

**<sup>131</sup>Cs RADYOİZOTOPUNUN  
ÇEŞİTLİ NÜKLEER REAKSİYONLAR  
İLE ELDESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sedat ZENGİN**

**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Vildan ÖZKAN BİLİCİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**AĞUSTOS 2020**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**$^{131}\text{Cs}$  RADYOİZOTOPUNUN**  
**ÇEŞİTLİ NÜKLEER REAKSİYONLAR İLE ELDESİ**

**Sedat ZENGİN**

**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Vildan ÖZKAN BİLİCİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**AĞUSTOS 2020**

## TEZ ONAY SAYFASI

Sedat ZENGİN tarafından hazırlanan “<sup>131</sup>Cs Radyoizotopunun Çeşitli Nükleer Reaksiyonlar İle Eldesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 07/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

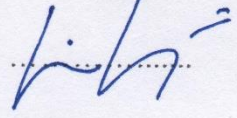
**Danışman** : Dr. Öğr. Üyesi Vildan ÖZKAN BİLİCİ

**Başkan** : Prof. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN  
Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi

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

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Vildan ÖZKAN BİLİCİ  
Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Fen Edebiyat Fakültesi

İmza



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

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



## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

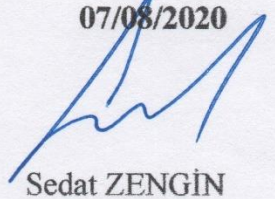
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

- 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.**

07/08/2020



Sedat ZENGİN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### <sup>131</sup>Cs RADYOİZOTOPUNUN ÇEŞİTLİ NÜKLEER REAKSİYONLAR İLE ELDESİ

Sedat ZENGİN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Vildan ÖZKAN BİLİCİ

Nükleer fizikteki gelişmeler nükleer teknolojiye önemli katkılar sağlayıp bağlantılı birçok alanda önemli gelişmeler olmasını sağlamıştır. Bu gelişmelerin temel sebebi çekirdeğin yapısının anlaşılması ve buna bağlı nükleer reaksiyonların altında yatan fiziksel teorilerin geliştirilmesidir. Dolayısıyla, nükleer reaksiyonların özellikleri ve reaksiyonların tesir kesitlerinin bilinmesi, reaksiyonun olası sonuçları hakkında fikir sahibi olunmasını sağlamaktadır. Nükleer reaksiyonların tesir kesitlerini deneysel olarak bulmak hem maliyet hem koşullar bakımından mümkün olmadığında reaksiyon tesir kesitleri teorik olarak çeşitli nükleer reaksiyon kodlarıyla hesaplanmaktadır.

Kanser tedavisinde kullanılan diğer elementlere göre <sup>131</sup>Cs elementi daha kısa yarılanma ömrüne ve daha yüksek enerjiye sahip olmasından dolayı son yıllarda kanser tedavilerinde <sup>131</sup>Cs elementi kullanılmaya başlanılmıştır. Tez çalışmamızda <sup>131</sup>Cs elementini elde edecek şekilde EXFOR deneysel veri kütüphanesinde mevcut olan <sup>133</sup>Cs( $\gamma,2n$ ), <sup>133</sup>Cs(p,x), <sup>127</sup>I( $\alpha,\gamma$ ) ve <sup>131</sup>Xe(p,n) reaksiyonlarının tesir kesitleri incelenmiştir. TALYS 1.8 nükleer kod programı ile elde edilen teorik sonuçlar ile EXFOR veri kütüphanesinden alınan veriler karşılaştırılmıştır.

**2020, viii + 36<sup>(\*)</sup> sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Nükleer reaksiyonlar, Tesir kesiti, TALYS 1.8, EXFOR.

## ABSTRACT

M.Sc. Thesis

### OBTAINING OF $^{131}\text{Cs}$ RADIOISOTOPE WITH VARIOUS NUCLEAR REACTIONS

Sedat ZENGİN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

**Supervisor:** Asst. Prof. Vildan ÖZKAN BİLİCİ

Advances in nuclear physics have made significant contributions to nuclear technology and have led to significant developments in many related areas. The main reason for these developments is the understanding of the structure of the nucleus and the development of physical theories underlying nuclear reactions. Therefore, knowing the properties of the nuclear reactions and the cross sections of the reactions provides an idea about the possible consequences of the reaction. When it is not possible to experimentally find cross sections of nuclear reactions in terms of both cost and conditions, reaction cross sections are theoretically calculated by various nuclear reaction codes.

Since the  $^{131}\text{Cs}$  element has a shorter half-life and higher energy compared to other elements used in cancer treatment, the  $^{131}\text{Cs}$  element has been used in cancer treatments in recent years. In our thesis study, the cross sections of the  $^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)$ ,  $^{133}\text{Cs}(p,x)$ ,  $^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)$  and  $^{131}\text{Xe}(p,n)$  reactions available in the EXFOR experimental data library to obtain the  $^{131}\text{Cs}$  element were examined. The theoretical results obtained with the TALYS 1.8 nuclear code program were compared with the data from the EXFOR data library.

**2020, viii + 36<sup>(\*)</sup> pages**

**Keywords:** Nuclear reactions, Cross section, TALYS 1.8, EXFOR.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, bilgisayar programlarının kullanılması, sonuçların değerlendirilmesi, çalışmalarımın her ihtiyaç duyduğum anında hiçbir fedakarlıktan kaınmayıp her türlü yardım için elini uzatan ve tez yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Vildan ÖZKAN BİLİCİ'ye, Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN'e, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Sedat ZENGİN  
AFYONKARAHİSAR, 2020

## 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
1.1 Literatür Bilgileri .....	2
2. NÜKLEER REAKSİYONLAR .....	6
2.1 Tesir Kesitleri .....	7
2.2 Diferansiyel Tesir Kesiti .....	9
2.3 Nükleer Reaksiyonlarda Korunan Nicelikler.....	10
2.4 Nükleer Reaksiyon Türleri.....	11
2.4.1 Elastik Saçılma.....	12
2.4.2 İnelastik Saçılma .....	12
2.4.3 Direkt Reaksiyonlar .....	13
2.4.4 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları.....	14
2.4.5 Ağır-İyon Reaksiyonları.....	15
2.5 Nükleer Reaksiyonların Genel Özellikleri.....	17
2.5.1 Enerji Spektrumları .....	17
2.5.2 Açısal Dağılımlar .....	18
3. MATERYAL ve METOT .....	20
3.1 Kullanılan Materyaller .....	20
3.1.1 TALYS Bilgisayar Programı.....	20
3.1.2 TALYS 1.8 Çıktı Veri Dosyası.....	22
3.2 EXFOR Veri Kütüphanesi .....	22
3.4 Kullandığımız Elementler .....	23
3.4.1 Sezyum (Cs) Elementi.....	23
3.4.2 İyot (I) Elementi.....	23
3.4.3 Ksenon (Xe) Elementi.....	24



4. BULGULAR .....	25
4.1 $^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$ Reaksiyonu.....	25
4.2 $^{133}\text{Cs}(p,x)^{131}\text{Cs}$ Reaksiyonu .....	26
4.3 $^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$ Reaksiyonu .....	28
4.4 $^{131}\text{Xe}(p,n)^{131}\text{Cs}$ Reaksiyonu .....	29
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	31
6. KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	36

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

p	Proton
n	Nötron
$\gamma$	Gama
$\alpha$	Alfa
$^3\text{He}$	Helyum3
A	Kütle numarası
E	Enerji
MeV	Mega elektron volt
GeV	Giga elektron volt
keV	Kilo elektron volt
Q	Reaksiyon enerjisi
b	Barn
mb	Milibarn
cm	Santimetre
C*	Uyarılmış çekirdek
Cs	Sezyum
I	İyot
Xe	Ksenon
°C	Santigrad derece

### Kısaltmalar

---

DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
ENDF	Değerlendirilmiş Nükleer Veri Dosyası
EXFOR	Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesi
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Reaksiyon geometrisi (Yılmaz 1998).....	8
Şekil 2.2 Gelen demet, hedef ve $\theta$ , $\phi$ 'deki $d\Omega$ katı açısı içinde saçılan demeti gösteren reaksiyon geometrisi (Krane 2002). ....	9
Şekil 2.3 Nükleer etkileşimlerin tablo olarak gösterimi (Aydın 1997). ....	12
Şekil 2.4 R yarıçaplı hedef çekirdeğin yüzeyinde meydana gelen bir direkt reaksiyonun şematik gösterimi (Lilley 2001). ....	14
Şekil 2.5 Bileşik çekirdek reaksiyon örneği (Krane 2002). ....	15
Şekil 2.6 Bir ağır iyon çarpışmasında farklı yörüngeler üzerindeki süreçleri (Lilley 2001).....	16
Şekil 2.7 Uyarılma enerjilerine göre tesir kesitleri (Koning vd. 2015). ....	17
Şekil 2.8 Orta kütleli çekirdekleri içeren bir hedef ile Coulomb engelini birkaç katı büyüklüğünde enerjiye sahip protonlar tarafından oluşturulan nükleer reaksiyonlar sonucu açığa çıkan yüklü parçacıkların ve nötronların enerji spektrumu (Lilley 2001). ....	18
Şekil 2.9 Direkt reaksiyondan ve bileşik çekirdeğin bozunumundan yayınlanan parçacıkların diferansiyel tesir kesitleri (Lilley 2001). ....	19
Şekil 3.1 TALYS 1.8 nükleer kod programının çalışma şeklinin gösterimi (Koning vd. 2015).....	21
Şekil 4.1 $^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$ reaksiyonu için tesir kesiti hesaplanıp deneysel verilerle karşılaştırılması.....	25
Şekil 4.2 $^{133}\text{Cs}(p,x)^{131}\text{Cs}$ reaksiyonu için tesir kesiti hesaplanıp deneysel verilerle karşılaştırılması.....	27
Şekil 4.3 $^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$ reaksiyonu için tesir kesiti hesaplanıp deneysel verilerle karşılaştırılması.....	28
Şekil 4.4 $^{131}\text{Xe}(\rho,n)^{131}\text{Cs}$ reaksiyonu için tesir kesiti hesaplanıp deneysel verilerle karşılaştırılması.....	29

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 1.1</b> Prostat brakiterapisinde kullanılan radyoaktif kaynakların özellikleri.....	3
<b>Çizelge 2.1</b> Reaksiyon Tesir Kesitleri.....	8
<b>Çizelge 5.1</b> TALYS 1.8 nükleer programı ile Deneysel verilerin karşılaştırılması .....	32

## 1. GİRİŞ

Becquerel'in, 1896 yılında Fransa'da atom içindeki çekirdeğin varlığı hakkındaki ilk bulduğu zayıf izlerden sonra bu alanda çok önemli gelişmeler yaşanmıştır. 1930'larda ise atom çekirdeğini bir arada tutan kuvvetin çok büyük yıkıcı etkilere sahip olan bir enerji olduğu keşfedilmiştir (Lilley 2001).

Nükleer fizik, önemli bir şekilde modern dünyamıza girmiş olup kimya, biyoloji, arkeoloji, jeoloji, mühendislik, astrofizik ve kozmoloji gibi diğer bilim dallarını da etkilemektedir. Sanayi, çevre, tıp, savunma, kriminoloji, güç üretimi ve diğer birçok alanda olmak üzere toplum içinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, böyle güçlü bir kuvvetin kötüye kullanılması, bazı tehlikeleri de beraberinde getirmekte ve bu durum tartışma konusu olmaya devam etmektedir (Lilley 2001).

Nükleer teknoloji bu kadar geniş bir alanda kullanılırken özellikle tıp alanındaki kullanımı çığır açmıştır. Nükleer fiziğin uygulamaları tıp alanında, nükleer tıp adında bir bilim dalı oluşmasını sağlamıştır. Nükleer tıpta kullanılan radyoizotoplar yardımıyla birçok hastalığın teşhis edilmesinin yanında kanser hastalarının tedavisinde önemli bir yer tutmaktadır. Nükleer tıp sayesinde doktorlar, herhangi bir organın düzgün bir şekilde çalışıp çalışmadığını kolaylıkla anlayabilmektedir (İnt. Kayn. 1).

Üniversitelerde ve araştırma laboratuvarlarında bulunan hızlandırıcılarda, araştırma reaktörlerinde, ticari reaktörlerde üretilen radyoizotoplar kanser tedavisinde sıkça kullanılmaktadır. Radyoizotoplar sayesinde kanserli hücrelerin bulunduğu bölgeye ışınım verilerek kanserli hücrelerin öldürülmesi ve kanserin yayılmasının önlenmesi sağlanabilmektedir (İnt. Kayn. 1).

Sezyum, insanlar için çok zararlı olabileceği gibi, bilim dünyası için çok faydalı, nükleer santrallerin ise vazgeçilmezi olan bir elementtir. Sezyumun üretilmesi de uluslararası anlaşmalara bağlıdır.

