^{27}Al, ^{28}Si FÜZYON YAPI MALZEMELERI İÇİN ÇİFT DİFERANSİYEL PROTON EMİSYON TESİR KESİTLERİNİN HESAPLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gözde DEMİRELLİ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK

FİZİK ANABİLİM DALI

Ekim, 2018

Bu tez çalışması 17.FEN.BİL.07 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

^{27}Al, ^{28}Si FÜZYON YAPI MALZEMELERİ İÇİN ÇİFT DİFERANSİYEL PROTON EMİSYON TESİR KESİTLERİNİN HESAPLANMASI

Gözde DEMİRELLİ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK

FİZİK ANABİLİM DALI

Ekim, 2018

TEZ ONAY SAYFASI

Gözde DEMİRELLİ tarafından hazırlanan "^{27}Al, ^{28}Si Füzyon Yapı Malzemeleri için Çift Diferansiyel Proton Emisyon Tesir Kesitlerinin Hesaplanması" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26/10/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy çokluğu** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin Ali YALIM
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN
Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

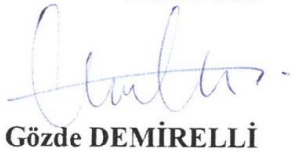
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

21/12/2018



Gözde DEMİRELLİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

^{27}Al, ^{28}Si FÜZYON YAPI MALZEMELERİ İÇİN ÇİFT DİFERANSİYEL PROTON EMİSYON TESİR KESİTLERİNİN HESAPLANMASI

Gözde DEMİRELLİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK

Füzyon reaktörünün yapısal geliştirilmesinde, 14 MeV'lik nötronların reaktör elemanlarına (ilk duvar, koruma vb.) çarpmasıyla oluşan nükleer reaksiyon sonucu çıkan çeşitli hafif yüklü parçacıkların çift diferansiyel tesir kesiti (DDX) verilerine gereksinim ortaya çıkmıştır. Bu veriler, hem reaktörün modellemesi esnasında hem de daha sonra kullanımı esnasında oluşabilecek yapısal deformasyonların belirlenmesinde faydalı olacaktır.

Bu tez çalışmasında, ^{28}Si ve ^{27}Al hedef çekirdeklerinin 14 MeV'lik nötronlarla bombardımanı sonucunda çift diferansiyel proton emisyon tesir kesitleri, TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kodu kullanılarak teorik olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplanan teorik tesir kesitleri, Uluslararası EXFOR nükleer veri kütüphanesindeki mevcut deneysel tesir kesiti değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, TALYS 1.8 kodunda Direkt, Bileşik ve Denge-Öncesi reaksiyonlarının ayrı ayrı tesir kesitleri bulunarak toplam tesir kesitine katkıları araştırılmıştır.

2018, 36 sayfa

Anahtar Kelimeler: Nükleer reaksiyonlar, Talys 1.8, Exfor, Çift diferansiyel tesir kesitleri

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

CALCULATION OF DOUBLE DIFFERENTIAL PROTON EMISSION CROSS SECTIONS FOR STRUCTURAL FUSION MATERIALS ^{27}Al, ^{28}Si

Gözde DEMİRELLİ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Bekir ORUNCAK

In the structural development of the fusion reactor, the need for double differential cross section (DDX) data of various lightly charged particles emitted by the nuclear reaction of 14 MeV neutrons to reactor elements (first wall, blanket etc.) This data will be useful in determining the structural deformations that may occur during both reactor modeling and later use.

In this thesis, double differential proton emission cross sections of the ^{28}Si and ^{27}Al target nuclei resulting from bombardment with 14 MeV neutrons were theoretically calculated using the TALYS 1.8 nuclear reaction code. These calculated cross-sections are compared with the experimental cross-section values available in the EXFOR nuclear data library. In addition, in TALYS 1.8 code, contribution of direct, compound and pre-equilibrium reaction cross sections were found and reaction process was investigated.

2018, 36 pages

Keywords: Reaction, Talys 1.8, Exfor, Double differential cross section

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması 17.FEN.BİL.07 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon (BAPK) Birimi tarafından desteklenmiştir.

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi, çalışmalarımda gereksinim duyduğum her anda yanımda olan, hiçbir fedakârlıktan kaçınmayıp her türlü yardım için elini uzatan ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı saygıdeğer hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Bekir ORUNCAK'a ve Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN'e teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin her aşamasında büyük fedakârlıklar gösterip, zorluklara göğüs gererek bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Münire DEMİRELLİ ve babam Fahrettin DEMİRELLİ' ye teşekkür ederim.

Gözde DEMİRELLİ
AFYONKARAHİSAR, 2018

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ 3
2.1 Nükleer Reaksiyonlar 4
2.2 Nükleer Reaksiyon Türleri 5
2.2.1 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları 5
2.2.2 Direkt Reaksiyonlar 6
2.2.2.1 Esnek Saçılma 7
2.2.2.2 Esnek Olmayan Saçılma 8
2.2.3 Rezonans Reaksiyonlar 9
2.2.4 Denge Öncesi Nükleer Reaksiyonlar 10
2.3 Nükleer Reaksiyon Tesir Kesiti 11
2.4 Diferansiyel Tesir Kesiti 14
3. MATERYAL ve METOT 17
3.1 Kullanılan Materyaller 17
3.1.1 TALYS Bilgisayar Programı 17
4. BULGULAR 19
4.1 Çeşitli Emisyon Açılarındaki ^{28}Si(n,p) Reaksiyonunun Çift Diferansiyel Tesir Kesiti 19
4.1.1 10° Açısında Proton Emisyonu 19
4.1.2 15° Açısında Proton Emisyonu 20
4.1.4 22° Açısında Proton Emisyonu 21
4.1.4 30° Açısında Proton Emisyonu 22
4.1.5 45° Açısında Proton Emisyonu 23

4.1.6 60° Açısında Proton Emisyonu 24
4.1.7 75° Açısında Proton Emisyonu 25
4.1.8 90° Açısında Proton Emisyonu 26
4.2 Çeşitli Emisyon Açılarındaki ^{28}Al(n,p) Reaksiyonunun Çift Diferansiyel Tesir Kesiti 27
4.2.1 8° Açısında Proton Emisyonu 27
4.2.2 60° Açısında Proton Emisyonu 28
4.2.3 120° Açısında Proton Emisyonu 29
4.2.4 150° Açısında Proton Emisyonu 30
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 32
6. KAYNAKLAR 33
ÖZGEÇMİŞ 35

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

α	Alfa
σ	Tesir Kesiti
σ_T	Diferansiyel tesir kesiti
$d\sigma$	Toplam tesir kesiti
I_a	Gelen demet akımı
N	Hedef çekirdek sayısı
R_b	Çıkan parçacık akımı
Ω	Omega, katı açı
Θ, ϕ	DDX parçacık yönelim açıları
π	Pi sayısı
A	Kütle numarası, hedef çekirdek
A^*	Uyarılmış çekirdek
b	Barn
mb	Milibarn
p	Proton
n	Nötron
cm	Santimetre
Sn	Saniye
eV	Elektron volt
MeV	Mega elektron volt
GeV	Giga elektron volt
keV	Kilo elektron volt
Si	Silisyum
Al	Alüminyum
Zn	Çinko
(p,n)	Proton uyarımlı nötron emisyonu reaksiyonu

Kısaltmalar

DDX	Çift Diferansiyel Kesiti
EXFOR	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu Deneysel Nükleer Tesir Kesiti Veri Kütüphanesi
LINAC	Doğrusal hızlandırıcı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Nükleer raeksiyonlarda direkt, denge öncesi ve bileşik çekirdeklerin oluşum süreçleri ve farkları… 5
Şekil 2.2 $^{64}Zn^{*}$ bileşik çekirdeği için farklı oluşum ve bozunum durumları 6
Şekil 2.3 Çekirdek yüzeyinde meydana gelen direkt reaksiyonların geometrisi..... 7
Şekil 2.4 Esnek saçılma..... 8
Şekil 2.5 Esnek olmayan saçılma 9
Şekil 2.6 Gelen demet, hedef ve θ,ϕ'deki $d\Omega$ katı açısı içinde saçılan demet gösteren reaksiyon geometrisi 12
Şekil 2.7 $d\Omega$ katı açısı içinde saçılan demeti gösteren reaksiyon geometrisi..... 16
Şekil 4.1 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(10°) 19
Şekil 4.2 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(15°)..... 20
Şekil 4.3 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(22°)..... 21
Şekil 4.4 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(30°)..... 22
Şekil 4.5 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(45°)..... 23
Şekil 4.6 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(60°)..... 24
Şekil 4.7 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(75°)..... 25
Şekil 4.8 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(90°)..... 26
Şekil 4.9 Alüminyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(8°)..... 27
Şekil 4.10 Alüminyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(60°). 28
Şekil 4.11 Alüminyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(120°). 29
Şekil 4.12 Alüminyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açısal dağılımı(150°). 30

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Tesir kesitleri 13

1. GİRİŞ

Atom çekirdeği üzerindeki ilk bilgiler, 1926 yılına kadar 10^{-12} cm mertebesinde bir çapa sahip olduğu ve pozitif yüklü protonlardan oluştuğundan ibaretti. Ayrıca çekirdeğin etrafında, 10^{-8} cm mertebesindeki yörüngeler üzerinde dolanan elektronun yükü ölçülmüştü. Protonun yükünün de aynı değerde fakat negatif yüklü elektrona zıt bir şekilde pozitif olduğu ve elektronun kütlesinin yaklaşık 2000 katı daha büyük bir kütleye sahip olduğu bulunmuştu. Çekirdekte protonlarla birlikte kütleleri yaklaşık protonunki kadar olan ancak elektriksel açıdan nötr halde bulunan parçacıkların yani nötronların mevcut olduğu daha sonra 1932'de Chadwick tarafından gösterilmiştir. Çekirdek hakkında daha ayrıntılı bilgilerin elde edilebilmesi için bazı enerjetik parçacıklarla çekirdeklerin bombardıman edilmesi ve oluşan bu nükleer reaksiyonlar sonucu açığa çıkan ürünlerin incelenmesi gerekiyordu. Bombardıman parçacığının yüklü olabileceği fakat hedef çekirdeğin pozitif yükünden dolayı ortaya çıkan Coulomb etkileşmesi sebebi ile protonun belirli birleşik enerjisine sahip olması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

İki hafif nükleer parçacık birleştiğinde, ürün çekirdek veya parçacıkların toplam kütlesi reaksiyona giren parçacıkların toplam kütlesinden genellikle daha küçük olduğu için enerji açığa çıkar. Bu reaksiyonlar, füzyon reaksiyonları olarak isimlendirilir; hedef çekirdeklerinin hızlı, yüklü parçacıklar ile bombardıman edilmesiyle veya bir gazın sıcaklığını, nükleer reaksiyonların gerçekleşebileceği kadar yüksek sıcaklıklara çıkarmakla oluşturulabilir. Nükleer füzyon ile enerji elde edilmesi için plazma olarak tanımlanan iyonize hidrojen atomlarının bulunduğu karmaşık ortamı sınırlamak aynı zamanda söz konusu plazmayı güneşin kor sıcaklığının on katına kadar ısıtmak gerekmektedir. Isınma sırasında bazı çok yüksek hızla hareket eden ve çarpışan atom çekirdekleri ise nükleer kaynaşma ve nükleer birleşme amacıyla yeterli enerjiye erişecektir. Hızlı hareket eden parçacıkların çarpışmaları sonucu biriken güç sayesinde ise hidrojen atomları bol olan sınırsız ve doğa dostu bir enerjiye ulaşılacaktır. Ortaya çıkan muazzam güç, füzyon enerjisi, termonükleer enerji, nükleer birleşme enerjisi ve nükleer kaynaşma enerjisi şeklinde çeşitli adlarla anılmaktadır.

