte E, Weselka D and Vonach H** (1994) A New Half-Life Determination of ⁵⁹Ni. *Planetary and Space Science*, Netherlands, 42:227.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Satchler G R** (1980) *Introduction to Nuclear Reactions*. Mc Millan Press Ltd, London pp. 153-210.
- Séguin F H, Frenje J A, Li C K, Hicks D G, Kurebayashi S, Rygg J R, and Meyerhofer, D D** (2003) Spectrometry of Charged Particles From Inertial-Confinement-Fusion Plasmas. *Review of Scientific Instruments*, 74(2):975-995.
- Semkova V, Avriganu V, Glodariu T, Koning A J, Plompen A J M, Smith D L, Sudar S, Reimer P and Forrest R** (2004) A Systematic Investigation of Reaction Cross Sections and Isomer Ratios For Neutrons up to 20 MeV on Ni-Isotopes and Co-59 by Measurements With Activation Technique and New Model Studies of Underlying Reaction Mechanisms. *Nuclear Physics*, Netherlands, 730:255.
- Semkova V, Plompen A J M and Smith D L** (2004) Measurement of the Ni-58(n,t)Co-59, Co-59(n,p)Fe-59 and Cu-63(n,alpha)Co-60 Reaction Cross Sections from 14 to 20 MeV. *Conf.on Nucl.Data for Sci.and Techn.*, Santa Fe, USA, 1:1019.
- Seviour M E, Mitchell L M, Tingwell C I W and Sargood D G** (1986) Cross Sections For Proton Induced Reactions On K-41 And For The Reaction Ni-62(A,P)29-Cu-65. *Nuclear Physics*, Section A, Netherlands, 454:128.
- Shimizu T, Sakane H, Shibata M, Kawade K and Nishitani T** (2004) Measurements of Activation Cross Sections of (n,p) and (n,alpha) Reactions with d-D Neutrons In The Energy Range 2,1 - 3,1 MeV. *Annals of Nuclear Energy*, UK, 31:975.
- Singh B P, Sharma M K, Musthafa M M, Bhardwaj H D and Prasad R** (2006) A Study of Pre-Equilibrium Emission in Some Proton and Alpha Induced Reactions. *Nucl. Instrum. Methods in Physics Res.*, Netherlands, 562:717.
- Sisterson J M and Chadwick M B** (2006) Cross Section Measurements For Neutron-Induced Reactions in Ti, Fe and Ni at Several Neutron Energies Ranging From 70.7 to 151.6 MeV. *Nucl. Instrum. Methods in Physics Res.*, Netherlands, 245:371.
- Smith D L, Meadows J W, Vonach H, Wagner M, Haight R C and Mannhart W** (1991) NEANDC Working Group on Activation Cross Sections. Comparison of Activation Cross Section Measurements Performed With Different Neutron Source Reactions in the 5-13 MeV Range. *Conf.on Nucl.Data for Sci.and Technol.*, Juelich 1991, Germany, p.282.
- Sonck M, Hoyweghen J V and Hermanne A** (1996) Determination of the External Beam Energy of a Variable Energy Multiparticle Cyclotron. *Applied Radiation and Isotopes*, UK, 47:445.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Strain J E and Ross W J** (1966) 64-Ni Reactions With 14.7 MeV Neutrons. *Oak Ridge National Lab. preprint*, USA, No.1869
- Sudar S, Csikai J, Qaim S M and Stoecklin G** (1991) Neutron activation Cross Sections for Ni60(n,p)Co-60-mNi-60(n,p)Co-60-m+g and Ni-58(n,p)Co-58-m Reactions in the 5 to 12 MeV Energy Range. *Conf.on Nuclear Data for Science and Technology*, Juelich 1991, Germany, p.291.
- Sudar S, Szelecsenyi F and Qaim S M** (1993) Excitation Function and Isomeric Cross-Section Ratio for the Ni-61(p,alpha)Co-58-m,g Process. *Physical Review*, Part C, USA, 48:3115.
- Szelecsenyi F, Blessing G and Qaim S M** (1993) Excitation Functions of Proton Induced Nuclear Reaction on Enriched Ni-61 and Ni-64: Possibility of Production of No-Carrier-Added Cu-61 and Cu-64 at a Small Cyclotron. *Applied Radiation and Isotopes*, UK, 44:575.
- Szöke A and Moir W** (1991) *A Realistic, Gradual and Economical Approach to Fusion Power* (No. UCRL-JC-106443; CONF-910626--12). Lawrence Livermore National Lab., CA United States.
- Şahin S** (1992) “Nükleer Enerjide Yeni Dönem”, İnsan ve Kainat Dergisi. Şahin S. et al. (1996): “Radiation Damage in Liquid-Protected First Wall Materials for IFE Reactors”, *Fusion Technology*, 30:1027.
- Şarer B, Aydın A, Günay M, Korkmaz M E and Tel E** (2009) Calculations of Neutron-Induced Production Cross-Sections of 180, 182, 183, 184, 186 W up to 20MeV. *Annals of Nuclear Energy*, 36(4):417-426.
- Takacs S, Szelecsenyi F, Tarkanyi F, Sonck M, Hermanne A, Shubin Y, Dityuk A, Mustafa M G and Youxiang Z** (2001) New Cross-Sections and Intercomparison of Deuteron Monitor Reactions on Al, Ti, Fe, Ni and Cu. *Nuclear Instrumental Methods in Physics Research*., Netherlands, 174:235.