Sezyum elementinin atom ağırlıkları 112-151 arasında değişen ve bilinen 39 izotopu



bulunur. Tek kararlı ve yaygın izotopu  $^{133}\text{Cs}$ 'tür.  $^{137}\text{Cs}$  ise, radyoaktif anlamda etkili bir sezyum izotopudur. Başka bir radyoaktif izotop olan  $^{135}\text{Cs}$  ise, yaklaşık 2,3 milyon yıllık en uzun yarılanma ömrüne sahip izotopudur. Radyoaktif  $^{131}\text{Cs}$  izotopu ise kanser tedavilerinde kullanılmaktadır (İnt. Kayn. 2).

## 1.1 Literatür Bilgileri

Röntgen'in 1895 yılında x-ışınlarının keşfi ve Becquerel'in 1896 yılında radyoaktiviteyi keşfi, nükleer ile ilgili sürecin başlamasını sağlamıştır. Hemen ardından sırasıyla Thomson'un 1897'de elektronu keşfi, Plank'ın 1900'de temel radyasyon yasası, Einstein'ın 1905'te özel görelilik teorisi, Rutherford'un 1911'de alfa saçılma deneyi ve Bohr'un 1913 yılında atom modeli ortaya atılmıştır. Tüm bu gelişmelerden sonra atom ve çekirdeği hakkında önemli teori ve bulgular ortaya atılmıştır. Atom çekirdeğinin derinlemesine incelenmeye başlanmıştır (Martin 2013).

Rutherford'un atom çekirdeğini keşfetmesi ile negatif yüklü elektronu dengelemesi için pozitif bir yükün olması gerektiği fikri protonun varlığını sağlamıştır.

1919 yılında birçok bilim adamı bir atomu başka bir atoma dönüştürmek için deneyler yapmaya başlamıştır. 1920 yılında ise Rutherford bir elementi alfa parçacığı ile çarpıştırarak başka bir elemente dönüşebileceğini deneylerle kanıtlamıştır. Bu deney ilk nükleer reaksiyon olarak düşünülmektedir. İlk nükleer reaksiyon ile nükleer fizik alanında gelişmeler birbirini takip etmiştir.

Tüm bu gelişmeler bilim adamlarının nükleer reaksiyonlarla ilgili çalışmalarına hız vermelerine sebep olmuştur.

Tez çalışmamızda araştırdığımız sezyum elementi, doğada nadir bulunan, değerli bir metal olan, kaynağı oldukça az bir elementtir. Sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı fiber optik telekomünikasyon sistemlerinde, gece görüş cihazları gibi birçok teknolojik alanda kullanılmaktadır. Sezyumun bazı izotopları medikal, araştırma uygulamaları ve elektronik gibi alanlarda kullanılmaktadır. Sürekli artan

uygulama alanları ve doğada az bulunmasından dolayı sürekli değeri artmakta ve önem kazanmaktadır (Barut vd. 2020).

Sezyum elementinin bazı izotopları tıp alanında kanser tedavilerinde kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda  $^{192}\text{Ir}$  elementinin sahip olduğu yarılanma ömrü ve enerjiye göre  $^{131}\text{Cs}$ ,  $^{125}\text{I}$  ve  $^{103}\text{Pd}$  elementlerinin daha düşük yarılanma ömrü ve enerjisinin olmasından dolayı, prostat kanserinin tedavisinde kullanılmaya başlanılmıştır.  $^{131}\text{Cs}$  elementinin prostat kanserinde kullanılan diğer elementlerle beraber sahip olduğu yarılanma ömrü ve ortalama foton enerjileri Çizelge 1.1’de verilmiştir (Özen vd. 2017).

**Çizelge 1. 1** Prostat brakiterapisinde kullanılan radyoaktif kaynakların özellikleri. (Özen vd. 2017).

Brakiterapi VLDR / HDR	Radyoaktif Kaynak	Yarı Ömür (gün)	Ortalama Foton Enerjisi (keV)	İmplanttaki Başlangıç Doz Hızı (cGy/saat) (yaklaşık)
Kalıcı çekirdek (seed) implantlarla tek fraksiyonda uygulanan çok düşük doz hızında brakiterapi (VLDR)	İyot-125	59,6	28	7
	Palladium-103	17	22	21
	Sezyum-131	9,7	29	30
Geri çekilen kaynaklarla birden fazla fraksiyonda uygulanabilen yüksek doz hızında brakiterapi (HDR)	İridyum-192	73,85	380	>1200

$^{131}\text{Cs}$  elementi 29 keV ile 34 keV enerji aralığında en yüksek tesir kesitlerine ulaştığından, düşük enerji gereksinimine sahip kısa yarı ömürlü bir radyoizotoptur. Bu yönüyle prostat, meme, beyin, akciğer, boyun ve pankreas kanserlerinde  $^{125}\text{I}$  ve  $^{103}\text{Pd}$  radyoizotopları yerine son yıllarda  $^{131}\text{Cs}$  radyoizotopu daha çok kullanılmaya başlanılmıştır (Murpy vd. 2004).

Reaksiyona giren elementlerin değişmesi ile reaksiyon sonuçları ve verimlilikleri de ciddi farklılıklar göstermektedir.

Nükleer reaksiyonlarda çıkan birçok farklı sonuç nükleer fizikte, nükleer hesaplamaların kayıt tutulması açısından önem kazanmıştır.

Nükleer hesaplamalarda kullanılmak üzere birçok Nükleer Data Dosyası vardır. Bu durum hesaplama yaparken aynı reaksiyon için birçok farklı tesir kesiti kullanılabileceğini göstermektedir. Farklı tesir kesiti kullanımı, çalışmaların sonucunu etkileyebilir. Bu yüzden tesir kesiti hesabı nükleer reaksiyonlar için önemlidir. Bu çalışma bu reaksiyonların tesir kesitini belirlemek, nükleer reaksiyon sonucu olabilecek durumları anlamak için yapılacaktır. Benzer çalışmalar farklı elementlerle ve farklı reaksiyonlarla yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında araştırdığımız reaksiyonların tesir kesitleriyle oluşma olasılıkları ve daha önce yapılan deneysel çalışmaların detayları verilmiştir.

<sup>133</sup>Cs elementinin gama mermisi ile reaksiyona girmesiyle ilgili; Lepretre vd.'nin 1974 yılında yaptığı deneysel çalışmalar (Lepretre vd. 1974), Berman vd.'nin 1969 yılında yaptığı deneysel çalışmalar (Berman vd. 1969) ve Varlomav vd.'nin 2016 yılında yaptığı deneysel çalışmaların verileri incelenmiştir (Varlomav vd. 2016). Deneysel veriler TALYS 1.8 nükleer kod programında tesir kesitlerinin hesaplamasında kullanılmıştır. Bu çalışmada tesir kesitleri deneysel verilerle karşılaştırılarak uyumlulukları hakkında detaylar verilmiştir.

<sup>133</sup>Cs elementinin proton ile bombardıman edilmesiyle; Riehl vd.'nin 1961 yılında yaptığı deneysel çalışmaların verileri incelenmiştir. Deneysel veriler TALYS 1.8 nükleer kod programında tesir kesitlerinin hesaplamasında kullanılmıştır. Bu çalışmada tesir kesitleri deneysel verilerle karşılaştırılarak uyumlulukları hakkında detaylar verilmiştir (Riehl vd. 1961).

<sup>127</sup>I elementinin alfa parçacığı ile reaksiyona girmesiyle ilgili; Kiss vd.'nin 2012 yılında yaptığı deneysel çalışmalar (Kiss vd. 2012) ve Carlson vd.'nin 1967 yılında yaptığı deneysel çalışmaların verileri incelenmiştir (Carlson vd. 1967). Deneysel veriler

TALYS 1.8 nükleer kod programında tesir kesitlerinin hesaplamasında kullanılmıştır. Bu çalışmada tesir kesitleri deneysel verilerle karşılaştırılarak uyumlulukları hakkında detaylar verilmiştir.

<sup>131</sup>Xe elementinin proton ile bombardıman edilmesiyle ilgili; Tarkanyi vd.'nin 2009 yılında yaptığı deneysel çalışmaların verileri incelenmiştir. Deneysel veriler TALYS 1.8 nükleer kod programında tesir kesitlerinin hesaplamasında kullanılmıştır. Bu çalışmada tesir kesitleri deneysel verilerle karşılaştırılarak uyumlulukları hakkında detaylar verilmiştir (Tarkanyi vd. 2009).

Bu tez çalışmasında <sup>133</sup>Cs( $\gamma$ ,2n)<sup>131</sup>Cs, <sup>133</sup>Cs(p,x)<sup>131</sup>Cs, <sup>127</sup>I( $\alpha$ , $\gamma$ )<sup>131</sup>Cs ve <sup>131</sup>Xe(p,n)<sup>131</sup>Cs reaksiyonlarının tesir kesitleri incelenmiştir. Bu reaksiyonların kullanılma nedeni, nükleer reaksiyonların gerçekleşmesi için reaksiyona kararlı izotopların girmesi gerekmektedir. <sup>133</sup>Cs, <sup>127</sup>I ve <sup>131</sup>Xe kararlı izotoplar oldukları için <sup>131</sup>Cs radyoizotopunun eldesi çalışmamızda kullanılmıştır. Tesir kesitlerini hesaplariken TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kodu kullanıldı. <sup>131</sup>Cs radyoizotopunun elde edilmesi için daha önce farklı araştırmacılar tarafından yapılmış deneysel çalışmaların sonuçları ise EXFOR deneysel veri kütüphanesinden alınmıştır. TALYS 1.8 nükleer kod programında elde ettiğimiz teorik sonuçlar ile EXFOR veri kütüphanesinden alınan deneysel verilerin karşılaştırılmış ve ayrıca reaksiyon tipleri incelenmiştir.

## 2. NÜKLEER REAKSİYONLAR

Rutherford ve diğer çalışan nükleer fizik bilim adamları nükleer reaksiyonları çekirdekte kendiliğinde meydana gelmesinin yanında dış etkenlerle de meydana getirilmesi gerekliliğini ortaya koymuşlardır. Nükleer reaksiyonları oluşturmanın en iyi yolu çekirdeği ve/veya parçacıkları birbiriyle çarpıştırmaktan geçer.

Nükleer reaksiyonlar genellikle iki şekilde gerçekleştirilir. Birincisinde çekirdekler birbiriyle çarpıştırılırken ikincisinde ise hedef olarak tutulan çekirdeğin yüklü veya yüksüz, kütleli veya kütesiz parçacıklarla bombardıman edilmesidir. Birinci tür genellikle yeni ağır elementlerin elde edilmesinde kullanılırken ikinci tür daha çok hedef çekirdek hakkında bilgi sahip olmak için veya radyoizotopların elde edilmesinde kullanılır. Hedef çekirdeğe gönderilen proton (p), nötron (n), gama ( $\gamma$ ) ve alfa parçacıkları ( $\alpha$ ) gibi bazı hafif parçacıklar ile hedef çekirdek arasında bir reaksiyon meydana gelir. Bu çarpışmalarda birçok farklı reaksiyon türü gerçekleşebilir.

Bir hedef çekirdeğine bir parçacık gönderildiği zaman yeni ürünler meydana gelir. Bu reaksiyon aşağıdaki formda yazılırken  $A(a,b)B$  şeklinde gösterilir.



$a$  : Gelen parçacık

$A$  : Hedef çekirdek

$b$  : Çıkan parçacık

$B$  : Ürün çekirdek

Reaksiyonun enerjisi veya  $Q$  değeri ise, enerjinin korunumuna göre ilk ve son parçacıkların  $c^2$  ile çarpımının kütleleri farkı olarak elde edilir.

$$Q = (M_a + M_A - M_b - M_B) c^2 \quad (2.2)$$

$M_a$  : Gelen parçacığın kütlesi



$M_A$  : Hedef çekirdeğin kütlesi

$M_b$  : Çıkan parçacığın kütlesi

$M_B$  : Ürün çekirdeğin kütlesi

$c$  : Işık hızı

Q değerinin sonucu pozitif çıkarsa reaksiyon ekzotermik, negatif çıkarsa reaksiyon endotermik olarak adlandırılır.