Füzyon reaktörü atom çekirdeklerinin yüksek ısıda bir araya gelerek yeni bir maddeye dönüşmesi esnasında enerjiyi açığa çıkaran reaktördür.

Füzyon reaktörlerinde yapı malzemesi olarak kullanılan reaktörlerin farklı parçacıklarla bombardımanı sonucunda oluşan nükleer reaksiyon etkilerinin incelenmesi; özellikle bu reaktörlerin yapılarının tam anlaşılması, reaksiyon sonucu ortaya çıkan parçacıkların kullanımının geliştirilmesi ve ayrıca parçacık hızlandırıcılarının ve füzyon reaktörlerinin zırhlanması bakımından önemlidir. Deneysel veriler uzun süreli, masraflı ve de her izotop için her enerjide mümkün olmasa da, reaksiyon mekanizmaların anlaşılabilmesi ve teorik modellerin hazırlanıp geliştirilebilmesi için deneysel tesir kesitlerine ihtiyaç vardır. Aynı zamanda; teorik modellerin doğrulanması ve ampirik formül çalışmalarının oluşturulabilmesi için, deneysel verilere başvurulmaktadır. Diğer taraftan; bilimsel olarak doğrulanmış ve başarılı bir öngörüye sahip teorik nükleer model ile elde edilen tesir kesiti verisi, deneysel verilerle elde edilemeyen bir eksikliği giderebilir. Bu durumda, hem deneysel hem de teorik tesir kesiti çalışmaları bu alanda önemli bir ihtiyaçtır. Ayrıca; elde edilen nükleer veriler, nükleer yapının araştırılması için teorik çalışmalarda ve nükleer modellerin geliştirilmesinde de önemli yer tutmaktadır.

Bu çalışmada, D-T füzyon reaksiyonu sonucunda açığa çıkan 14 MeV'lik nötronların ilk duvar ve reaktör bileşenleri ile etkileşimi sonunca ortaya çıkabilecek hafif yüklü parçacıkların çift diferansiyel tesir kesiti verilerin gerekliliği tartışılacaktır. Bu verilerin füzyon reaktörü tasarımında ve füzyon reaktörü bileşenlerinde zamanla meydana gelebilecek deformasyonların belirlenmesinde araştırmacılara yön göstermektedir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Bu tez çalışmasında, 14 MeV'lik nötron bombardımanı altındaki Al ve Si hedef çekirdeklerinden yayılan protonların açısal dağılımı hesaplanmıştır. Bu hedef, nötron gelişine göre ileri yönde alınan ^{27}Al, ^{28}Si (n,p) 'den proton spektrumu, doğrudan etkileşimin varlığının kanıtını veren karakteristik bir yapı gösterdiğinden seçilmiştir.

Bu bölümde ise Alüminyum ve Silisyum hedef çekirdeklerine gönderilen 14 MeV'lik nötronların reaktör cihazlarına çarpması nedeniyle oluşan nükleer reaksiyon sonucu çıkan hafif yüklü parçacıkların çift diferansiyel kesit (DDX) verilerinin gerekliliği deneysel ve teorik çalışmaların içerdiği kuramsal temeller hakkında bilgiler ve açıklamalar verilmiştir.

Bazı yapısal füzyon reaktörü malzemelerine yönelik olarak döteron girişli reaksiyonları inceleyen Kaplan ve arkadaşları, reaksiyon tesir kesitlerini hesaplamışlardır (Kaplan vd. 2013)

Fe, Zr, Nb ve Ag füzyon reaktörleri yapısal elementlerinin nükleer reaksiyon modelleri kullanılarak inceleyen Özdoğan tesir kesitlerini hesaplamıştır (Özdoğan 2018).

Bazı yapısal reaktör materyalleri için; 30 MeV nötron gelme enerjisine kadar (n,p) reaksiyonunun tesir kesiti hesaplamaları Tel tarafından gerçekleştirilmiştir (Tel vd. 2010)

$^{54, 56, 57,58}$Fe izotoplarında proton ve nötron salınımı yapan reaksiyonların, nükleer teorik modellerden denge ve denge öncesi reaksiyon teorileri kapsamında 200 MeV'lik enerji altındaki nötron uyarma 2,5° - 177,5° aralığındaki farklı açılarda DDX hesaplamaları yapılmış ve bu sonuçlar literatür verileri ile karşılaştırılmıştır (Han *et al.* 2008).

Nötron ya da proton uyarımlı reaksiyonlarda çıkan parçacıkların DDX ölçümlerinin yanı sıra fisyon reaksiyonlarında DDX'in hesaplandığı çalışmalar da mevcuttur. Bunlara bir örnek, 150 MeV enerjisinde ^{238}U çekirdeğinde fisyon kanalında spektrum

ve tesir kesitinin teorik hesaplandığı çalışmadır. Bu çalışmada, optik model potansiyeli, DWBA, Wood-Saxon formu ve nükleer reaksiyon denge ve denge öncesi bozunma süreçleri ile tanımlanan birleştirilmiş Hauser-Feshbach ve Eksiton modelleri kullanılmıştır (Han *et al*. 2011).

2.1 Nükleer Reaksiyonlar

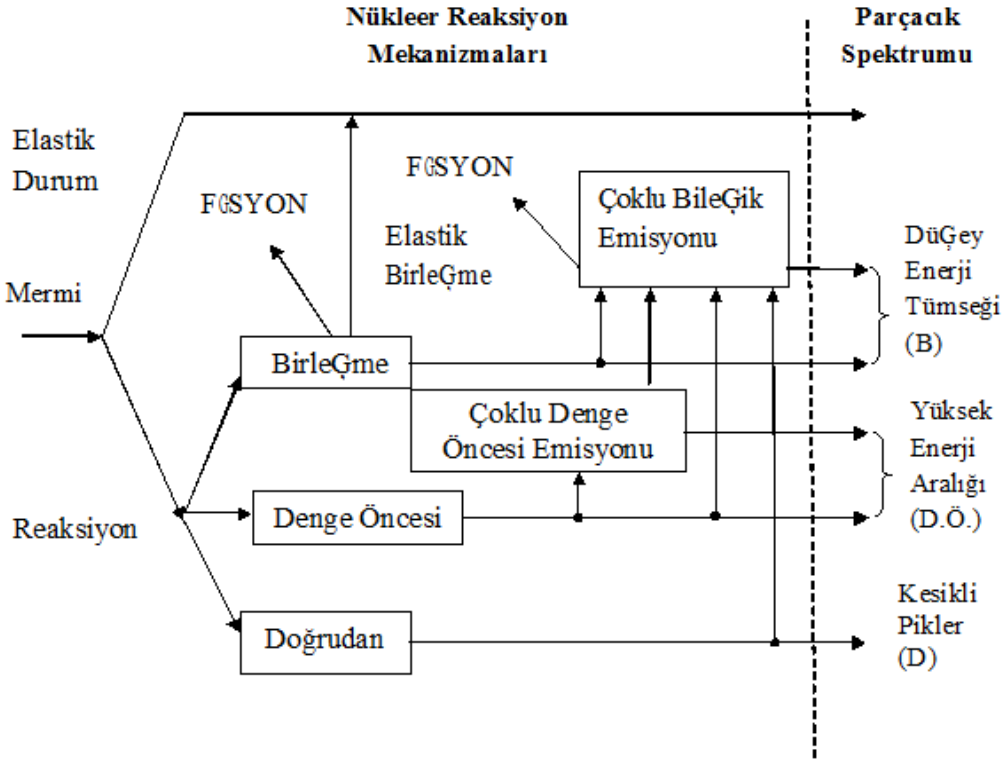
Bir reaktörden, bir hızlandırıcıdan ya da bir radyoaktif kaynaktan yayınlanan, enerji taşıyan parçacıklar, kütlesel veya gaz formundaki bir hedef malzeme üzerine düşürülürlerse, bu hedef içerisindeki elementlerin atomunun çekirdekleri ile enerjik mermi parçacıkları arasında nükleer reaksiyonlar oluşturulabilir.

Nükleer reaksiyonlar, enerji taşıyan bu mermi parçacıkların kütle numaralarına ve enerjilerine göre üç ayrı durumda gözlemlenebilir. Bunlar;

- Kütle numarası $A \leq 4$ ve nükleon başına enerjisi 10 MeV ya da daha az olan mermi parçacıkları için klasik düşük enerjili nükleer reaksiyon kuralları geçerli olup, nükleer fizik kapsamında genellikle bu reaksiyonlar incelenir.
- $A < 40$ olan mermi parçacıkları ile oluşturulan nükleer reaksiyonlar, ağır iyon reaksiyonları olarak adlandırılır. Son zamanlarda üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı reaksiyon grubudur.
- Kinetik enerjisi 100 MeV – 1 GeV aralığında olan mermi parçacıkları orta enerjili reaksiyon sınıfında olup bu reaksiyonlarda proton ve nötronlar birbirlerine dönüşebilirken, mezon oluşumu gözlenir. 1 GeV üzerinde enerjiye sahip olan parçacıklar için, nükleonları oluşturan kuarklar yeniden yapılanabilir ve tüm sihirli parçacıklar oluşturulabilir. Bu tür reaksiyonlar, yüksek enerjili reaksiyonlar grubundadır (Krane 2001).