- Takacs S, Tarkanyi F, Kiraly B, Hermanne A and Sonck M** (2007) Evaluated Activation Cross Sections of Longer-Lived Radionuclides Produced by Deuteron-Induced Reactions on Natural Nickel. *Nuclear Instrumental Methods in Physics Research*, Netherlands, 260:495.
- Tanaka S and Furukawa M** (1959) Excitation Functions For (P,N) Reactions with Titanium, Vanadium, Chromium, Iron and Nickel Up to 14 MeV. *Journal of the Physical Society of Japan*, Japan, 14:1269.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Tanaka S, Furukawa M and Chiba M** (1972) Nuclear Reactions of Nickel with Protons Up to 56 MeV. *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, UK, 34:2419.
- Tarkanyi F, Szelecsenyi F and Kopecky P** (1991) Excitation Functions of Proton Induced Nuclear Reactions on Natural Nickel For Monitoring Beam Energy and Intensity. *Applied Radiation and Isotopes*, UK, 42:513.
- Tel E** (2000) Denge ve Denge Öncesi Reaksiyon Modelleri Kullanarak Uyarılma Fonksiyonlarının ve Diferansiyel Tesir Kesitlerinin Hesaplanması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye ss. 27
- Tingwell C I W, Hansper V Y, Tims S G, Scott A F and Sargood D G** (1988) Cross Sections of Proton Induced Reactions on ^{61}Ni . *Nuclear Physics*, Netherlands, 480:162.
- Usman A R, Khandaker M U, Haba H, Murakami M and Otuka N** (2016) Measurements of Deuteron-Induced Reaction Cross-Sections on Natural Nickel up to 24 MeV. *Nuclear Instrumental Methods in Physics Research*, Netherlands, 368:112.
- Viennot M, Berrada M, Paic G and Joly S** (1991) Cross Section Measurements of (n,p) and (n,np+pn+d) Reactions For Some Titanium, Chromium, Iron, Cobalt, Nickel And Zinc Isotopes Around 14 MeV. *Nuclear Science and Engineering*, USA, 108:289.
- Vonach H, Wagner M and Haight R C** (1989) Neutron Activation Cross-Sections Of ^{58}Ni And ^{60}Ni For 8-12 MeV Neutrons. *Nuclear Energy Agency Nuclear Data Committee Reports*, France, 259:165.
- Wagner M, Vonach H and Haight R C** (1991) Measurement Of The $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$ Cross Section In The Neutron Energy Range 6 - 13 MeV. *Conference on Nuclear Data for Science and Technology*, Juelich 1991, Germany, p.358.
- Wallner A, Knie K, Faestermann T, Korschinek G, Kutschera W, Rochow W, Rugel G and Vonach H** (2007) Study of the $\text{Ni-}^{60}(n,2n)\text{Ni-}^{59}$ Reaction From Threshold to 20 MeV. *Conference on Nuclear Data for Science and Technology*, Nice 2007, France, 2:1007.
- Yongchang W, Junqian Y, Zhongliang R, Jingkang Y, Sicang X** (1990) The Cross Section Measurement for the $\text{Ni-}^{62}(n,\alpha)\text{Fe-}^{59}$ Reaction. *High Energy Physics and Nuclear Physics*, China, 14:1117.
- Yvon P and Carré F** (2009) Structural Materials Challenges for Advanced Reactor Systems. *Journal of Nuclear Materials*, 385(2):217-222.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Zhou F, Xiao X, Fang K, Lan C and Kong X** (2011) Activation Cross Sections for (n,p) Reactions on Nickel Isotopes Induced by Neutrons Around 14 MeV. *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research*, Netherlands, 269:642.
- Zinkle S J and Ghoniem N M** (2000) Operating Temperature Windows For Fusion Reactor Structural Materials. *Fusion Engineering and design*, 51:55-71.
- Zweit J, Smith A M, Downey S and Sharma H L** (1991) Excitation Functions For Deuteron Induced Reactions in Natural Nickel: Production of No-Carrier-Added Cu-64 from Enriched Ni-64 Targets For Positron Emission Tomography. *Applied Radiation and Isotopes*, UK, 42:193.

ÖZGEÇMİŞ

Aykut YILMAZ, 1989 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlköğretimini Mimar Sinan İlköğretim okulunda ve lise öğretimini Hasan Ali Yücel Lisesinde tamamladı. 2008 yılında Ahi Evran Üniversitesi, Fizik lisans eğitimine başladı ve 2013 yılında bitirdi. 2014 yılının bahar döneminde Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. Yüksek lisans öğrenim dönemi içerisinde 2016 yılında, 2nd International Conference on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology kongresinde “*Investigation of Proton Induced Reactions on the ⁵⁸Ni Target at Low and Medium Energies*” isimli çalışmayı sözlü bildiri yaptı. Yine aynı yıl içerisinde Türk Fizik Derneği 32. Uluslararası Fizik Kongresi’nde “*Investigation of Deuteron Induced Reactions on the Natural Ni Isotopes*” isimli çalışmayı yazılı bildiri yaptı. Halen Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Çaydamar Mahallesi, Kazım Karabekir Caddesi, No: 104
Tel : +90 506 984 1089
E-posta : yilmaz.ayktt@gmail.com