## 2.1 Tesir Kesitleri

Nükleer çarpışmalarda reaksiyonun oluşma ihtimaline tesir kesiti ya da uyarılma fonksiyonu denir. Bir reaksiyonda gelen parçacık ile hedef parçacık etkileşmesinden ortaya çıkan sonuçlarına bakacak olursak, reaksiyonun oluşma olasılığı hakkında fikir sahibi olabiliriz. Tesir kesiti ' $\sigma$ ' sembolü ile gösterilir ve birimi Barn (b)'dır. Genellikle milibarn (mb) kullanılır (Krane 2002). Bu nicelikler arasındaki dönüşüm ise;

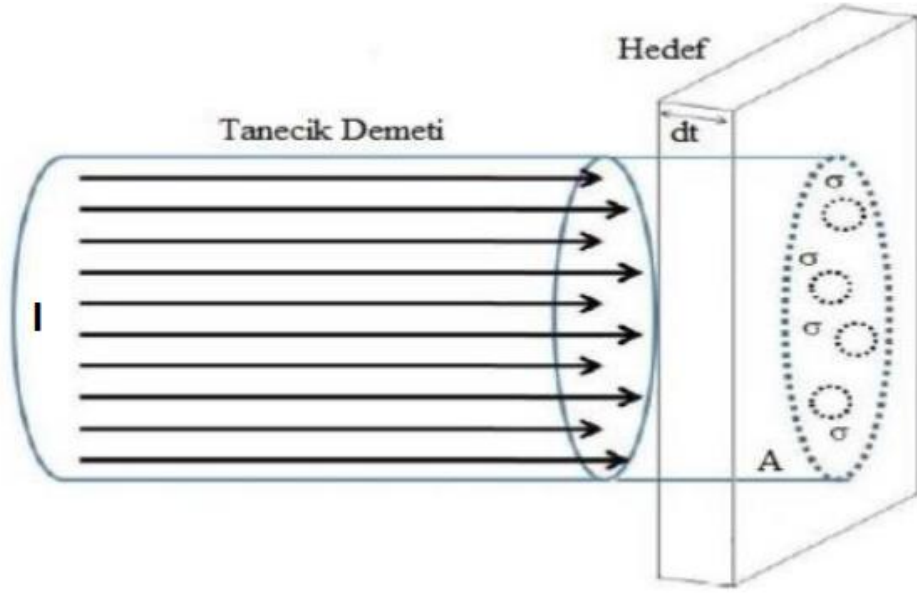
$$1 \text{ b} = 10^3 \text{ mb} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

Nükleer reaksiyonlarda tesir kesiti, reaksiyonda oluşan parçacıkların saçılma yönleri ile ilişkilidir. I şiddetine sahip bir ışık demetini dt kalınlığı ve A yüzeyine sahip ince bir levhaya gönderdiğimizizi ve etkileştiğini düşünelim. Tesir kesitinin bu atomu çevreleyen etkin alan olduğunu kabul edersek, bu alana gelen parçacık reaksiyona girecektir. Şekil 2.1'de verilmiştir (Krane 2002). Böylece aşağıdaki tanımlamaları yapabiliriz;

$ndt$  = Birim yüzeye düşen parçacık sayısı

$Andt$  = A alanındaki toplam parçacık sayısı

$\sigma$  = Her bir çekirdek için etkin alan



Şekil 2.1 Reaksiyon geometrisi (Yılmaz 1998).

Reaksiyon için toplam etkin alan;

$$A_n \sigma dt = \text{Toplam etkin alan}$$

Tesir kesiti teriminin anlamı ne ölçtüğümüze bağlı olarak değişik kavramlar altında toplanabilir. Bu kavramlar da enerjiye ve farklı açılara bağlı olarak adlandırılır. Enerji ve farklı açılara bağlı olarak oluşan reaksiyon tesir kesitleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Reaksiyon Tesir Kesitleri (Krane 2002).

Tesir Kesitleri	Sembol	Teknik	Olanaklı Uygulama
Toplam	$\sigma_t$	Demetin incelmesi	Zırhlama
Reaksiyon	$\sigma$	Tüm açılar ve b’nin tüm enerjileri	Bir nükleer reaksiyonda B radyoizotop üretimi
Diferansiyel (Açısal)	$d\sigma / d\Omega$	$(\theta, \varphi)$ de b’nin gözlenmesi fakat tüm enerjiler üzerinden integral alınması	Belirli bir doğrultuda b parçacıklar demetinin oluşumu

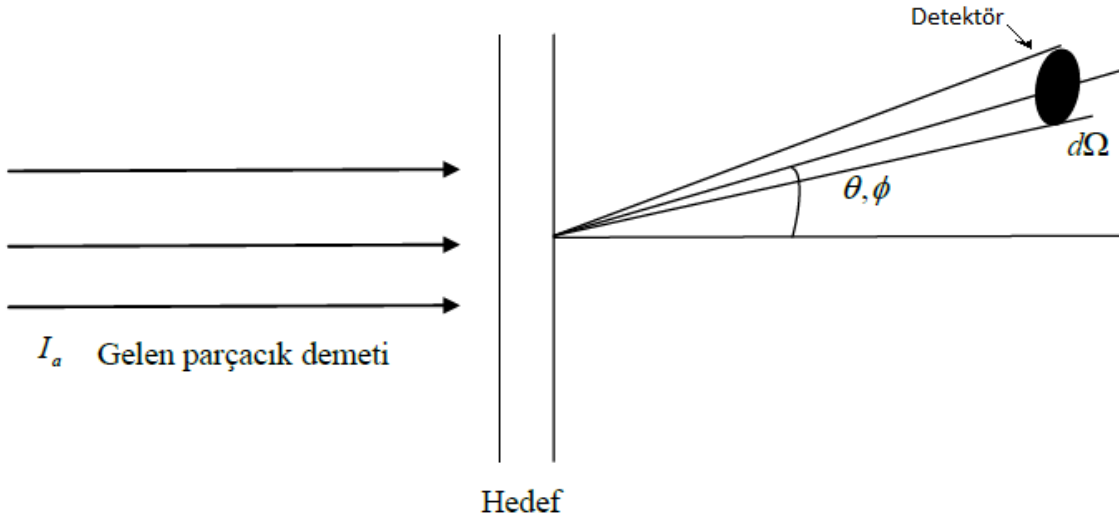
**Çizelge 2.1 (Devam)** Reaksiyon Tesir Kesitleri (Krane 2002).

<b>Tesir Kesitleri</b>	<b>Sembol</b>	<b>Teknik</b>	<b>Olanaklı Uygulama</b>
Diferansiyel (Enerji)	$d\sigma / dE$	b gözlenmez fakat ardışık gama yayınlanması ile B'nin uyarılması gözlenir.	B'nin uyarılmış durumlarının bozunmasının incelenmesi
Çift diferansiyel	$d^2\sigma / dEd\Omega$	Belirli bir enerjide b $(\theta, \phi)$ 'de gözlenir.	b açısal dağılımı ile B'nin uyarılmış durumları hakkında bilgi edinilmesi

Her ne kadar böyle ayrımlar yapılsa da genellikle bu tanımlar arasında keskin ayrımlar yoktur. Bu yüzden genelde tesir kesiti kavramı kullanılır ve konunun ilerleyen kısımlarda hangi kısma girdiği anlaşılır.

## 2.2 Diferansiyel Tesir Kesiti

Hedef çekirdeğe gelen parçacık, birden fazla reaksiyon meydana gelmesine sebep olabilir. Birden fazla reaksiyon meydana gelmişse, değişik açılarda hedeften saçılan veya yayınlanan parçacığa diferansiyel tesir kesiti denir. Detektörler  $d\Omega$  açısında yer aldıklarından dolayı çıkan parçacıkların tümünü göremezler. Bu sebeple bu yayınlanan parçacıkların bir kısmını sayarlar ve tesir kesitinin  $d\sigma$  kesri bulunur. Açıya bağımlı diferansiyel tesir kesiti Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2** Gelen demet, hedef ve  $\theta, \phi$ 'deki  $d\Omega$  katı açısı içinde saçılan demeti gösteren reaksiyon

geometrisi (Krane 2002).

Işının geliş doğrultusuyla yaptığı açı ( $\theta$ ) ve detektörün katı açısı ( $d\Omega$ ) bize diferansiyel tesir kesitini verir. Diferansiyel tesir kesiti,  $\sigma(\theta, \phi)$  şeklinde gösterilir.

$$\sigma(\theta, \phi) = d\sigma/d\Omega \quad (2.3)$$

Saçılan parçacıklar birden fazla reaksiyona sebep oluyorsa her birinin ayrı diferansiyel kesitinin toplamı alınır.

Toplam tesir kesiti ise:

$$\sigma_T = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega \quad (2.4)$$

ifadesi ile bulunur.

Nükleer reaksiyonların meydana geldiği koşulların ve korunan niceliklerin bilinmesi nükleer reaksiyonların seyri açısından önemlidir.

### 2.3 Nükleer Reaksiyonlarda Korunan Nicelikler

Nükleer reaksiyonlarda yüksek enerjilerde toplam nükleon sayısı korunurken, düşük enerjilerde ise proton ve nötron sayıları ayrı ayrı korunur.

Nükleer reaksiyonlarda reaksiyona giren ürünlerin toplam yük sayıları ile çıkan ürünlerin toplam yük miktarı birbirine eşittir.

Nükleer reaksiyonlarda hadron ve lepton sayıları ile spin açıl momentumunun sayıları korunur.

Nükleer reaksiyonlarda, nükleer kuvvetin yükten bağımsız ve yük simetrisine bağlı olmasından dolayı izospin tüm reaksiyonlarda korunmalıdır (Özdoğan 2018).

Nükleer reaksiyonlar sonrası açığa çıkan parçacığın açısal momentumu hakkında bilgi sahibi olunursa, uyarılmış durumlara dair bilinmeyen paritelerin bulunması kolaylaşır (Krane 2002).

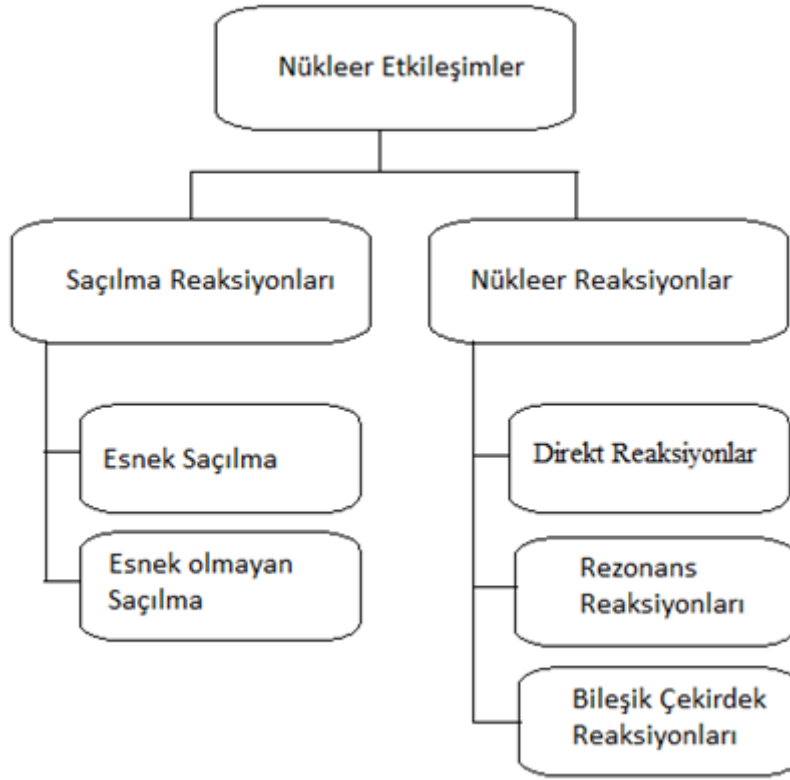
## 2.4 Nükleer Reaksiyon Türleri

Nükleer reaksiyonlarda gelen parçacığın kütle numarasına ve enerjisine göre farklı durumlar gözlenebilir. Bunlar;

- Gelen parçacığın kütle numarası  $A \leq 4$  ve nükleon başına enerji  $E \leq 10$  MeV olan mermi parçacıklarda, klasik düşük enerjili reaksiyon kuralları geçerlidir.
- Gelen parçacığın kütle numarası  $A \leq 40$  ise nükleer reaksiyonlar, ağır iyon reaksiyonları olarak adlandırılır.
- Gelen parçacığın kinetik enerjisi 1 MeV ile 1 GeV aralığında ise gelen parçacık orta enerjili reaksiyon sınıfına girer. Bu reaksiyonlarda proton ve nötronlar arasında dönüşümler meydana gelerek mezon oluşumu gözlenir (Krane 2002).

Nükleer reaksiyonlar oluşum mekanizmasına göre genel olarak iki grupta incelenir: Saçılma reaksiyonları ve çekirdek reaksiyonları. Çekirdek reaksiyonları ise üçe ayrılır: Denge öncesi reaksiyonlar, direkt reaksiyonlar ve bileşik çekirdek reaksiyonları (Şekil 2.3).





Şekil 2.3 Nükleer etkileşimlerin tablo olarak gösterimi (Aydın 1997).

#### 2.4.1 Elastik Saçılma

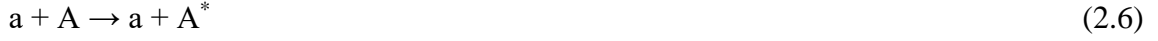
Bütün reaksiyonların en basiti elastik saçılmadır. Bu reaksiyonlarda giren ürünler ve çıkan ürünler aynı olup denklem 2.3'de gibi gösterilmiştir.



En bilindik örneği Coulomb saçılmasıdır. Çekirdek ve diğer parçacıkların çoğu yüklü olduğu için saçılma olayları Coulomb saçılması şeklinde gerçekleşir.