Nükleer reaksiyonlar direkt reaksiyonlar, bileşik reaksiyonlar ve denge öncesi reaksiyonlar olmak üzere en genel şekilde üç şekilde incelenmiştir. Direkt reaksiyonlar çok hızlı reaksiyonlardır. Bu tür reaksiyonların süresi, bir mermi parçacığın, hedef çekirdeği çap boyunca hiç etkileşmeden geçmesi için ortalama süre olarak 10^{-22}

saniyedir. Bileşik çekirdek reaksiyonları ise, direkt reaksiyonlara göre oldukça uzun bir süreye sahiptirler. Bu süre de ortalama olarak 10^{-16} saniyedir. Bileşik çekirdek reaksiyonları istatistiksel metotlarla incelenir. Nükleer reaksiyon mekanizmaları Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Nükleer reaksiyonlarda direkt, denge öncesi ve bileşik çekirdeklerin oluşum süreçleri ve farkları (Koning *et al*. 2013)

2.2 Nükleer Reaksiyon Türleri

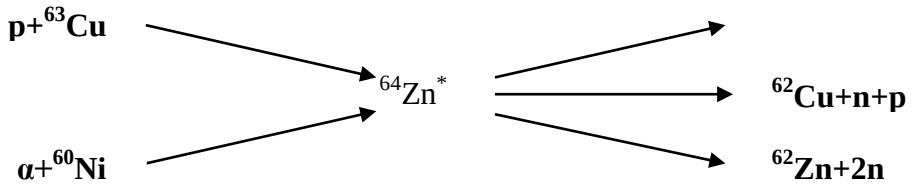
2.2.1 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları

Gelen parçacığın yarıçapına göre küçük bir çarpışma parametresi ile hedef çekirdeğe girdiğini varsayalım. Bu parçacığın muhtemelen basit bir saçılma ile hedef nükleonlardan ardışık etkileşim yapma ihtimali vardır. Geri tepen nükleon ve gelen parçacık diğer nükleonlarla ardışık çarpışma yapabilir ve böyle birkaç etkileşmeden sonra gelme enerjisi, (gelen parçacık + hedef) bileşik sisteminin nükleonları arasında paylaşılır. Herhangi tek bir nükleonun enerjisindeki ortalama artış, çekirdeği terk etmesine yetecek kadar değildir. Fakat bu rasgele çarpışmalar meydana gelirken

enerjilerdeki istatistiksel dağılımla çekirdekten bir nükleonun salıverme olasılığı artar. Ayrıca, tek bir nükleonun çekirdeği terk edecek enerjiye sahip olma ihtimali de vardır. Bu ihtimal moleküllerin sıcak bir sıvıdan kaçması ihtimali kadardır. Böyle reaksiyonlar gelen parçacığın soğurulmasından sonra çıkan parçacığın yayınlanmasından önce belirli bir ara durum oluşturur. Oluşan bu duruma bileşik çekirdek denir. Sembolik olarak bileşik çekirdek reaksiyonu;

$$a + X \rightarrow C^{*} \rightarrow Y + b \qquad (2.1)$$

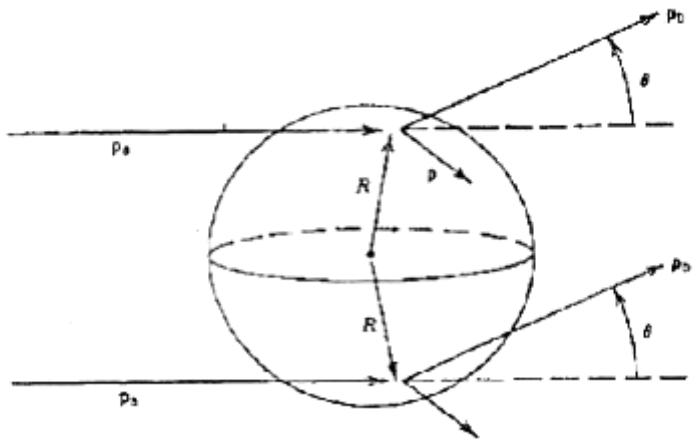
şeklinde ifade edilir. Burada C^{*} bileşik çekirdeği göstermektedir. Böyle bir reaksiyonu iki basamaklı bir işlem olarak göz önüne alabiliriz: bileşik çekirdeğin oluşması ve sonra bozunumu. Belirli bir bileşik çekirdek, farklı yollarla bozunabilir. Nükleer reaksiyonların bileşik çekirdek modelinin temel varsayımı; bileşik çekirdeğin bozunma olasılığı, bileşik çekirdeğin oluşum sürecinden bağımsızdır şeklinde ifade edilebilir. Bozunma olasılığı sadece sisteme verilen toplam enerjiye bağlıdır. Bileşik çekirdek nasıl meydana geldiğini unutur ve istatistiksel kurallara göre örnek olarak Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bozunur (Krane 2002).



Şekil 2.2 $^{64}Zn^{*}$ bileşik çekirdeği için farklı oluşum ve bozunum durumları (Krane 2002).

2.2.2 Direkt Reaksiyonlar

Bu reaksiyonda gelen mermi parçacığın enerjisi arttıkça parçacığın dalga boyu, çekirdek içi nükleonla etkileşecek kadar düşer. Bu durumda bombardıman parçacığı öncelikli olarak çekirdeğin yüzeyindeki nükleonlarla etkileşir. Bu etkileşim Şekil 2.3'de geometrik olarak gösterilmektedir. Bu reaksiyon, direkt reaksiyonları oluşturur. Bu reaksiyonla, bir kabuk durumuna bir nükleon eklenip, koparıldığı için çekirdeğin kabuk yapısının incelenmesine katkıda bulunulur. Aynı zamanda ürün çekirdeğin birçok uyarılmış durumuna bu reaksiyonla ulaşılır.



Şekil 2.3 Çekirdek yüzeyinde meydana gelen direkt reaksiyonların geometrisi (Krane, 2001).

Direkt reaksiyonlar aşağıdaki özelliklere sahiptir:

1) Yüksek enerjilerde meydana gelirler ve reaksiyonun oluşma süresi bileşik reaksiyonlarına göre daha kısadır (10^{-22} s'den daha kısa).
2) Reaksiyon sırasında mermi ve hedef çekirdek kontak yaparak şiddetli absorpsiyon meydana getirirler.
3) Etkileşim genelde yüzeyde, değerlik nükleonları arasında meydana gelir.
4) Tesir kesitleri bileşik çekirdek reaksiyonlarına göre düşüktür; tesir kesitleri küçük açılarda pik yaparken büyük açılarda ise şiddetleri düşmektedir.

2.2.2.1 Esnek Saçılma

Esnek saçılmalarda reaksiyon giriş ve çıkış kanallarındaki bileşenlerin birbirine eşit olması gerekir. Bu tip reaksiyonlarda çekirdeklerin iç dinamiklerinde bir değişim gözlenmez. Bu reaksiyon tipi,

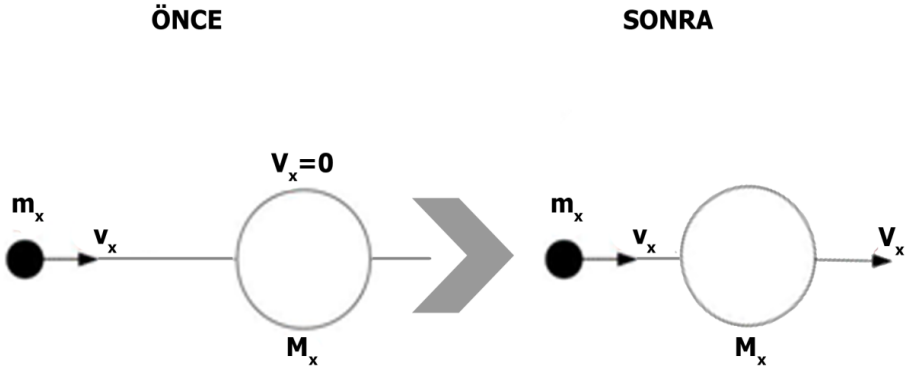
$$\alpha + X \rightarrow b + Y + C^{*} \qquad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada X = Y (taban durumunda olma halleri) α = b ve C^{*} = 0'dır. Denklem (2.2) ve şekil 2.4 bu reaksiyona örnek verilmektedir. Şekil 2.11 de m_x ve υ_x gelen mermi parçacığın hızını ve kütlesini gösterirken, M_x ve V_x hedef çekirdeğin hızı ve

kütlesini gösterir. m_y ve υ_y saçılan parçacığın hızını ve kütlesini gösterirken, M_y ve V_y ürün çekirdeğin hızı ve kütlesini gösterir. Esnek saçılma tepkimesine örnek olarak,

$$p + {}^{190}_{76}Cl \rightarrow p + {}^{190}_{76}Cl \tag{2.3}$$

tepkimesi verilebilir.



Şekil 2.4 Esnek saçılma (Yılmaz 2012)

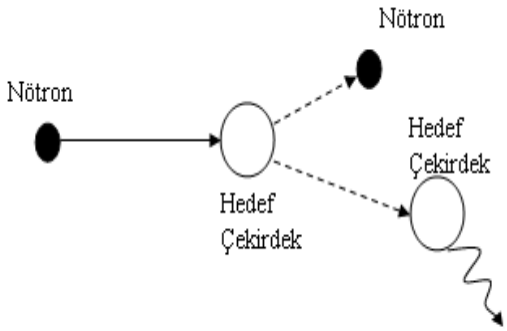
2.2.2.2 Esnek Olmayan Saçılma

Esnek olmayan saçılmalarda hedefe yollanan enerji yüklü α mermi parçacığının enerjisi, Coulomb bariyerini aşacak kadar yüksek olması halinde hedef çekirdeği uyarması ya da kendisinin uyarılması durumudur. Bu durum Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Esnek olmayan saçılma reaksiyonları $A(\alpha,\alpha)A^*$ veya $A(\alpha,\alpha^*)A^*$ şeklinde gösterilebilirken, sadece momentum ve enerji transfer edilir. Yukarıda ifade edilen bu reaksiyonda, α'nın kompleks bir çekirdek olduğu düşünülür. Esnek olmayan saçılmada gelen parçacığın enerjisinin bir kısmı hedef çekirdeğin uyarılmış kısmına gider, yani $Q = - E_x$ biçiminde sıfırdan farklı bir değer alır. Esnek olmayan saçılma tepkimelerine örnek olarak,

$$p + {}^{18}_{9}F \rightarrow p + {}^{18}_{9}F^*$$

$$\alpha + {}^{40}_{20}Ca \rightarrow \alpha' + {}^{40}_{20}Ca^* \tag{2.4}$$

tepkimeleri verilebilir. Şekil 2.5' de ise esnek olmayan saçılmaların kapasitesi gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Esnek olmayan saçılma (Yılmaz 2012).

2.2.3 Rezonans Reaksiyonları

Nükleer reaksiyonların bileşik çekirdek modeli, bağlı olmayan durumları yapısız, sürekli bir durum olarak incelenir. Yani kesikli nükleer durumlar bulunabilir, fakat bunlar o kadar çok sayıda ve birbirlerine o kadar çok yakınlardır ki sürekli bir spektrum oluştururlar. Kesikli durumlar olarak kabul edilen bu durumların her biri bozunmaya karşı kararsızdır ve dolayısıyla belirli bir genişliğe sahiptirler. Bu durumların sayısı durumlar arasındaki mesafe, her durumun genişliğinden daha küçük olacak kadar çok olduğunda bileşik çekirdek sürekli durumu meydana gelir. Direkt reaksiyonlar ile incelenen bağlı durumlar, ölçeğin ters ucundadır. Bunlar parçacık yayınlanmasına karşı kararlı olduklarından, ortalama ömürleri daha uzundur. Bunlara karşılık gelen genişlikler daha küçüktür. Bundan dolayı belirli dalga fonksiyonlarına sahip kesikli durumları ele alabiliriz.

Bileşik çekirdek bölgesindeki kesikli düzeyler bu iki durum arasındaki rezonans bölgesidir. Bu düzeylerin meydana gelme olasılığı çok yüksektir ve bunların genişlikleri çok küçüktür. Çünkü bu rezonansların, meydana gelme olasılıklarının çok yüksek olduğu düşük gelme enerjisinde, genel olarak sadece iki bozunma moduna sahip bağlı durum, gelen parçacığı elastik ya da inelastik saçılma ya da γ olarak yeniden yayınlanabilir (Krane 2002).

2.2.4 Denge Öncesi Nükleer Reaksiyonlar

10 MeV' in üzerindeki gelme enerjisinde direkt reaksiyon sürecinden hemen sonra ve çekirdeğin de istatistiksel durumu oluşmadan önce, parçacık yayınlanması mümkündür. Bu süreç, denge öncesi ya da bileşik öncesi nükleer reaksiyonlar olarak adlandırılmaktadır. Bu reaksiyonların zaman ölçeği, direkt reaksiyonlar ile bileşik çekirdek reaksiyonları arasında olmaktadır.

İlk olarak 1950 - 1960'lı yıllarda yapılan deneylerden elde edilen gözlemler, direkt reaksiyonu ile bileşik çekirdek reaksiyonunun dışındaki denge öncesi reaksiyon mekanizmasının meydana geldiğini göstermiştir. Elde edilen gözlemler, hem direkt reaksiyon sürecinden hem de bileşik çekirdek reaksiyon sürecinden farklı sonuçlar göstermektedir.

Denge öncesi reaksiyonları inceleyen başlıca modeller şunlardır:

1) İntranükleer Çığ (Cascade) ve Buharlaşma Modeli
2) Griffin (Eksiton) Modeli
3) Hibrit Modeli
4) Geometri Bağımlı Hibrit Modeli

Yukarıdaki modellerin hepsinde istatistiksel yöntemler kullanılmış olup, hesaplamalarda ise çekirdek yapısı hesaba katılmaz. Yayınlanan parçacık spektrumunu başarılı bir şekilde veren ilk model Griffin (1996) in çalışmaları ile sonuçlanan Eksiton modeldir. Eksiton model; geniş aralıktaki deneysel verilerin analizi kullanılarak, çeşitli araştırmacılar tarafından da geliştirildi. Diğer bir önemli model ise Harp, Miller ve Berne tarafından ortaya konulan çalışmalardır (Harp *et al.* 1968, Harp and Miller 1971). Blann, 1971 yılında tarafından hazırlanan hibrit model, Griffin ve Harp, Miller ve Berne modellerinin bakış açılarını birleştiren bir modeldir ve çok geniş kullanılabilen bir formülasyona sahiptir. Blann, bu modeli daha sonra düzenleyerek geometri bağımlı hibrit modeli hazırlamıştır. 1971' de ve daha sonraki yıllarda bu çalışmalar (Bertrand and Peelle 1973, Serber 1974b, Bertini *et al.* 1974) intranükleer cascade modeli de denge ve denge öncesi bölgesine dahil edilmiştir.

Sonra yapılan kuantum mekaniksel çalışmalarla (Feshhbach *et al.* 1980, Tamura *et al.* 1982, Nishioka *et al.* 1986, 1988, 1989) yayınlanan parçacık açısal dağılımı hesaplanmıştır (Betak and Hodgson 1998, Blann 1975). Bu modellerin daha ayrıntılı ve geniş anlatımına Pekdoğan (2011) da yer vermiştir.

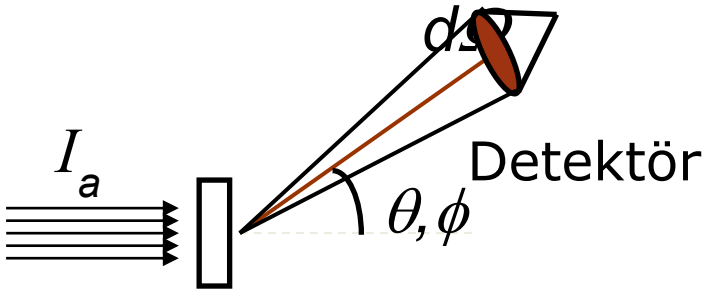
2.3 Nükleer Reaksiyon Tesir Kesiti

Bir nükleer reaksiyonun oluşma ihtimalini belirleyen ölçülebilen niceliklere tesir kesiti adı verilir. Gelen parçacık demeti ile hedef çekirdeğin nükleer reaksiyon meydana getirmesinin bağıl olasılığı nükleer tesir kesiti olarak adlandırılır. Gelen parçacıkların hedef çekirdekleri ile doğrudan etkileştikleri belirli etkin alanları vardır. Tesir kesitinin birimi Barn'dır. Barn (b), genellikle kullanılan milibarn ise, mb sembolüyle gösterilir ($1b = 10^3$ mb $= 10^{-24}$ cm^2).

Mikroskobik fizik alanında teoriler genellikle kesinlik ifade etmemektedir. Farklı çekirdek reaksiyonlarının meydana gelme ihtimallerini ölçmek ya da hesaplamak bu durumda oldukça önemlidir. Radyoizotop üretiminde, soğurulmada, saçılmada veya herhangi bir nükleer reaksiyonda gelen parçacıklar hedefe çarptıkları zaman neler olabileceğini ifade etmenin yolları bilinmek durumundadır. Genel olarak, tesir kesiti nükleer reaksiyonunun meydana gelme ihtimalinin bağıl bir ölçüsünü verir (Krane 2001).

Nükleer reaksiyon modeline göre birbirlerine doğru gelen iki küre birbirlerine değerlerse bir reaksiyon gerçekleşir. Bu reaksiyon olasılığı her iki kürenin de yüzey alanları ile doğru orantılıdır. Örnek olarak bir nötronun hedef ile etkileşme olasılığı çekirdek yüzeyinin alanı ile doğru orantılı ve hedef ile etkileşen nötronun büyüklüğü yaklaşık 1 barn kadardır. Bir nükleer reaksiyonun enerjisi, Coulomb engeli ile Q değerini aşmak için gereken enerjiden düşük ise (tünelleme olayı hariç) nükleer reaksiyon oluşmaz. Engelin altındaki enerjilerde reaksiyon olasılığı düşüktür. Nükleer reaksiyon için ihtiyaç duyulan enerji, hedef malzemenin atom numarası arttıkça artmaktadır. Küçük atom numaralı hedef malzemeler düşük enerjili hızlandırıcılarla kullanılabilir ancak yüksek atom numaralı hedefler için parçacık enerjisi yüksek

olmalıdır (Yalçıner 2008).



Şekil 2.6 Gelen demet, hedef ve θ,ϕ'deki $d\Omega$ katı açısı içinde saçılan demet gösteren reaksiyon geometrisi (Krane 2002)

Şekil 2.6'da gösterilen demet doğrultusuna göre θ,ϕ doğrultusunda yayınlanan b parçacığını kaydetmek için bir dedektör yerleştirirsek, dedektör hedef çekirdekte küçük bir $d\Omega$ katı açısını tanımlar. Birim zamanda gelen parçacıkların akımı I_a olsun ve birim alandaki hedef çekirdek sayısını da N ile gösterelim. Çıkan parçacıkların sayısı R_b ise, reaksiyon tesir kesiti;

$$\sigma = \frac{\mathrm{R_b}}{\mathrm{I_a N}} \tag{2.5}$$

şeklinde tanımlanır. Bu yolla tanımlanan σ, çekirdek başına alan boyutuna sahiptir. Ancak gelen demetin gördüğü alan, hedef çekirdeklerin kesitlerinin geometrik alanından daha büyük ya da daha küçük olabilir (Krane 2002).

Gelen parçacıklar hedef çekirdekleriyle etkileştiklerinde, her zaman sadece bir tür nükleer reaksiyon medyana getirmeleri gerekmez. Şayet birden fazla türde reaksiyon meydana gelmişse her bir tür için tesir kesiti genellikle farklı olacaktır. Bu özel tesir kesitlerine kısmi tesir kesitleri denir ve toplam tesir kesiti bunların toplamına eşit olacaktır. Nükleer reaksiyon veya saçılma meydana geldikten sonra dışarı gönderilen parçacıklar çoğu kez anizotropik dağılım gösterirler ve aynı zamanda farklı açılarda farklı enerjilere sahip olurlar. Diferansiyel tesir kesiti sadece enerjiye bağımlı değil, aynı zamanda tesir kesitinin yöne bağımlılığının nükleer reaksiyonun cinsine göre olduğu bilinmektedir. Şekil 2.6' da açıya bağımlı diferansiyel tesir kesitinin gösterimi

ve Çizelge 2.1'de tüm tesir kesitleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 Tesir kesitleri

Tesir Kesitleri	Sembol	Teknik	Olanaklı Uygulama
Toplam	σ_t	Demetin incelenmesi	Zırhlama
Reaksiyon	Σ	Tüm açılar üzerinden integral alınması	Bir nükleer reaksiyonda ürün çekirdek radyoizotop üretimi
Diferansiyel (açısal)	$d\sigma / d\Omega$	(θ,φ) nin gözlenmesi	Belirli bir doğrultuda çıkan parçacıklar demetinin oluşumu
Diferansiyel (enerji)	$d\sigma / De$	Parçacık gözlenmez	Ürün Çekirdeğin uyarılmış durumlarının bozunmasının incelenmesi
Çift Diferansiyel	$d^2\sigma$ /dEdΩ	belirli bir enerjide ve (θ,φ)'de gözlenir	Çıkan parçacığın açısal dağılımı ile ürün çekirdeğin uyarılmış durumları hakkında bilgi edinilmesi

Farklı amaç ve uygulamalara bağlı olarak tesir kesiti literatürde beş farklı şekilde kullanılır. Bunlar:

Toplam tesir kesiti (σ_t): Tüm doğrultu veya enerjilerde gelen bir parçacık durumunda, yayınlanması mümkün olan her tür farklı parçacık için doğrultu veya yön dikkate alınmaksızın σ reaksiyon tesir kesitlerinin toplamıdır. Zırhlama amacına uygun olarak kullanılır.

Reaksiyon tesir kesiti (σ): Yayınlanan parçacığın bütün enerjileri (Y'nin tüm uyarılmış durumları) ve tüm açılar üzerinden integral alınmasını gerektiren tesir kesitidir ve bir nükleer reaksiyonda radyoizotop üretimini gerektiren amaca uygundur.

Diferansiyel (açısal) tesir kesiti ($d\sigma/d\Omega$): Yayınlanan parçacıkların tüm enerjiler için

belli (θ,ϕ) açısında gözlenmesi durumunu tanımlar ve belirli bir doğrultuda b parçacıklar demetinin oluşumu veya Y ürün çekirdeklerinin belirli bir doğrultuda geri tepmesi amacına uygun olarak kullanılır.

Diferansiyel (enerji) tesir kesiti (dσ/dE): Yayınlanan parçacık gözlenmez fakat ardışık γ yayınlanması ile Y ürün çekirdeğinin uyarılması gözlenir ve Y'nin uyarılmış durumlarının bozunmasının incelenmesi amacına uygundur.

Double diferansiyel tesir kesiti ($d\sigma/dE_b d\Omega$): b parçacıkları belirli bir enerjide ve (θ,ϕ) katı açısında gözlenir ve b parçacıklarının açısal dağılımı ile Y ürün çekirdeklerinin uyarılmış durumları hakkında bilgi edilmesi amacına uygundur.