#### 2.4.2 İnelastik Saçılma

Temel olarak elastik saçılma ile aynı olup tek fark mermi parçacığının enerjisinin bir kısmı hedef çekirdeğe aktarması ve hedef çekirdeği uyarmasıdır. Bu reaksiyondan sonra genellikle takip eden bir gama emisyonu olur.



denklem 2.6'da gösterilen  $A^*$ , hedef çekirdeği  $A$ 'nın reaksiyon sonucunda uyarıldığını göstermektedir. Bu reaksiyonun en önemli yanı ise çekirdeğin iç yapısı hakkında önemli bilgiler verir.

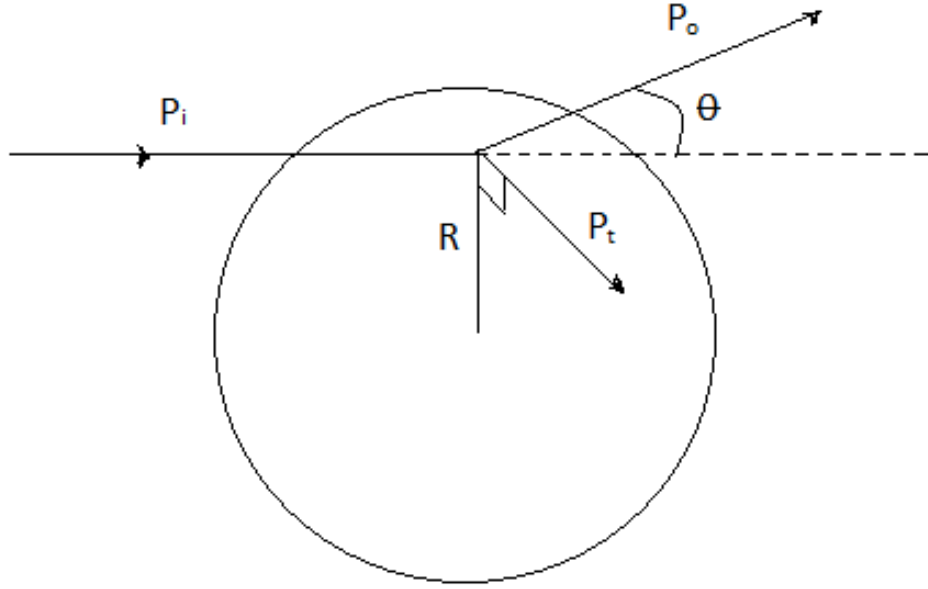
### 2.4.3 Direkt Reaksiyonlar

Direkt reaksiyonlar, çekirdek sınırlarında kısa süreli temaslar ile gerçekleşmektedir. Enerji ve madde aktarım miktarı küçüktür. Bunun yanında reaksiyonlar hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Ürün parçacıkların açısal dağılımı genellikle ileri yönde pik yapar (Lilley 2001).

Direkt reaksiyonlar bileşik reaksiyonlara göre çok daha kısa sürede ( $10^{-22}$  s) gerçekleşir. Direkt reaksiyonlarda, düşük açılarda tesir kesitleri pik yaparken, büyük açılarda ise şiddetleri düşmektedir. Direkt reaksiyonlar genellikle yüksek enerji değerlerinde görülmektedir (Özdoğan 2018).

Direkt reaksiyonlara örnek olarak transfer reaksiyonları verebiliriz. Transfer reaksiyonlarının en önemli özelliği ise başlangıç durumundaki kütleye yakın çekirdeğin özelliklerini ölçmek için kullanılmasıdır.

Direkt reaksiyonlarda ilk ve son durumda açısal momentumun korunması gerekmektedir. Bu reaksiyon sırasında yayınlanan parçacıkların açısal dağılımı Şekil 2.4'de verilmiştir.



**Şekil 2.4** R yarıçaplı hedef çekirdeğin yüzeyinde meydana gelen bir direkt reaksiyonun şematik gösterimi (Lilley 2001).

Reaksiyonun parçacıkların momentum denklemi;

$$P_i \rightarrow P_o + P_t \quad (2.7)$$

şeklindedir. Burada;

$P_i$  = gelen parçacığın momentumu

$P_o$  = çıkan parçacığın momentumu

$P_t$  = çekirdeğe aktarılan momentum

#### 2.4.4 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları

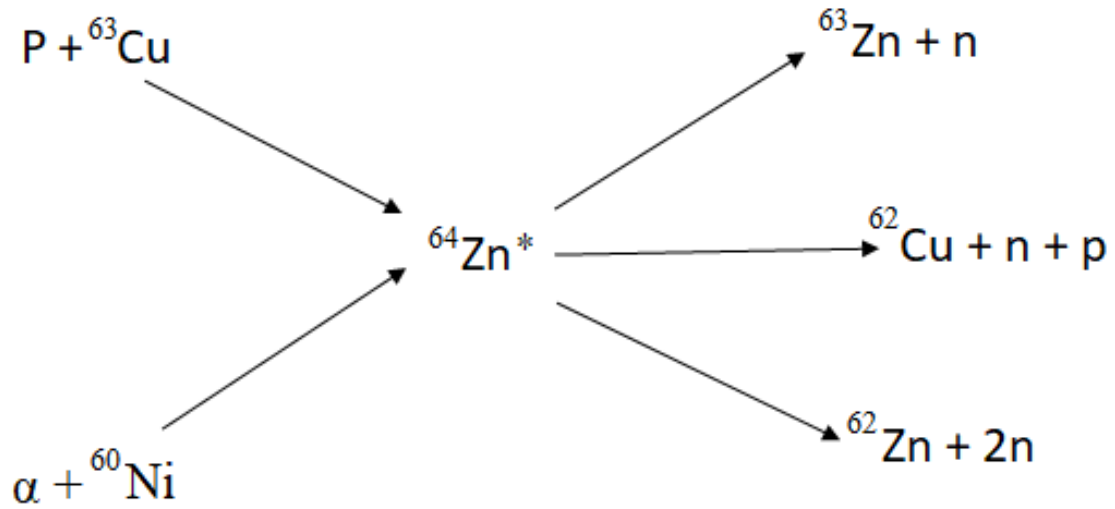
Merkez veya merkeze yakın yerlerde meydana gelen bir çarpışma çeşididir. Çarpışmalar birbirinden bağımsız evrelerden oluştuğu düşünülmektedir. Çarpışmanın başında mermi parçacık ve hedef çekirdek birbiriyle birleşir ve sonrasında bileşik sistem içerisinde nükleon-nükleon etkileşimleriyle birçok nükleon arasında enerji paylaşılır. Nükleonlardan biri kaçacak enerjiyi bulduğu zaman süreç tersine işlemeye başlar

(Lilley 2001).

Reaksiyonun denklemi;



şeklindedir. Direkt reaksiyonlara göre daha uzun bir sürede ( $10^{-18}$  s'den daha fazla) bileşik çekirdek reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bileşik reaksiyonlarda son oluşan ürünler ilk gelen ürünlerden bağımsız bir şekilde alınan enerjiye bağlı oluşur. Bileşik çekirdek reaksiyonlarının bir örneği Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 Bileşik çekirdek reaksiyon örneği (Krane 2002).

Bileşik çekirdek reaksiyonları gelen parçacığın çekirdekten kaçma şansının daha küçük olduğu 10 MeV ile 20 MeV enerji aralıklarında daha iyi çalışmaktadır. Bu yüzden düşük enerji seviyelerinde bileşik reaksiyonlar daha fazla görülür (Özdoğan 2018).

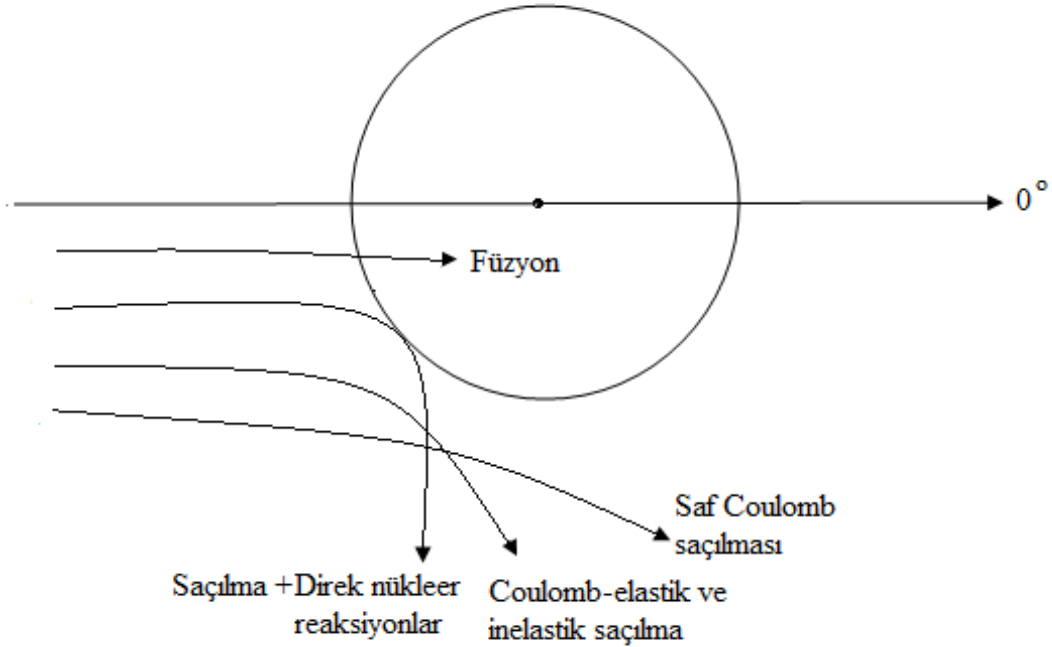
#### 2.4.5 Ağır-İyon Reaksiyonları

Ağır-iyon reaksiyonları hafif iyonlar veya nükleonlar tarafından oluşturulan reaksiyonlardan farklı özelliklere sahiptir. Mermi parçacığın dalga boyu genellikle

küçüktür ve çarpışma genellikle klasik ve yarı klasik olarak başarılı bir şekilde tanımlanabilir. Çarpışma füzyon olarak gerçekleşirse, enerjinin, açısal momentumun ve nükleer maddenin büyük miktarı transfer edilir (Krane 2002).

Ağır-iyon çarpışmalarında, düşük ve orta bombardıman enerjiye sahipse Coulomb kuvveti etkili olur. Gelen merminin geliş durumuna göre Coulomb saçılması, direkt reaksiyon ve füzyon meydana gelebilir.

Füzyon olayında ağır bir iyon hedef çekirdeğe momentum ve enerjisini aktarır. Bu durum çok yüksek sıcaklık ve basınç altında meydana gelirse yeni çekirdeklerin ve nükleer maddelerin meydana gelmesine sebep olabilir. Bu çarpışmalarda birçok farklı sonuç ortaya çıkabilir (Lilley 2001). Bir ağır iyon çarpışması sırasında farklı yörüngeler üzerindeki süreçler Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

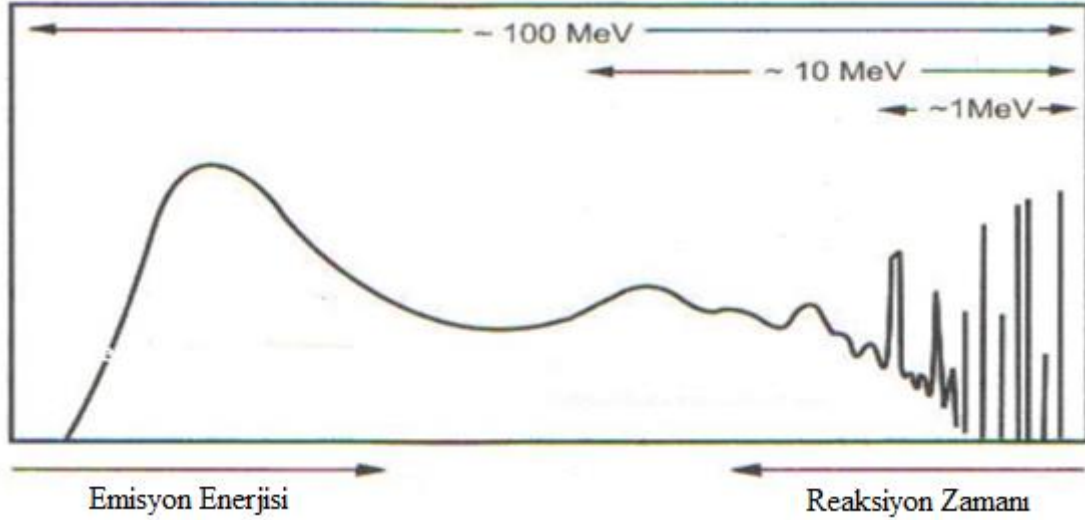


**Şekil 2.6** Bir ağır iyon çarpışmasında farklı yörüngeler üzerindeki süreçleri (Lilley 2001).

İki büyük çekirdek merkezi olarak çarpışırsa ortaya çok büyük bir enerji çıkar. Yüksek bir sıcaklıkta meydana gelen bu ağır-iyon çarpışma, üst üste çarpışmaların oluşmasına sebep olur. Evrenin başlangıcının da bu şekilde başladığı düşünülmektedir.



Ağır iyon çarpışmalarında uyarılma enerjisi arttıkça hedef çekirdeğin bozulma ihtimali artar. Bu olayın deneysel tesir kesitleri Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



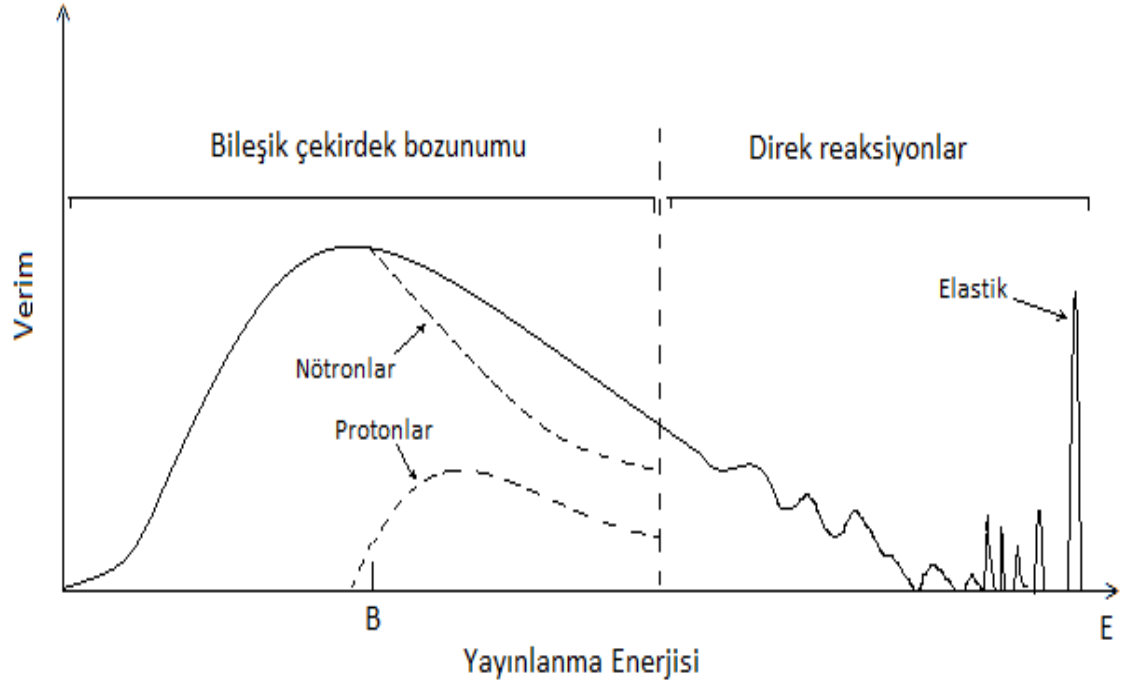
Şekil 2.7 Uyarılma enerjilerine göre tesir kesitleri (Koning vd. 2015).

## 2.5 Nükleer Reaksiyonların Genel Özellikleri

### 2.5.1 Enerji Spektrumları

Nükleer reaksiyonlarda çarpışma yüksek enerji bölgesinde ise; elastik, inelastik ve transfer reaksiyonları dolayısıyla birçok pik olur ve farklı enerji spektrumlarının çıkmasına sebep olur. Çıkan parçacıklarının enerjisini detektör yardımıyla ölçerek hangi cins parçacık olduğu hakkında fikir sahibi olunur. Daha düşük enerjilerde ise enerji seviyelerinin pikleri birbirine çok yakın olduğu ve enerji ölçümlerindeki belirsizliklerden dolayı birbirinden ayırt edilemezler (Lilley 2001).

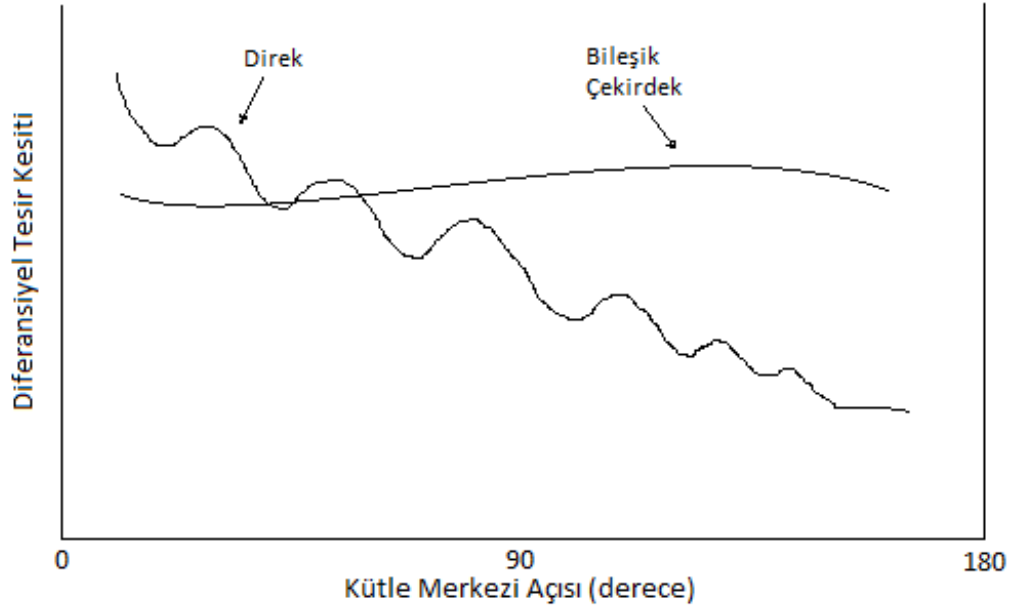
Farklı reaksiyon mekanizmaları, farklı enerjilerle çıkan parçacıklara neden olduğu için çoğunlukla birbirlerinden ayrılabilirler. Coulomb engelinin birkaç katı üzerindeki bombardıman enerjisine sahip protonlar, orta kütleli çekirdekleri içeren bir hedefe çarptıklarında meydana gelen nükleer çarpışmalar sonucu açığa çıkan parçacıkların enerji spektrumu Şekil 2.8’de verilmiştir.



**Şekil 2.8** Orta kütleli çekirdekleri içeren bir hedef ile Coulomb engelini birkaç katı büyüklüğünde enerjiye sahip protonlar tarafından oluşturulan nükleer reaksiyonlar sonucu açığa çıkan yüklü parçacıkların ve nötronların enerji spektrumu (Lilley 2001).

### 2.5.2 Açısal Dağılımlar

Nükleer reaksiyonlarda çıkan parçacık, gelen merminin ilk enerjisinin ve momentumunun çoğunu alır. Bu çarpışma yüzeysel bir çarpışmadır. Direkt reaksiyonlarda açısal bağımlılık ileri yönde pik yapar. Bileşik çekirdeklerde ise buharlaşan parçacıkların açısal dağılımı  $90^\circ$  etrafında izotropik ve simetriktir. Kütle merkezi sisteminde, direkt ve direkt olmayan reaksiyonların sonucunda çıkan ürünlerin karakteristik diferansiyel tesir kesitleri Şekil 2.9’da verilmiştir.



**Şekil 2.9** Direkt reaksiyondan ve bileşik çekirdeğin bozunumundan yayımlanan parçacıkların diferansiyel tesir kesitleri (Lilley 2001).

### 3. MATERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasında,  $^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Cs}(p,x)^{131}\text{Cs}$ ,  $^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$  ve  $^{131}\text{Xe}(p,n)^{131}\text{Cs}$  reaksiyonları ile  $^{131}\text{Cs}$  radyoizotopunun elde edilmesiyle ilgili tesir kesitleri hesaplandı. Bu hesapların teorik verileri TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kodundan alınmıştır.

TALYS 1.8 nükleer kod programında elde edilen veriler daha sonra EXFOR veri kütüphanesinde mevcut deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

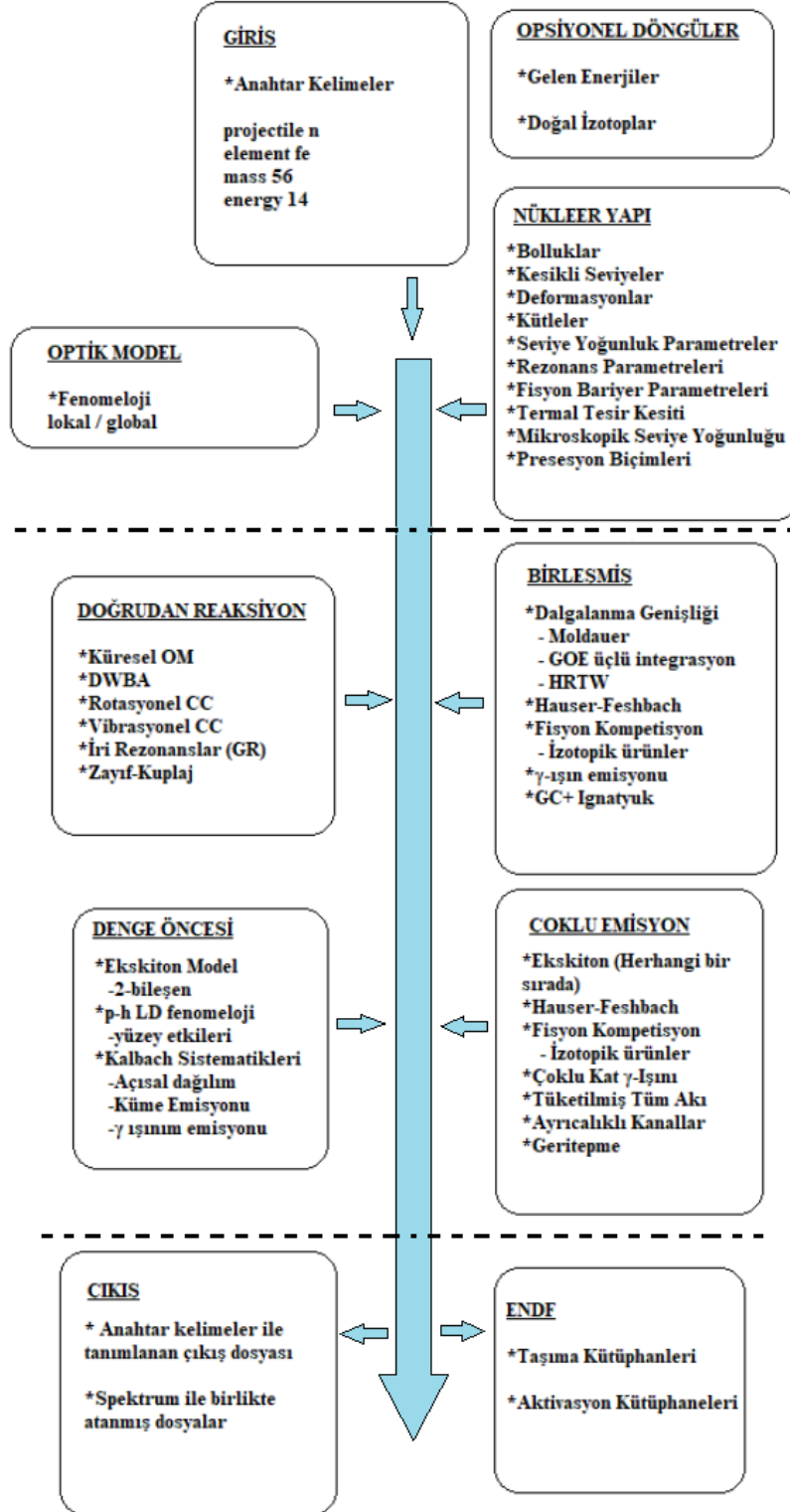
#### 3.1 Kullanılan Materyaller

##### 3.1.1 TALYS Bilgisayar Programı

TALYS 1.8 nükleer kod programı, nükleer reaksiyonların simülasyonları için yazılmış olan bir paket programıdır. TALYS 1.8 nükleer kod programı, nükleer modeller kullanarak tüm reaksiyon mekanizmalarını, reaksiyon kanallarını ve gözlenebilir tüm ihtimalleri belirler. Bu programda oluşturulan simülasyon reaksiyonlarında, nötron, proton, döteryum, trityum,  $^3\text{He}$ ,  $\alpha$  parçacıkları ve  $\gamma$  ışınları ile 1 keV – 1000 MeV enerji bölgesinde çalışabilir. Hedef çekirdeğin kütlesi ise  $5 < A \leq 339$  arasında geliştirilen nükleer reaksiyon modellerine bağlı nükleer hesaplamalar gerçekleştirilir. TALYS 1.8 nükleer kod programı; optik modeller, bileşik çekirdek reaksiyon modelleri, seviye yoğunluğu modelleri, direkt reaksiyon modelleri, fisyon reaksiyon modelleri ve denge-öncesi reaksiyon modellerini nükleer reaksiyon tesir kesiti hesaplama işlemlerinde kullanmaktadır (Koning vd. 2015).