2.4 Diferansiyel Tesir Kesiti

Gelen parçacık hedef çekirdekler etkileştikleri zaman tek tip bir nükleer reaksiyon meydana getirmez. Eğer birden fazla nükleer reaksiyon meydana gelirse, her bir reaksiyon için tesir kesitleri farklı farklı gözlemlenir. Bu özel tesir kesitlerine diferansiyel (kısmi) tesir kesirleri denilmekte ve toplam tesir kesiti bunların toplamından oluşmaktadır. Nükleer reaksiyondan veya saçılmadan sonra meydana gelen parçacıkların çoğu, anizotropik dağılma gösterirler ve aynı zamanda farklı açılarda farklı enerjilere sahip olurlar. Geliş yönüyle θ açısı yaparak $d\Omega$ katı açısı içine birim zamanda saçılan parçacıkların sayısının bilinmesi oldukça önemlidir. Böylece açıya bağımlı başka bir tesir kesitine ihtiyaç duyulur ve birim katı açı başına düşen tesir kesiti olarak tarif edilerek,

$$\sigma(\theta,\emptyset) = \frac{d\theta}{d\Omega} \tag{2.6}$$

şeklinde yazılır. Böylece toplam tesir kesiti ise,

$$\sigma_T = \int \Omega \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega \tag{2.7}$$

olacaktır. *dΩ* katı açısı değeri, Şekil 2.7 yardımı ile,

$$\mathrm{d\Omega} = \frac{\text{alan}}{(\text{mesafe})^2} = \frac{\mathrm{dA}}{\mathrm{r^2}} = \frac{(\mathrm{rd\theta})(\mathrm{rsin\theta d\emptyset})}{\mathrm{r^2}} = \mathrm{sin\theta d\theta d\emptyset} \tag{2.8}$$

ifadesi ile verilir. Toplam katı açı,

$$\Omega = \int \Omega \, \mathrm{d\Omega} = \iint \mathrm{sin\theta d\theta d\emptyset} = 4\pi \tag{2.9}$$

olup katı açı kesri ise,

$$\frac{\mathrm{d\Omega}}{\Omega} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{r^2}} \frac{1}{4\pi} = \frac{\mathrm{A}}{4\pi \mathrm{r^2}} \tag{2.10}$$

dir. σ_T, toplam tesir kesitindeki iki açıyı birleştirerek,

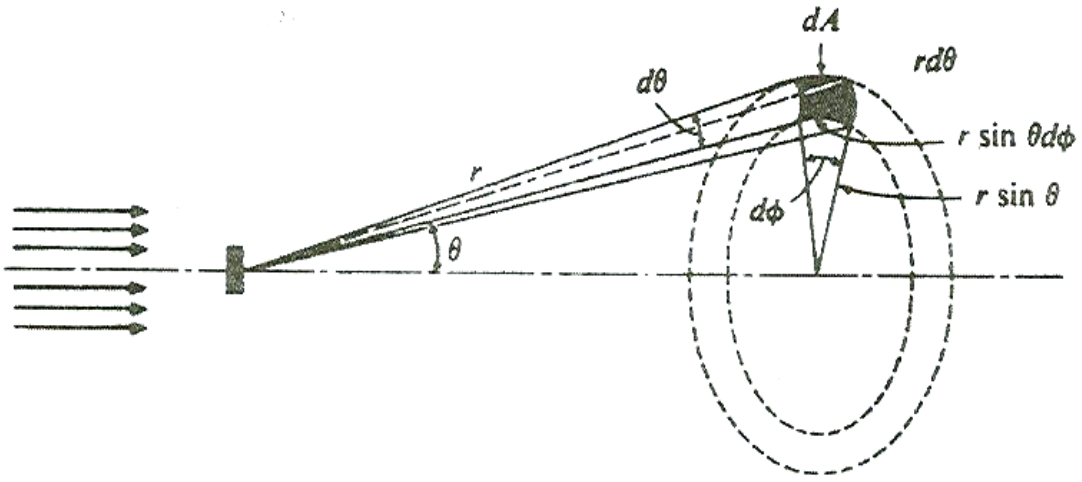
$$\sigma_{\mathrm{T}} = \int \frac{\mathrm{d\sigma}}{\mathrm{d\Omega}} \mathrm{d\Omega} = \int \frac{\mathrm{d\sigma}}{\mathrm{d\Omega}} \, \mathrm{sin\theta d\theta d\emptyset} \tag{2.11}$$

ifadesi ile bulunabilir.

Şayet diferansiyel tesir kesiti ϕ'den bağımsız ise tesir kesiti (ϕ üzerinden integral alındıktan sonra);

$$\sigma_{\mathrm{T}} = 2\pi \int \frac{\mathrm{d\sigma}}{\mathrm{d\Omega}} = \mathrm{sin\theta d\theta} \tag{2.12}$$

olacaktır. Burada $d\sigma/d\Omega = \sigma(\theta)$ diferansiyel tesir kesitidir. Diferansiyel tesir kesiti ölçümünün, sadece enerjiye bağımlı olmayıp, aynı zamanda tesir kesitinin yöne bağımlılığının nükleer reaksiyonun cinsine göre olduğu gerçeğinin bulunmasında da faydası vardır. Teori ile deney arasındaki uygunluk, farz edilen nükleer kuvvet şeklinin doğruluk derecesini verecektir (Yalçıner 2008).



Şekil 2.7 dΩ katı açısı içinde saçılan demeti gösteren reaksiyon geometrisi

3. MATERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasına konu olan ^{27}Al (n,p) ve ^{28}Si (n,p) reaksiyonlarının tesir kesitlerinin hesaplanması için TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar EXFOR kütüphanesinden alınan deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır.

Tezin amacına uygun olarak, ^{27}Al ve ^{28}Si hedef çekirdeklerinin çift diferansiyel proton emisyon tesir kesitleri, 14 MeV nötron gelme enerjisinde TALYS 1.8 kodu ile teorik olarak hesaplanmıştır. Teorik olarak hesaplanan tesir kesitleri, EXFOR kütüphanesinde mevcut deneysel değerler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, TALYS programında Direkt, Bileşik ve Denge-Öncesi reaksiyonlarının toplam tesir kesitine katkıları araştırılmıştır. Teorik ve deneysel değerler tüm emisyon açılarında uyumlu olarak görülmüştür.

3.1 Kullanılan Materyaller

Bu yüksek lisans tezinde ^{27}Al(n,p) ve ^{28}Si(n,p) reaksiyonları için TALYS 1.8 bilgisayar programı kullanılarak tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Bu bilgisayar programı aşağıda kısaca anlatılmıştır.

3.1.1 TALYS Bilgisayar Programı

TALYS bilgisayar programı, nükleer reaksiyonların simülasyonu için yazılmış olan bir paket programıdır. TALYS programında kullanılan nükleer modeller tüm ana reaksiyon mekanizmaları kapsayacak şekilde hazırlanmıştır. Ayrıca; TALYS programı tüm reaksiyon kanallarının ve gözlenebilirlerin tam olarak belirlenmesini sağlar. 1 keV – 1 GeV enerji aralığında nötron, proton, döteryum, trityum, ^{3}He, α parçacıkları ve γ ışını mermi parçacıkları için hesaplama yapılabilmektedir. 1 keV – 1 GeV enerji aralığında nötron, proton, döteryum, trityum, ^{3}He, α parçacıkları ve γ ışını mermi parçacıkları için hesaplama yapılabilmektedir. Hedef çekirdek kütleleri $5 < A < 339$ arasında geliştirilmiş olup nükleer reaksiyon modellerine bağlı nükleer hesaplamalar gerçekleştirilmektedir.

TALYS; seviye yoğunluğu modelleri, optik modeller, fisyon reaksiyon modelleri, direkt reaksiyon modelleri, bileşik çekirdek reaksiyon modelleri ve denge öncesi reaksiyon modellerini nükleer reaksiyon tesir kesiti hesaplama işlemlerinde kullanmaktadır.

TALYS programından elde edilen dosyalardan;

- Esnek ve esnek olmayan toplam kesir kesiti
- Elastik saçılma da açısal dağılımlar
- Kesikli seviyelerde açısal dağılımlar
- İzometrik ve taban durum tesir kesiti
- Toplam parçacık (n,xn), (n,xp) gibi enerji ve çift diferansiyel tesir kesitleri
- Tekli ya da çoklu emisyon tesir kesitleri
- Ürün çekirdeklerinin oluşum tesir kesiti

sonuçları elde edilebilir.

TALYS 1.8 kodu bileşik, denge öncesi ve direkt mekanizmalara göre çift diferansiyel tesir kesit hesaplamasında kullanılmıştır. TALYS 1.8 kodu, ^{27}Al ve ^{28}Si(n,p) reaksiyonları için 14 MeV'lik nötronlar tarafından oluşturulan farklı açılardaki çift diferansiyel kesitini hesaplanmasında kullandık.

4. BULGULAR

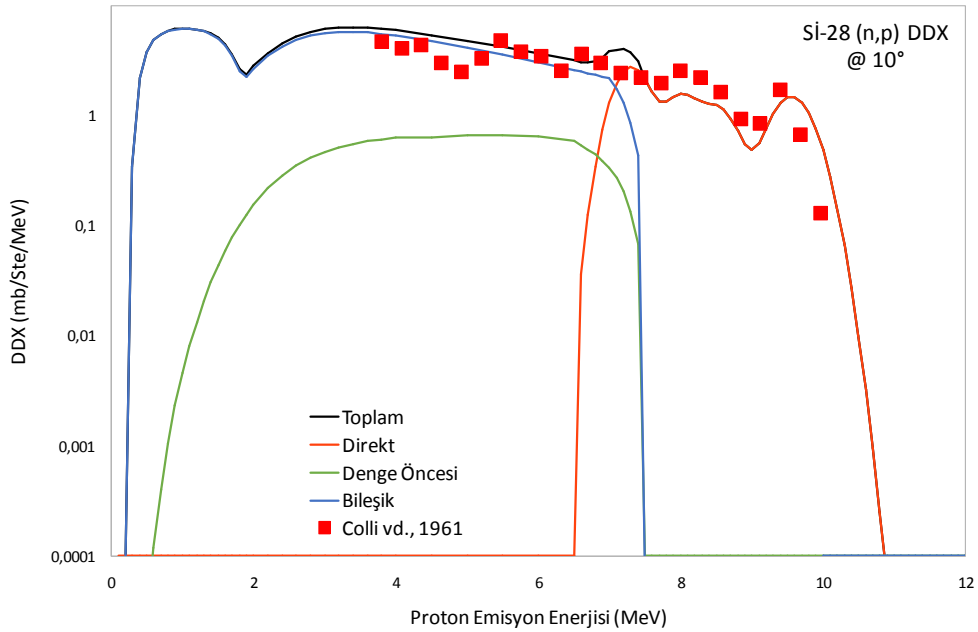
Mevcut pek çok bilgisayar tabanlı hesaplama programları arasından bu programın seçilmesinin başlıca nedeni, çalışmanın odağındaki hesaplamaları gerçekleştirebilecek olmalarının yanı sıra, pek çok kez farklı uygulamalar için kullanılmış olmaları ile literatüre sağladıkları yaygın etki ve kabul gören sonuçlar üretebilme yetenekleridir.

Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen hesaplama sonuçları bu bölümde ilgili alt başlıklarında sunulmuştur.