TALYS 1.8 nükleer kod programı, nükleer reaksiyon tesir kesitleri için farklı modellerin verdiği tesir kesitlerine bakarak yorum yapmamızı sağlayan bir programdır. TALYS 1.8 nükleer kod programı; optik modeller, bileşik çekirdek reaksiyon modelleri, seviye yoğunluğu modelleri, direkt reaksiyon modelleri, fisyon reaksiyon modelleri ve denge-öncesi reaksiyon modellerini nükleer reaksiyon tesir kesiti hesaplama işlemlerinde kullandığı için nükleer reaksiyonları deneysel olarak hesaplamadan da teorik olarak hesaplamamızı sağlar (Koning vd. 2015).

TALYS 1.8 nükleer kod programının çalışma mantığı ayrıntılı bir şekilde reaksiyon çeşitleri ile birlikte Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 TALYS 1.8 nükleer kod programının çalışma şeklinin gösterimi (Koning vd. 2015).

### 3.1.2 TALYS 1.8 Çıktı Veri Dosyası

TALYS 1.8 nükleer kod programında çalıştırılan dosyalar bize nükleer reaksiyonlarla ilgili birçok sonuç verir. Bu çıktı dosyalarında;

- Esnek, esnek olmayan ve toplam tesir kesitini,
- Tekli ya da çoklu emisyon tesir kesitlerini,
- İzometrik ve taban durum tesir kesitini,
- Ürün çekirdeklerin oluşum tesir kesitlerini,
- Toplam parçacık (n,xn), (n,xp) vb. enerji ve çift diferansiyel tesir kesitlerini,
- Kesikli seviyelerde açısal dağılımları,
- Elastik saçılma açısal dağılımlarını,

gibi veriler elde edilebiliriz (Koning vd. 2015).

### 3.2 EXFOR Veri Kütüphanesi

EXFOR veri kütüphanesi, deneysel nükleer reaksiyon verilerinin kapsamlı bir şekilde toplanıp, depolanıp ve tekrardan kullanıma hazır hale getirilen bir kütüphanedir. EXFOR web veri tabanı erişim sistemi; veri arama, çeşitli biçimlerde çıktı, ENDF ile çizim karşılaştırma, eski verileri yeni standartlara göre yeniden düzenleme, ters reaksiyonlar ve verileri hesaplama, kısmi belirsizliklerden korelasyon matrisleri oluşturma gibi birçok hizmeti vardır (İnt. Kayn. 3).

Nükleer bilim dünyasında günümüze kadar yapılan 23000 deney bulunmaktadır. Bu deneyler EXFOR veri kütüphanesi, IAEA Nükleer Veri Bölümü tarafından koordine edilen uluslararası Nükleer Reaksiyon Veri Merkezleri Ağı adlı bir dünya çapındaki iş birliğinin bir ürünüdür (İnt. Kayn. 3).

### 3.4 Kullandığımız Elementler

#### 3.4.1 Sezyum (Cs) Elementi

Sezyum elementi Cs sembolü ile gösterilir. Periyodik cetvelde atom numarası 55 olan sezyum elementi, alkali metaller grubuna ait kimyasal bir elementtir. Sezyum elementi oda koşullarında katı olsa da 28 °C de erimektedir. Doğa da ender rastlanan gümüşümsü altın renkte bir elementtir.

Sezyum, insanlar için çok zararlı olabileceği gibi, bilim dünyası için çok faydalı, nükleer santrallerin ise vazgeçilmez olan bir elementtir. Son yıllarda ise kanser tedavilerinde kullanılmaya başlanan sezyumun özellikleri baktığımız zaman, hafife alınmayacak kadar dikkat çekicidir (İnt. Kayn. 2).

Sezyum elementi; atom ağırlıkları 112-151 arasında değişen bilinen 39 izotopu bulunur. Kararlı ve yaygın izotopu ise  $^{133}\text{Cs}$ 'tür.  $^{137}\text{Cs}$  ise, radyoaktif anlamda çok tehlikeli sezyum izotopudur. Başka bir radyoaktif izotop olan  $^{135}\text{Cs}$  ise, yaklaşık 2,3 milyon yıllık en uzun yarılanma ömrüne sahiptir. Radyoaktif  $^{131}\text{Cs}$  izotopu ise kanser tedavilerinde kullanılmaktadır (İnt. Kayn. 2).

Sezyum, yüksek enerji üretme kapasitesi sebebiyle genellikle nükleer endüstrisinde kullanılan en önemli metaldir.

Sezyum elementi nükleer çalışmalarda önemli yer tutmaktadır. Bu yüzden sezyum elementi çalışmalarımızda seçilmiştir.

#### 3.4.2 İyot (I) Elementi

İyot elementi I sembolü ile gösterilir. Atom numarası 53 olan iyot elementi periyodik cetvelde halojenler grubunda yer alan mor renkli kimyasal bir elementtir. Doğa da en çok deniz suyunun içinde bulunur. Tek kararlı izotopu  $^{127}\text{I}$  tür. İyot elementinin bilinen 37 izotopu vardır (İnt. Kayn. 2).

İyot elementi, yaşamın parçası olan elementler arasında önemli bir yer tutmaktadır. Guatr hastalığının en önemli sebebi de iyot eksiliğinden kaynaklanmaktadır. İyodun başlıca kullanım alanlarına değinecek olursak tıp, fotoğrafçılık ve boya sektörüdür. Ayrıca bazı kimyasal reaksiyonlarda katalizör görevi görür (İnt. Kayn. 2).

İyot elementine, alfa parçacığı gönderildiği zaman meydana gelen nükleer reaksiyonda  $^{131}\text{Cs}$  elementi meydana geldiği için çalışmamızda iyot elementi kullanılmıştır.

### **3.4.3 Ksenon (Xe) Elementi**

Ksenon elementi Xe sembolü ile gösterilir. Atom numarası 54 olan ksenon elementi periyodik cetvelde soygazlar grubunda yer alan renksiz bir elementtir. Atmosferden damıtma ile elde edilen ksenon, genellikle reaktif olmayan bir elementtir (İnt. Kayn. 2).

Ksenon elementi yaygın olarak aydınlatma sektöründe kullanılır. Soygazlar arasında daha pahalı olduğundan dolayı kullanım alanı sınırlıdır. Ayrıca bazı kanser türlerinin tedavisinde kullanılan ilaçlarda da ksenon elementini içerir (İnt. Kayn. 2).

Ksenon elementine, proton mermi parçacığı gönderildiği zaman meydana gelen nükleer reaksiyonda  $^{131}\text{Cs}$  elementi meydana geldiği için çalışmamızda ksenon elementi kullanılmıştır.

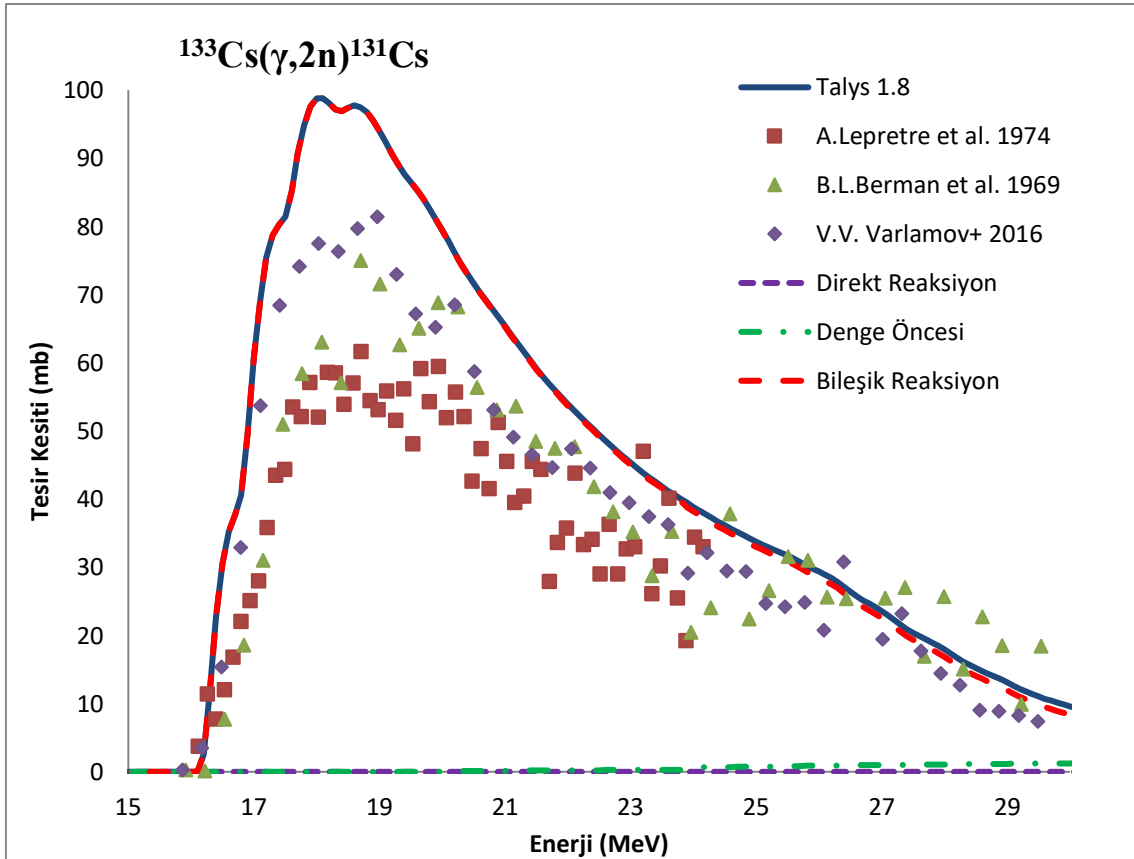


#### 4. BULGULAR

Bu çalışmada  $^{133}\text{Cs}$  hedefi üzerine gama ve proton demeti,  $^{127}\text{I}$  hedefi üzerine alfa demeti ve  $^{131}\text{Xe}$  hedefi üzerine proton demeti gönderilerek  $^{131}\text{Cs}$  izotopunu elde etmek için TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kodu kullanılarak reaksiyon tesir kesitleri hesaplanmıştır. Elde edilen teorik tesir kesitleri, gönderilen demetlerinin enerjisine göre çizilen grafikler yardımıyla EXFOR nükleer data kütüphanesinde var olan deneylerin tesir kesitleri ile karşılaştırılmıştır.

##### 4.1 $^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$ Reaksiyonu

$^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$  reaksiyonu için EXFOR da var olan Lepretre vd. (1974), Berman vd. (1969) ve Varlomov vd. (2016) deneylerine ait reaksiyon tesir kesitleriyle TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kodu ile elde edilen teorik tesir kesiti değerleri Grafik 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1  $^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$  reaksiyonu için tesir kesiti hesaplanıp deneysel verilerle

karşılaştırılması.

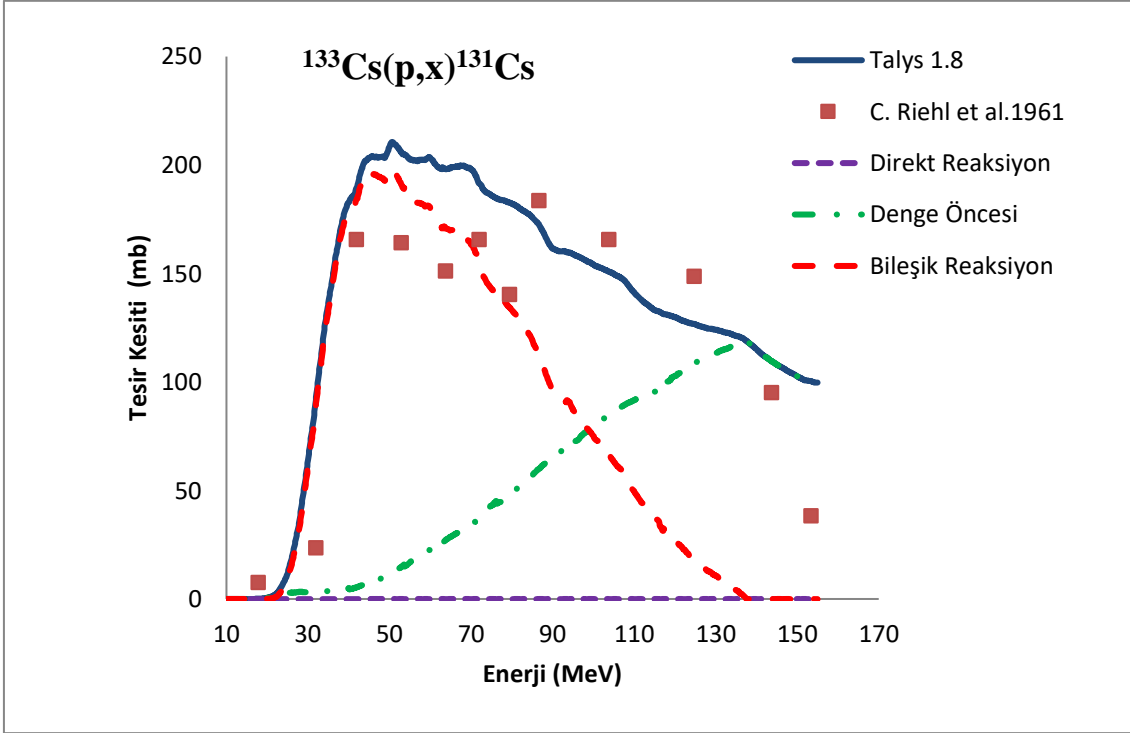
$^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonuyla ilgili Lepretre vd.'nin (1974), Berman vd.'nin (1969) ve Varlomav vd.'nin (2016) yaptığı deneysel çalışmalarında reaksiyonun tesir kesiti 15,9 MeV ile 29,5 MeV enerji aralığında olduğu, maksimum tesir kesiti enerjisi değerinin 18,8 MeV olduğu ve maksimum tesir kesitinin de 72,7 mb olduğu görülmüştür. TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kod programında ise reaksiyon tesir kesitinin 16,2 MeV ile 32 MeV enerji aralığında olduğu, maksimum tesir kesiti enerjisi değerinin 18,1 MeV olduğu ve maksimum tesir kesitinin de 98,8 mb olduğu görülmüştür.

$^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonuyla ilgili Grafik 4.1'i incelediğimiz zaman 20,1 ile 32 MeV enerji aralığında denge öncesi reaksiyonlar aktif olmasına rağmen 16,2 ile 32 MeV enerji aralığının tamamında bileşik reaksiyonların baskın olduğu görülmüştür. Reaksiyonda direkt reaksiyonların etkisi görülmemiştir.

$^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonuyla ilgili TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kod programında elde ettiğimiz simülasyon deneylerinin sonuçları ile EXFOR veri kütüphanesinden alınan deneysel sonuçların grafikleri incelendiği zaman uyumlu oldukları görülmüştür.

#### **4.2 $^{133}\text{Cs}(\text{p},\text{x})^{131}\text{Cs}$ Reaksiyonu**

$^{133}\text{Cs}(\text{p},\text{x})^{131}\text{Cs}$  reaksiyonu için EXFOR da var olan Riehl vd. (1961) deneyine ait reaksiyon tesir kesitleriyle TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kodu ile elde edilen teorik tesir kesiti değerleri Grafik 4.2'de verilmiştir.



**Şekil 4.2**  $^{133}\text{Cs}(p,x)^{131}\text{Cs}$  reaksiyonu için tesir kesiti hesaplanıp deneysel verilerle karşılaştırılması.

$^{133}\text{Cs}(p,x)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonuyla ilgili Riehl vd.'nin (1961) yaptığı deneysel çalışmalarında reaksiyonun tesir kesiti 17,8 MeV ile 153,3 MeV enerji aralığında olduğu, maksimum tesir kesiti enerjisi değerinin 86,6 MeV olduğu ve maksimum tesir kesitinin de 183,9 mb olduğu görülmüştür. TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kod programında ise reaksiyon tesir kesitinin 15,1 MeV ile 155 MeV enerji aralığında olduğu, maksimum tesir kesiti enerji değerinin 51,7 MeV olduğu ve maksimum tesir kesitinin de 210 mb olduğu görülmüştür.

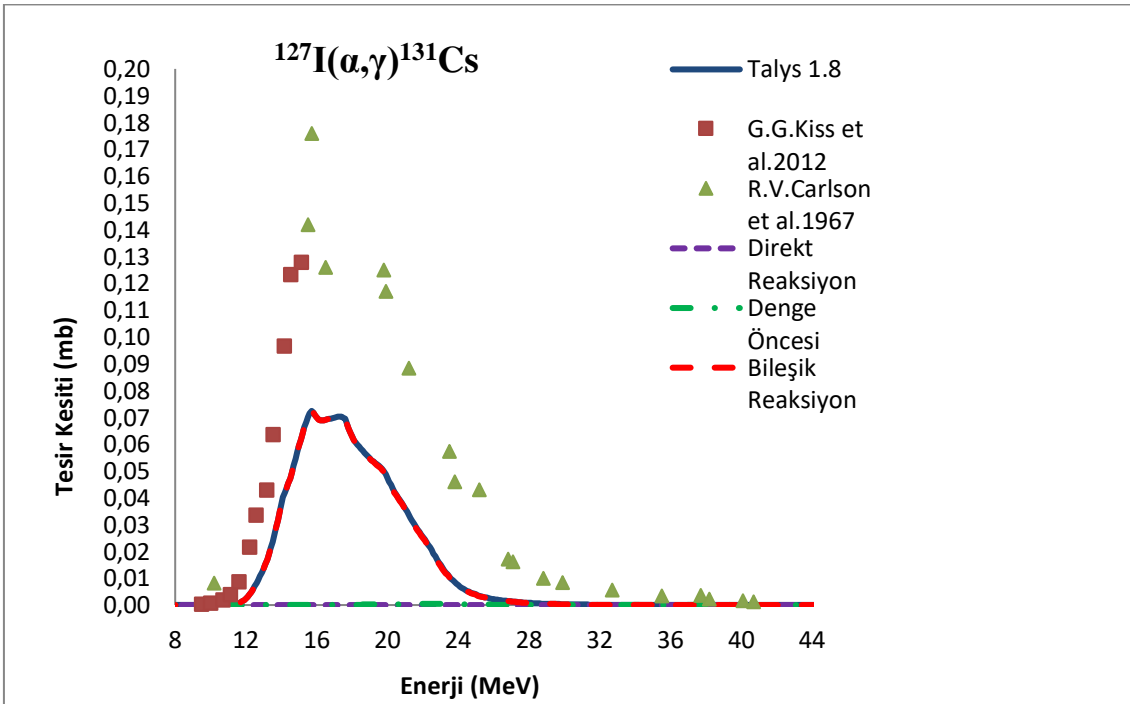
$^{133}\text{Cs}(p,x)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonuyla ilgili Grafik 4.2'yi incelediğimiz zaman 19,2 ile 155 MeV enerji aralığında direkt reaksiyonların, 15,1 ile 155 MeV enerji aralığında ise denge öncesi ve bileşik reaksiyonların aktif oldukları görülmüştür. 15,1 ile 99,1 MeV enerji aralığında bileşik reaksiyonların baskın olduğu, 99,1 ile 155 MeV enerji aralığında ise denge öncesi reaksiyonların baskın olduğu görülmüştür.

$^{133}\text{Cs}(p,x)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonuyla ilgili TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kod programında elde ettiğimiz simülasyon deneylerinin sonuçları ile EXFOR veri kütüphanesinden alınan deneysel sonuçların grafikleri incelendiği zaman uyumlu

oldukları görülmüştür.

### 4.3 $^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$ Reaksiyonu

$^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$  reaksiyonu için EXFOR da var olan Kiss vd. (2012) ve Carlson vd. (1967) deneylerine ait reaksiyon tesir kesitleriyle TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kodu ile elde edilen teorik tesir kesiti değerleri Grafik 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3  $^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$  reaksiyonu için tesir kesiti hesaplanıp deneysel verilerle karşılaştırılması.

$^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonu ile ilgili Kiss vd.’nin (2012) ve Carlson vd.’nin (1967) yaptığı deneysel çalışmalarında reaksiyonun tesir kesiti 9,5 MeV ile 40,7 MeV enerji aralığında olduğu, maksimum tesir kesiti enerjisi değerinin 15,4 MeV olduğu ve maksimum tesir kesitinin de 0,12 mb olduğu görülmüştür. TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kod programında ise reaksiyon tesir kesitinin 7,6 MeV ile 45 MeV enerji aralığında olduğu, maksimum tesir kesiti enerji değerinin 17,4 MeV olduğu ve maksimum tesir kesitinin de 0,07 mb olduğu görülmüştür.

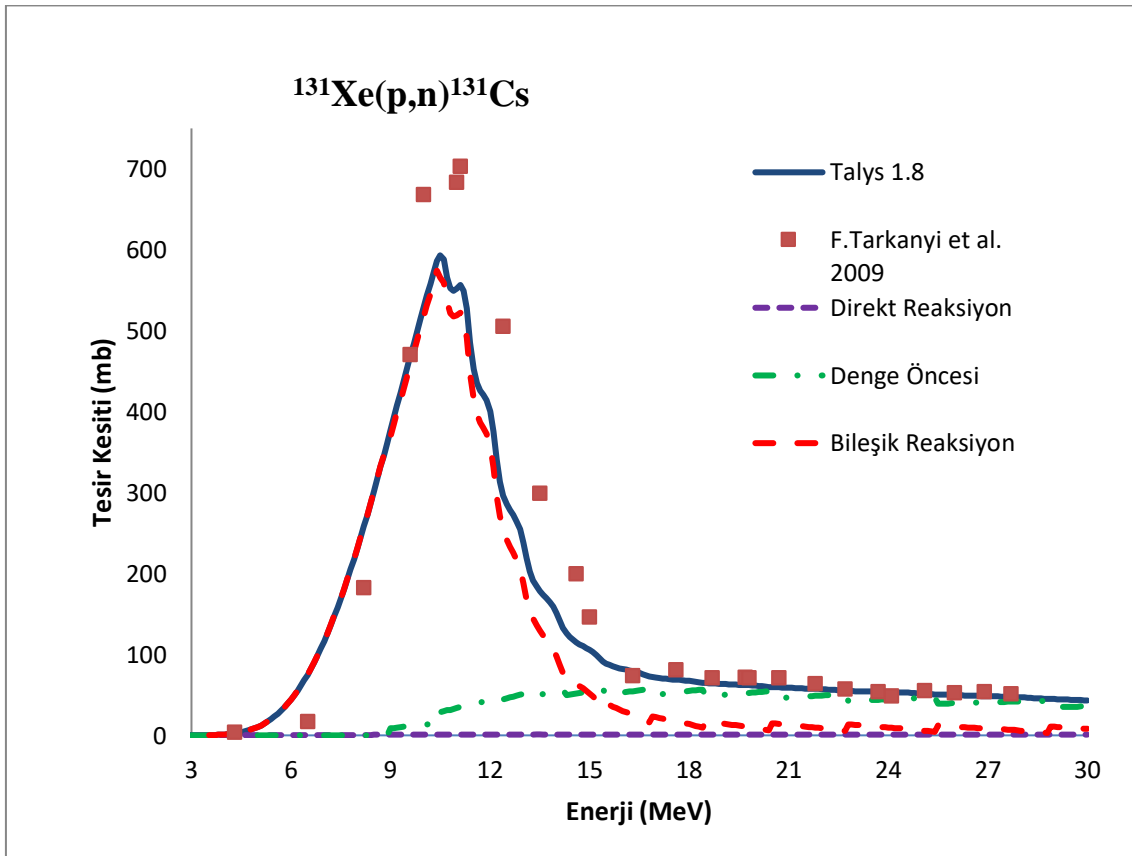
$^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonu ile ilgili Grafik 4.3’ü incelediğimiz zaman 11,6 ile 45 MeV enerji aralığında denge öncesi ve bileşik reaksiyonların aktif olmasına rağmen

reaksiyonun tamamında bileşik reaksiyonların baskın olduğu görülmüştür. Reaksiyonda direkt reaksiyonların etkisi görülmemiştir.

$^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonu ile ilgili TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kod programında elde ettiğimiz simülasyon deneylerinin sonuçları ile EXFOR veri kütüphanesinden alınan deneysel sonuçların grafikleri incelendiği zaman uyumlu oldukları görülmüştür.

#### 4.4 $^{131}\text{Xe}(p,n)^{131}\text{Cs}$ Reaksiyonu

$^{131}\text{Xe}(p,n)^{131}\text{Cs}$  reaksiyonu için EXFOR da var olan Tarkanyi vd. (2009) deneyine ait reaksiyon tesir kesitleriyle TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kodu ile elde edilen teorik tesir kesiti değerleri Grafik 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4  $^{131}\text{Xe}(p,n)^{131}\text{Cs}$  reaksiyonu için tesir kesiti hesaplanıp deneysel verilerle karşılaştırılması.

$^{131}\text{Xe}(\rho,n)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonuyla ilgili Tarkanyi vd.'nin (2009) yaptığı deneysel çalışmalarında reaksiyonun tesir kesiti 4,3 MeV ile 27,7 MeV enerji aralığında olduğu, maksimum tesir kesiti enerjisi değerinin 11,1 MeV olduğu ve maksimum tesir kesitinin de 703 mb olduğu görülmüştür. TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kod programında ise reaksiyon tesir kesitinin 2,4 MeV ile 30 MeV enerji aralığında olduğu, maksimum tesir kesiti enerji değerinin 10,5 MeV olduğu ve maksimum tesir kesitinin de 593 mb olduğu görülmüştür.