4.1 ^{28}Si(n,p) Reaksiyonunun Çift Diferansiyel Tesir Kesiti

4.1.1 10° Açısında Proton Emisyonu

^{28}Si(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Colli vd. (1961) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

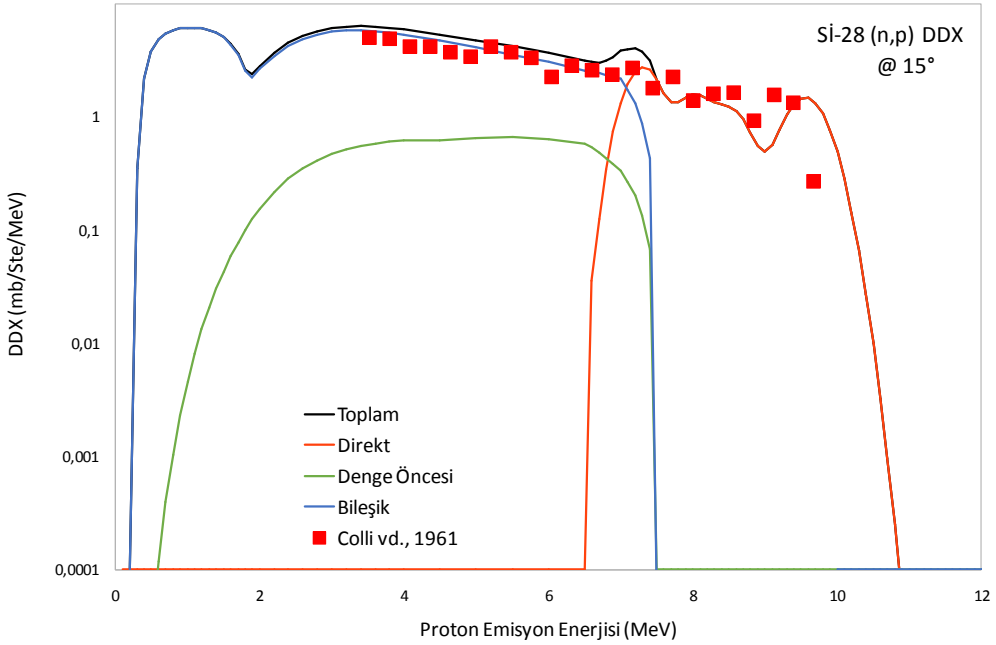
Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, ^{28}Si(n,p) reaksiyonu için 10° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için ($d\sigma/d\Omega.dE$), TALYS

1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Colli vd. (1961)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi; yaklaşık 6,88 MeV'lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.1.2 15° Açısında Proton Emisyonu

^{28}Si(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Colli vd. (1961) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

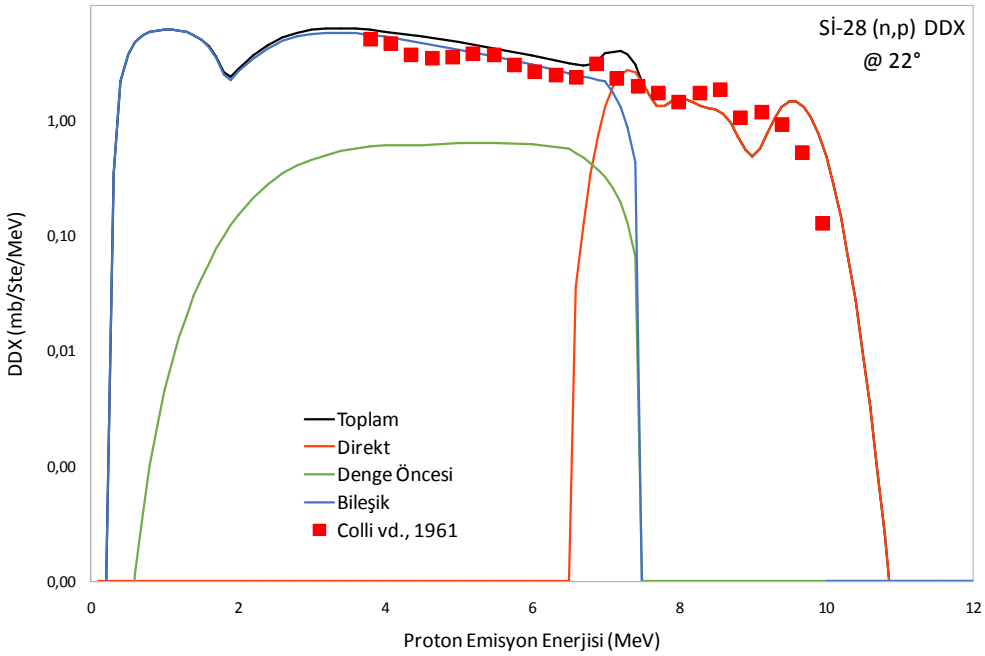
Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, ^{28}Si(n,p) reaksiyonu için 15° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için (dσ/dΩ.dE), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının

hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Colli vd. (1961)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi; yaklaşık 6,6 MeV'lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.1.3 22° Açısında Proton Emisyonu

^{28}Si(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Colli vd. (1961) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



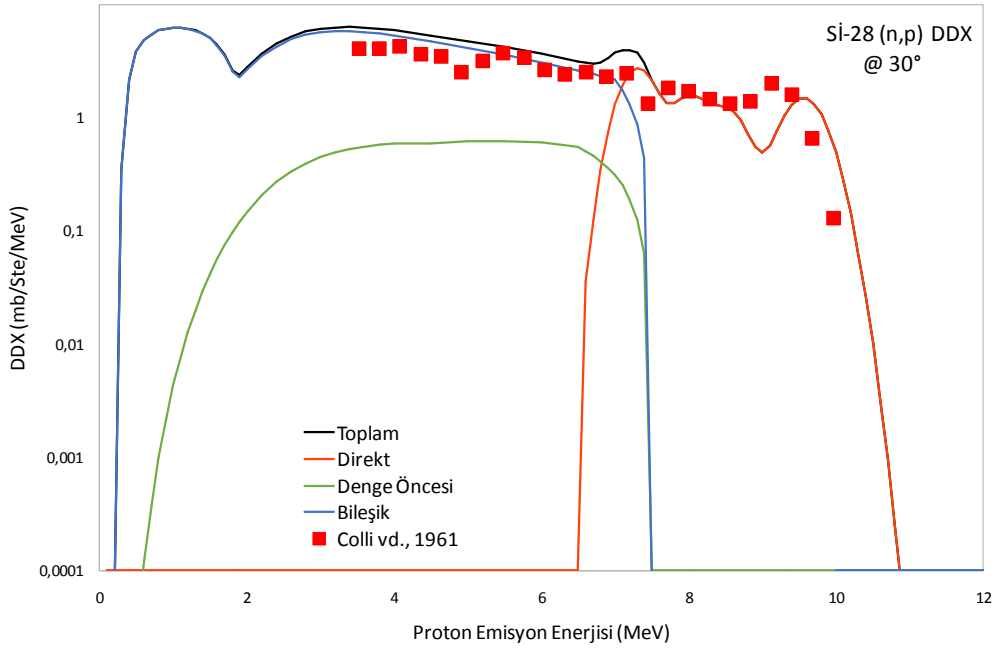
Şekil 4.3 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, ^{28}Si(n,p) reaksiyonu için 22° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için ($d\sigma/d\Omega.dE$), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Colli vd. (1961)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi; yaklaşık 6,88 MeV'lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.1.4 30° Açısında Proton Emisyonu

^{28}Si(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Colli vd. (1961) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.4' de gösterilmiştir.



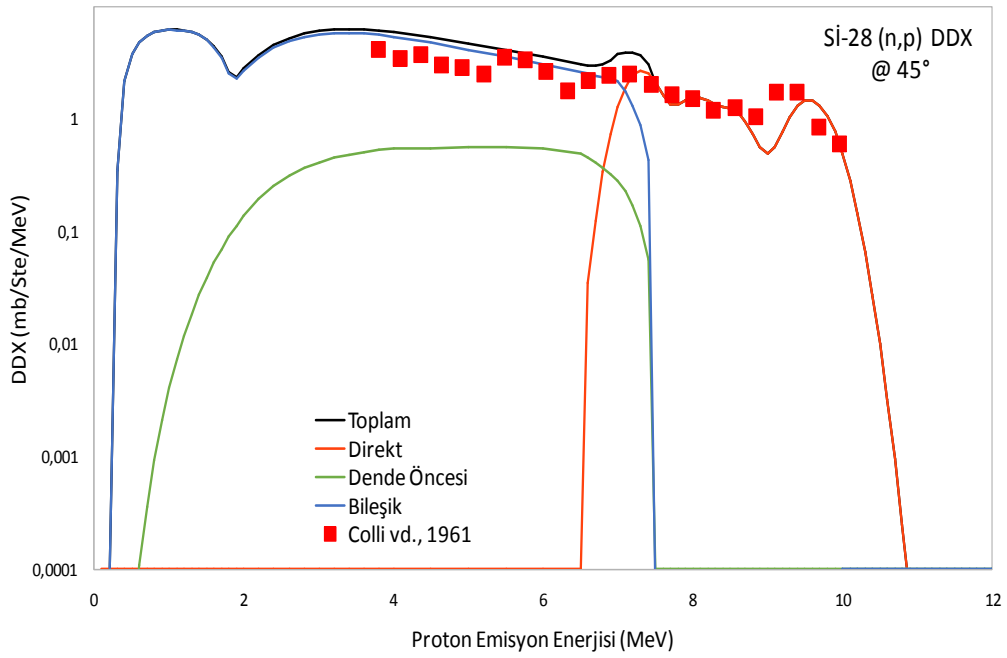
Şekil 4.4 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi,^{28}Si(n,p) reaksiyonu için 30° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için ($d\sigma/d\Omega.dE$), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Colli vd. (1961)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi; yaklaşık 6,74 MeV'lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.1.5 45° Açısında Proton Emisyonu

^{28}Si(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Colli vd. (1961) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



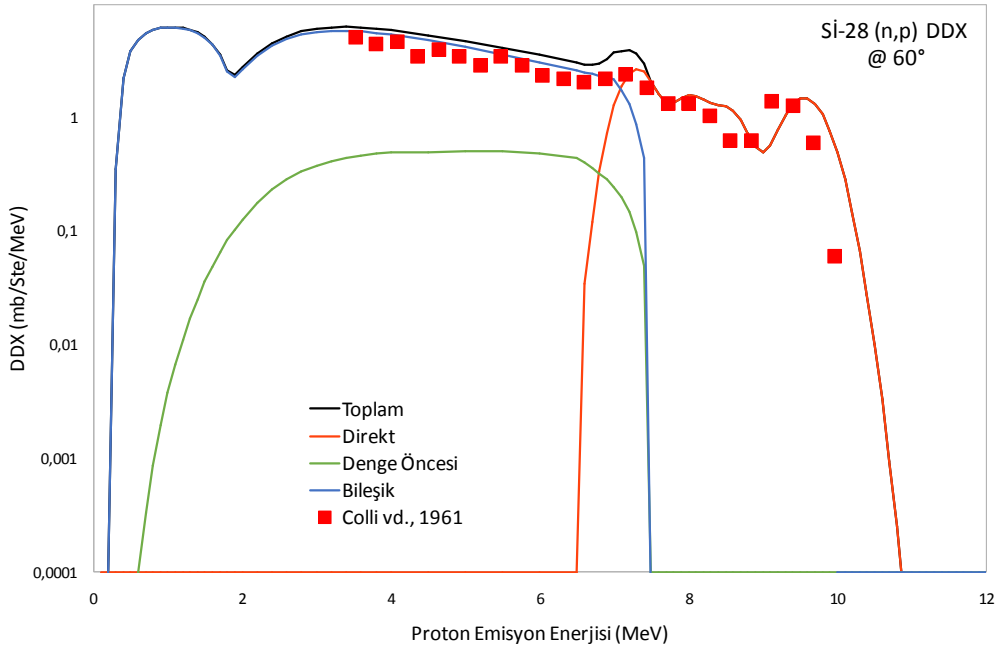
Şekil 4.5 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, ^{28}Si (n,p) reaksiyonu için 45° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV gelme nötron gelme enerjisi için (dσ/dΩ.dE), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Colli vd. (1961)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi; yaklaşık 6,88 MeV'lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.1.6 60° Açısında Proton Emisyonu