$^{131}\text{Xe}(\rho,n)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonuyla ilgili Grafik 4.4' incelediğimiz zaman 9 ile 30 MeV enerji aralığında denge öncesi reaksiyonların, 2,4 ile 30 MeV enerji aralığında ise direkt ve bileşik reaksiyonların aktif olduğu görülmüştür. 2,4 ile 15 MeV enerji aralığında bileşik reaksiyonlar baskın olduğu, 15 ile 30 MeV enerji aralığında ise denge öncesi reaksiyonların baskın olduğu görülmüştür.

$^{131}\text{Xe}(\rho,n)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonuyla ilgili TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kod programında elde ettiğimiz simülasyon deneylerinin sonuçları ile EXFOR veri kütüphanesinden alınan deneysel sonuçların grafikleri incelendiği zaman uyumlu oldukları görülmüştür.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Nükleer fiziğin tıp alanındaki gelişmeleri, Nükleer Tıp adında bir bilim dalının oluşmasına sebep olmuştur. Hastanelerin nükleer tıp bölümlerinde günümüzün en büyük sağlık sorunlarından biri olan kanser tedavisi yapılmaktadır. Kanser tedavisinde, üniversiteler ve araştırma laboratuvarlarında bulunan hızlandırıcılar ile araştırma reaktörlerinde üretilen radyoizotoplar önemli yer tutmaktadır. Radyoizotoplar sayesinde kanserli hücreye radyasyon verilerek kanserli hücrelerin öldürülmesi ve yayılmasının önlenmesi sağlanmaktadır.

Tez çalışmamızda araştırdığımız radyoizotop ise  $^{131}\text{Cs}$ 'in elde edilmesidir. Sezyum elementi yüksek enerji üretme kapasitesi sebebiyle genellikle nükleer enerji santrallerinde kullanılır. Sezyumun radyoaktif izotopları ise bazı kanser türlerinin tedavisinde kullanılmaktadır. Sezyum bu alanların dışında da birçok alanda kullanılan önemli bir elementtir.

Sezyum bu kadar önemli bir element olunca izotoplarının elde edilmesi de önemli bir yer tutmaktadır. Sezyumun elde edilmesinde, nükleer reaksiyonların çalışma prensiplerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Nükleer reaksiyonların istediğimiz sonuçlarına göre farklı çalışma kesitleri vardır. Bu yüzden araştırdığımız nükleer reaksiyon için tesir kesitlerini belirlemek, ortaya çıkacak sonuçları anlamak için önemlidir. Ayrıca tesir kesitini bilmek, doğada az bulunan, değerli ve radyoaktif bir element olan sezyum gibi elementleri verimli bir şekilde kullanmak içinde önemlidir.

Tez çalışmasında  $^{131}\text{Cs}$  radyoizotopunun nükleer reaksiyonlar ile eldesi için tesir kesitleri incelendi. Tesir kesitlerini hesaplanırken TALYS 1.8 nükleer kod programı kullanıldı. Yapılan deneysel çalışmaları ise nükleer reaksiyon verilerinin kapsamlı bir şekilde depolanıp, kullanıma hazır hale getiren EXFOR deneysel veri kütüphanesinden alındı. Elde edilen veriler Çizelge 5.1 de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1** TALYS 1.8 nükleer kod programı ile deneysel verilerin karşılaştırılması.

REAKSİYON	TALYS 1.8			DENEYSEL			TALYS 1.8 ve Deneysel Verilerin Maksimum Tesir Kesiti Yüzdellik farkı	TALYS 1.8 ve Deneysel Verilerin Maksimum Tesir Kesiti Enerjilerinin Yüzdellik farkı
	Maksimum Tesir Kesiti (mb)	Maksimum Tesir Kesiti Enerji Değeri (MeV)	Enerji Aralığı (MeV)	Maksimum Tesir Kesiti (mb)	Maksimum Tesir Kesiti Enerji Değeri (MeV)	Enerji Aralığı (MeV)		
$^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$	98,8	18,1	16,2-32	72,7	18,8	15,9-29,5	%35,9	%3,7
$^{133}\text{Cs}(p,x)^{131}\text{Cs}$	210	51,7	15,1-155	183,6	86,6	17,8-153,3	%14,3	%40,3
$^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$	0,07	17,4	7,6-45	0,12	15,4	9,5-40,7	%41,6	%12,9
$^{131}\text{Xe}(p,n)^{131}\text{Cs}$	593	10,5	2,4-30	703	11,1	4,3-27,7	%15,6	%5,4

$^{133}\text{Cs}(\gamma,2n)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonunun maksimum tesir kesiti enerji değerinin 18,1 MeV olduğu görülmektedir. Gama ışınlarının maksimum görüldüğü enerji değeri 8 MeV olduğundan dolayı  $^{131}\text{Cs}$  radyoizotopunun eldesi için bu nükleer reaksiyonla çalışmamızın mümkün olmadığı görülmektedir.

$^{133}\text{Cs}(p,x)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonunda x yazmamızın nedeni; nükleer reaksiyondan döteryum veya birer proton ve nötron çıkmış olabileceğidir. Nükleer reaksiyonun grafiğini incelediğimiz zaman denge öncesi reaksiyonların, direkt reaksiyonlardan fazla olduğu görülmektedir. Denge öncesi reaksiyonların çalışma aralığı 10 MeV ile 20 MeV olduğu, direkt reaksiyonların ise yüksek enerji değerlerinde gerçekleştiği bilinmektedir. Bu sebeplerden dolayı direkt reaksiyonlar, denge öncesi reaksiyonlardan daha fazla olması gerekmektedir. TALYS 1.8 nükleer kod programında çıkan grafiklerin nedeni,



denkleminizde x kısmına döteryum veya proton ve nötron belirtmediğimiz için program direkt reaksiyonları algılayamamaktadır. Denge öncesi reaksiyonları ise bileşik reaksiyonların ve direkt reaksiyonların farkından aldığı için karşımıza böyle bir grafik çıkmaktadır.

$^{133}\text{Cs}(p,x)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonun değerlerini Çizelge 5.1’de incelediğimiz zaman  $^{131}\text{Cs}$  radyoizotopunun eldesi bu reaksiyon ile çok maliyetli olacağı için uygun değildir.

$^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonunda TALYS 1.8 nükleer kod programıyla elde ettiğimiz tesir kesiti değerlerinin deneysel değerlerden daha düşük çıkmasının nedeni nükleer reaksiyon sırasında  $\alpha$ ’ların yaptığı gama ışımalarının nükleer kod programı tarafından sayılmamasıdır.

$^{127}\text{I}(\alpha,\gamma)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonunun değerleri Çizelge 5.1’de incelediğimizde tesir kesitlerinin düşük olması, enerji aralığı ve en önemlisi maliyeti bakımından  $^{131}\text{Cs}$  radyoizotopunun eldesi için uygun bir reaksiyon olmadığı görülmektedir.

$^{131}\text{Xe}(\rho,n)^{131}\text{Cs}$  nükleer reaksiyonunun değerlerini Çizelge 5.1’de incelediğimizde  $^{131}\text{Cs}$  radyoizotopunu elde etmek için, maksimum tesir kesiti değeri, maksimum tesir kesiti enerjisi, verim ve reaksiyonun meydana getirecek uygun maliyet koşulları bakımından en uygun nükleer reaksiyon olduğu görülmektedir.

Nükleer reaksiyonları hem maliyet hem de uygun koşullarla her zaman deneysel olarak gerçekleştirmek mümkün olmamaktadır. Kimi zaman ise reaksiyona giren maddeler çok değerli olduğundan doğru şekilde kullanmak gerekmektedir. Bu gibi durumlar da simülasyon programları ile teorik deneyler yapmak çok daha avantajlı bir seçenek haline gelmektedir. TALYS 1.8 nükleer reaksiyon kod programı ise tez çalışmamızda araştırdığımız nükleer reaksiyonların tesir kesitleri için yüksek oranda uyumlu sonuçlar vermiştir. Tez çalışmamız,  $^{131}\text{Cs}$  radyoizotopunu elde etmek için faydalı bir çalışma olmuştur. Hem maliyet hem zaman açısından bu tür nükleer kod programlarını kullanmak, nükleer çalışmaların ilerlemesi açısından önemi yadsınamaz bir gerçektir.

## 6. KAYNAKLAR

- Aydın A, 1997,  $^{40}\text{Ar}$  (p,p)  $^{40}\text{Ar}$  Esnek Saçılmasının 22.6, 27.5, 30.0 ve 36.7 MeV Proton Enerjilerinde Optiksel Model Analizi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 136s, Samsun.
- Barut E, Canlıdınç R, Özmal F, Erdoğan Y, 2020, Bor Endüstri Atıklarından Sezyumun Ekstraksiyonu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, XX, 1-8.
- Berman B L, Kaiser W A, 1972, The Average  $^{130}\text{Ba}(n,\gamma)$  Cross Section and The Origin of  $^{131}\text{Xe}$  on The Moon, Earth and Planetary Science Letters, 15, 320-324.
- Carlson R V, Daly P J, 1967, Excitation Functions for ( $^3\text{He},\gamma$ ) and ( $^4\text{He},\gamma$ ) Reactions, Nuclear Physics A, 102, 161-176.
- Kiss G G, Szücs T, Török Zs, Korkulu Z, Gyürky Gy, Halasz Z, Fülöp Zs, Somorjai E, Rauscher T, 2012, Investigation of  $\alpha$ -induced reaction on  $^{127}\text{I}$  for The Astrophysical  $\gamma$  Process, Physical Review C, 86, 035801, American Physical Society.
- Koning A, Hilaire S, Goriely S, 2015, TALYS 1.8 Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), The Netherlands.
- Krane K S, 2002, Introductory Nuclear Physics, Çev.: Şarer B, Nükleer Fizik - Cilt 2, Palme Yayıncılık, 461s, Ankara.
- Lepretre A, Beil H, Bergere R, Carlos P, De Miniac A, Veyssiere A, Kernbach K, 1974, A Study of The Giant Dipole Resonance of Vibrational Nuclei in The  $103 \leq A \leq 133$  Mass Region, Nuclear Physics, Section A, 219, 39-60.
- Lilley J, 2001, Nuclear Physics Principles and Applications, Çev.: Aydın A, Sarpün İ S, Tel E, Kaplan A, Nükleer Fizik İlkeler ve Uygulamalar, Nobel Akademik Yayıncılık, 395s, Ankara.
- Martin J E, 2013, Physics for Radiation Protection, Çev.: Tanır A G, Bölükdemir M H, Koç K, Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği, Palme yayıncılık, 822s, Ankara.
- Murphy M, Piper K, Greenwood L, 2004, Evaluation of The New Cesium-131 Seed for

- Use in Low-Energy X-Ray Brachytherapy, 2004, American Association of Physicists Medicine, Medical Physics, 31(6), 1529-1538.
- Riehl C, 1961, Reactions (p,p xn) Sur Le Cesium, Le Journal de Physique et Le Radium, 22, 770-771.
- Tarkanyi F, Hermanne A, Takacs S, Rebeles R A, Van den Winkel P, Kiraly B, Ditroi F, Ignatyuk A V, 2009, Cross Section Measurements of The  $^{131}\text{Xe}(p,n)$  Reaction for Production of The Therapeutic Radionuclide  $^{131}\text{Cs}$ , Applied Radiation and Isotopes, 67, 1751-1757.
- Özdoğan H, 2018, Fe, Zr, Nb ve Ag Füzyon Reaktörleri Yapısal Elementlerinin Tesir Kesitlerinin Nükleer Reaksiyon Modelleri Kullanılarak İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 165s, Isparta.
- Özen A, Saynak M, Çaloğlu V, Uzal M, 2017, Prostat Kanseri Brakiterapisinin Radyobiolojik Temelleri, Okmeydanı Tıp Dergisi, 33(2), 99-107
- Varlamov V V, Ishkhanov B S, Orlin V N, Peskov N N, 2015, Data on Photoneutron Reactions from Various Experiments for  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{138}\text{Ba}$  and  $^{209}\text{Bi}$  Nuclei, Physics of Atomic Nuclei, 79, 501-502.
- Yılmaz M, 1998, Çekirdek Fiziği, Balıkesir Üniversitesi Necatibey Eğitim Fakültesi Yayınları, Balıkesir.

### İnternet Kaynakları

- 1) <http://nukleer.web.tr/>, 20.01.2020
- 2) <https://makaleler.com/>, 22.01.2020
- 3) <https://nds.iaea.org/exfor/exfor.htm/>, 10.11.2018

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sedat ZENGİN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Maden / 06.10.1985  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0505 967 51 69 / sedatzengin85@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Elazığ Anadolu Lisesi, (1999-2003)

### Lisansla Birleştirilmiş

Tezsiz Yüksek Lisans: Marmara Üniversitesi, Fizik Öğretmenliği Bölümü,  
(2003-2008)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

: Avrupa Posta İşleme Merkezi (2009)

: Milli Eğitim Bakanlığı (2010 – Devam Ediyor)