^{28}Si(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Colli vd. (1961) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



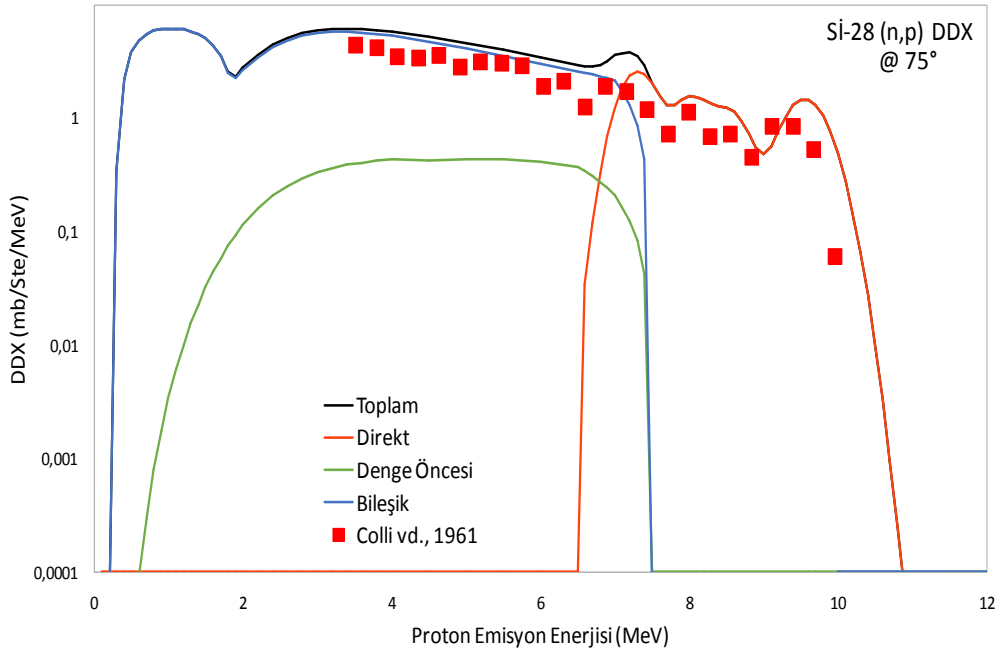
Şekil 4.6 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi,^{28}Si (n,p) reaksiyonu için 60° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için ($d\sigma/d\Omega.dE$), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Colli vd. (1961)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi; yaklaşık 6,74 MeV'lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.1.7 75° Açısında Proton Emisyonu

^{28}Si(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Colli vd. (1961) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



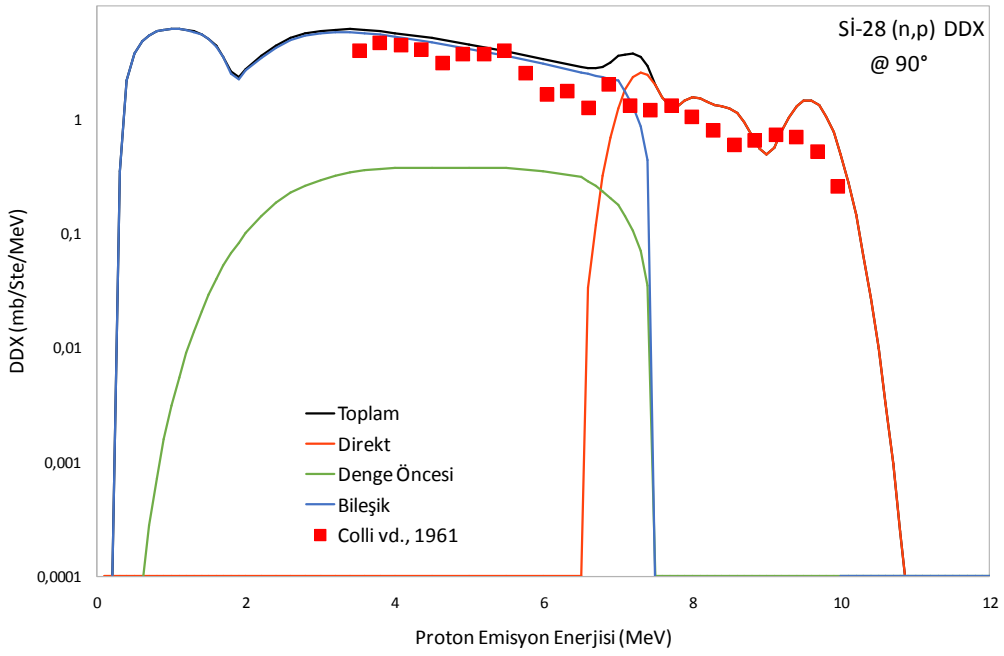
Şekil 4.7 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi, ^{28}Si(n,p) reaksiyonu için 75° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için ($d\sigma/d\Omega.dE$), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Colli vd. (1961)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi; yaklaşık 7,35 MeV'lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.1.8 90° Açısında Proton Emisyonu

^{28}Si(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Colli vd. (1961) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Silisyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, ^{28}Si(n,p) reaksiyonu için 90° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için ($d\sigma/d\Omega.dE$), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır.

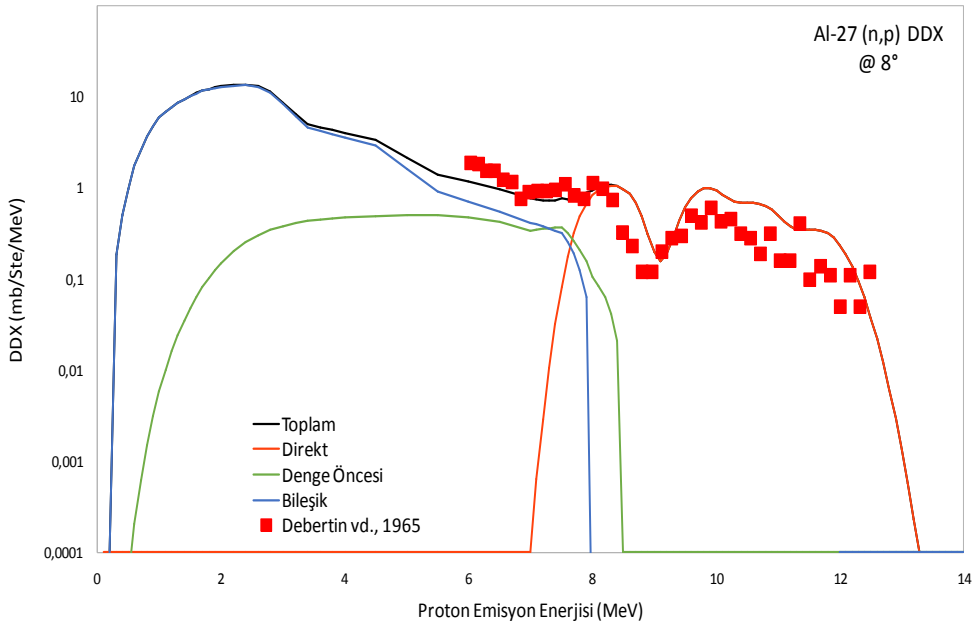
Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Colli vd. (1961)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi; yaklaşık 6,74 MeV'lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.2 ^{27}Al(n,p) Reaksiyonunun Çift Diferansiyel Tesir Kesiti

4.2.1 8° Açısında Proton Emisyonu

^{27}Al(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Debertin vd. (1965) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



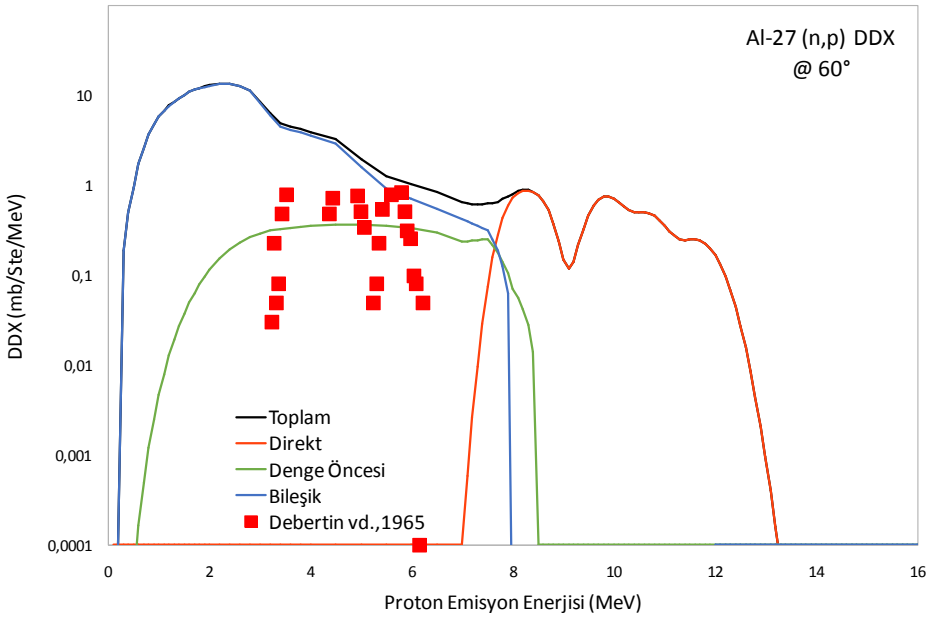
Şekil 4.9 Alüminyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, ^{27}Al(n,p) reaksiyonu için 8° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için ($d\sigma/d\Omega.dE$), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Debertin vd. (1965)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi; yaklaşık 11,12 MeV' lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.2.2 60°Açısında Proton Emisyonu

^{27}Al(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Debertin vd. (1965) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



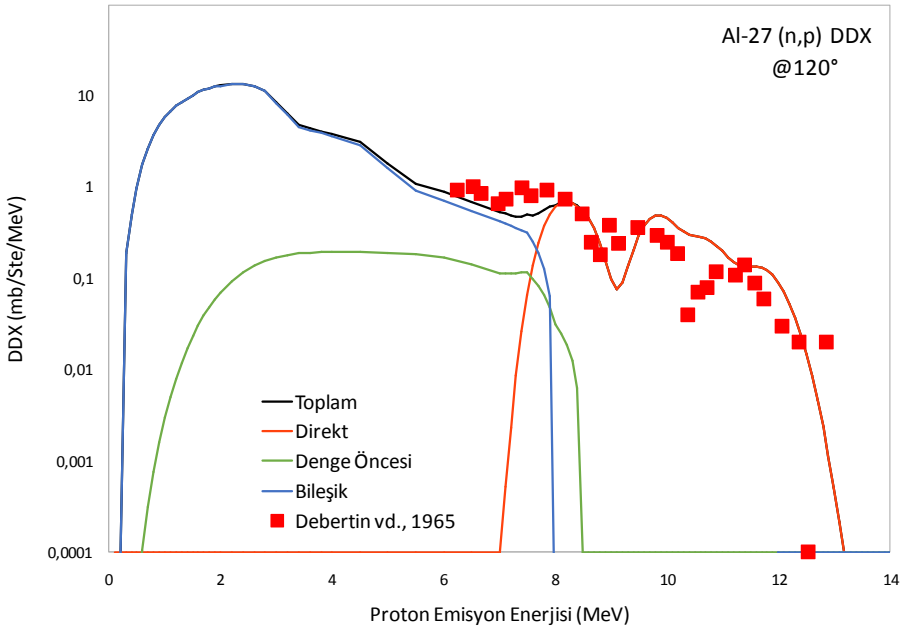
Şekil 4.10 Alüminyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, ^{27}Al(n,p) reaksiyonu için 60° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için (dσ/dΩ.dE), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Debertin vd. (1965)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi; yaklaşık 4,67 MeV'lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.2.3 120° Açısında Proton Emisyonu

^{27}Al(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti değerleri ile Debertin vd. (1965) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



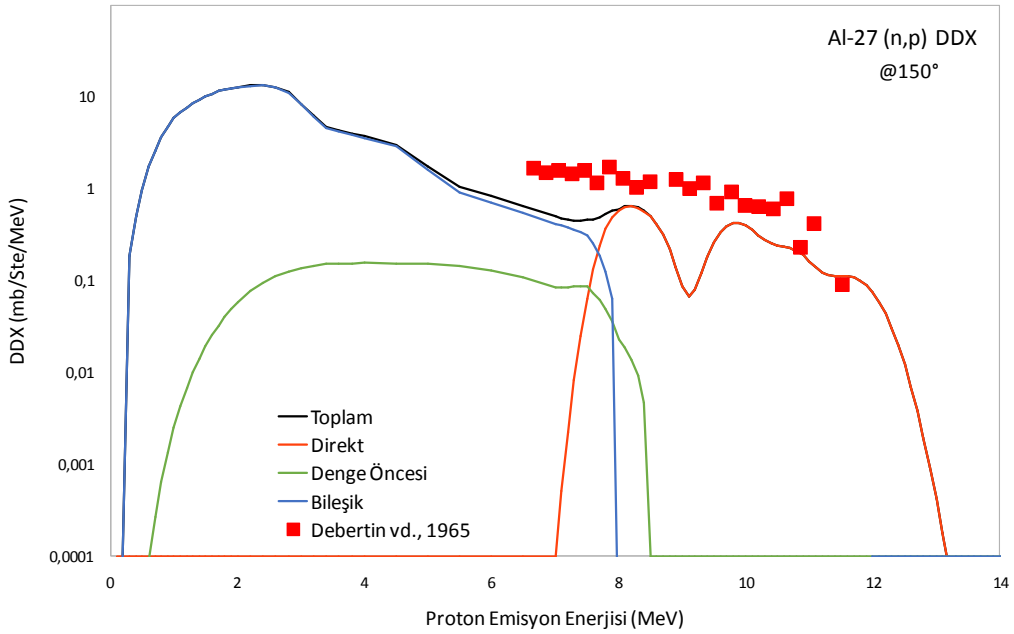
Şekil 4.11 Alüminyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi, ^{27}Al(n,p) reaksiyonu için 120° açısında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için (dσ/dΩ.dE), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Debertin vd. (1965)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi; yaklaşık 9,47 MeV' lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV'den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

4.2.4 150° Açısında Proton Emisyonu

^{27}Al(n,p) reaksiyonu için TALYS 1.8 kodu ile hesaplanan reaksiyon tesir kesiti - değerleri ile Debertin vd. (1965) tarafından rapor edilen deneysel veriler Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Alüminyum hedef çekirdeğinden yayılan protonların açı dağılımı

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi, ^{27}Al(n,p) reaksiyonu için 150° açısında nötron emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için ($d\sigma/d\Omega.dE$), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan proton parçacıklarının hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Debertin vd. (1965)'nin mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi; yaklaşık 12,47MeV’lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskındır, daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. Bütün emisyon enerji değerlerinde denge-öncesi reaksiyonun bu açıdaki katkısı hemen hemen yoktur. Benzer şekilde 8 MeV’den sonra bileşik reaksiyonun katkısı da ortadan kaybolmaktadır. Bu enerji değerinden sonra direkt reaksiyon baskındır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Tesir kesiti hesaplaması yapılan nötron girişli reaksiyonlardan (n, p) denge ve denge öncesi modeller ile elde edilen sonuçların literatürdeki deneysel verilerle karşılaştırılması sonucunda benzer harmonik yapıda grafikler elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında 14 MeV enerjili nötronlar ile bombardıman edilen Al ve Si hedef çekirdeklerinin çift diferansiyel (DDX) proton emisyon tesir kesitleri TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, EXFOR kütüphanesinden alınan deneysel veriler ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

TALYS programında Direkt, Bileşik ve Denge öncesi reaksiyonların toplam tesir kesitlerine katkıları araştırılmıştır. Teorik ve deneysel değerler tüm emisyon açılarında uyumlu olarak görülmüştür.

^{28}Si(n,p) reaksiyonu için 10°, 15°, 22°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° açılarında ve ^{27}Al(n, p) reaksiyonu için de 8°, 60°, 120°, 150° açılarında proton emisyonu için çift diferansiyel tesir kesitleri, 14,8 MeV nötron gelme enerjisi için ($d\sigma/d\Omega.dE$), TALYS 1.8 kodu ile hesaplanmıştır. Verilen açılardaki yayılan protonların hesaplanan değerleri, EXFOR kütüphanesinden alınan Debertin ve arkadaşları ile Colli ve arkadaşlarının mevcut deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Yukarıda verilen bütün grafiklerden görülmektedir ki; bütün açılarda yaklaşık 7 MeV'lik enerjiye kadar bileşik reaksiyon baskın olmakta daha sonra direkt reaksiyon etkili olmuştur. 8 MeV enerji değerinde bileşik ve denge-öncesi reaksiyon katkısı etkisi kaybetmiştir ve sadece direkt reaksiyon etkisi devam etmiştir.

Bu tez çalışması ve benzeri tesir kesiti hesaplamaları, başta nükleer fizik alanında olmak üzere, birçok alanda kullanışlıdır. Hatta yüksek enerjilerde deneysel çalışmaları zor olan veya yapılamayan deneysel çalışmalar için bir yol gösterici niteliği taşıması açısından önemlidir.

6. KAYNAKLAR

Bertrand, F. E. and Peelle, R.W. (1973). Complete Hydrojen and Helium Particle Spektra from 30 to 60 MeV Proton Bombardment of Nuclei with A=12 to 209 and Comparison with the Intranuclear Cascade Model. *Physical Review C*, **8**(3)**:** 1045-1064.

Betak, E. and Hodgson, P.E. (1998). Particle hole state densities in pre-equilibrium nuclear reaction models. *Reports on Progress in Physics*, **61 (5):** 483-524.

EXFOR/CSISRS (Experimental Nuclear Reaction Data File) Database Version of April 02.2017, Brookhaven National Laboratory, National Nuclear Data Center.

Feshbach, H., Kerman, A. K. and Koonin, S. (1980). The Statistical Theory of Multi Step Compound and Direct Reactions, *Annals of Physics*, **125**(2)**:** 429-476.

Griffin, J. J. (1996). Statistical model of intermediate structure, *Physical Review Letter*, **17:** 478-481.

Han., Y. (2008). Double differential cross sections of light-charged particle emission for n + ^{208}Pb reaction. *Annals of Nuclear Energy*, **35:** 187-195.

Han, Y., Xu, Y., Liang, H., Guo, H. and Shen, Q. (2011). The theoretical calculation of cross section and spectrum n + ^{238}U reaction up to 150 MeV. *Journal of the Korean Physical Society*, **59:** 855-858.

Harp, G. D., Miller, J. M. and Berne, B, J. (1968). Attainment of Statistical Equilibrium in Excited Nuclei, *Physical Review*, **165**(4)**:** 1166-1169.

Kaplan, A., Özdoğan, H., Aydın, A. ve Tel, E. (2013a). Deuteron-Induced Cross Section Calculations of Some Structural Fusion Materials. *Journal of Fusion Energy*, **32(1):** 97-102.

Krane, K. S. (2001). Nükleer Fizik I-II, Çeviri Editörü: Başr ŞARER, Palme Yayıncılık, Ankara.

Krane. K. S. (2002). Nükleer Fizik-II, Palme Yayıncılıkk, No: 195, 559s, 560s, 561s, 563s, Ankara.

L. Colli - Istituto di Fisica dell' Universit~ - Mila'J~o

Özdoğan, H. (2018). Fe, Zr, Nb ve Ag Füzyon Reaktörleri Yapısal Elementlerinin Tesir Kesitlerinin Nükleer Reaksiyon Modelleri Kullanılarak İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 165s, Isparta.

Pekdoğan, H. (2011). Proton Hızlandırıcılarının Uygulama Alanları ve Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM)'nde Radyoizotop Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 61s.

Serber, R. (1947b). Nuclear Reactions at High Energies. *Physical Review*, **72**(11)**:** 1114-1115.

Tel, E., Durgu, C., Akti N. N. ve Okuducu, Ş. (2010b). Calculations of Excitation Functions of Some Structural Fusion Materials for (n,t) Reactions up to 50 MeV Energy. *Journal of Fusion Energy*, **29**(3)**:** 290-294.

Yalçıner, E.G. (2008). Proton hızlandırıcılarının nükleer uygulama alanları ile protonlarla oluşturulan nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 132, Ankara.

Yinlu Han, China Institute of Atomic Energy, P.O. Box 275(41), Beijing 102413, People's Republic of China.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gözde DEMİRELLİ

Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar / 08.05.1989

Yabancı Dili : İngilizce

İletişim (e-posta) : gozde.demirelli@dogakoleji.k12.tr

Telefon : 05534258621

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : YDA Afyon Lisesi, (2004-2008)

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü (2009-2014)

Pedogojik Formasyon : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi (2014-2015)

Çalıştığı Kurum/
Kurumlar ve Yıl : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Dekan Sekreterliği / İdari Yazışmalar (2009-2013)

Bolvadin Bahçelievler Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Fizik Öğretmeni (2014-2015)

Bolvadin Sıddıka Metin Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Fizik Öğretmeni (2014-2015)

Bolvadin Ayfer-Ceylan Emet Fen Lisesi, Fizik Öğretmeni (2014-2015)

İhsaniye Yukarı Tandır Ortaokulu, Fen ve Teknoloji Öğretmeni (2015-2016)

Afyon Eğitimciler Etüt ve Kurs Merkezi, Fizik Öğretmeni (2016-2017)

Kurtköy Özel Doğa Anadolu Lisesi Fizik Öğretmeni (2017- halen)

Uluslararası sempozyum ve kongreler :

1. DEMİRELLİ G., SARPÜN İ. H., ORUNCAK B., Double Differential Deuteron Emission Cross Sections for Structural Fusion Materials ^{28} Si. *(TESNAT 2017)* May 10-12, Çukurova University, Adana/TURKEY, 2017

2. DEMİRELLİ G., SARPÜN İ. H., ORUNCAK B., DDX Calculations of (n,p) Reactions from^{27}Al Target Nucleus. *(Turkish Physical Society 33rd International Physics Congress)*, September 06-10, Bodrum/TURKEY, 2017

3. DEMİRELLİ G., SARPÜN İ. H., Double Differential Proton Emission Cross Sections For Structural Fusion Materials ^{24}Mg. *(1st International Conference on Radiations and Applications)*, November 20-23, Algiers/ALGERIE,2017

4. DEMİRELLİ G., SARPÜN İ. H., Theoretically Proton Emission DDX Calculation on Ge Isotopes of Neutron Induced Reactions, *(TESNAT 2018)* April 20-22, Akdeniz University, Antalya/TURKEY, 2018