



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Yüksek Lisans Tezi

**SIVI DAMLASI MODELİ VE KABUK ETKİLERİYLE FİSYON
KARAKTERİSTİKLERİNİN MATHEMATICA İLE
HESAPLANMASI**

Hasna SADO

Fizik Anabilim Dalı

Nükleer Fizik Programı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Mehtap YALÇINKAYA

Haziran, 2022

İSTANBUL

Bu çalışma, [23.06.2022] tarihinde aşağıdaki jüri tarafından [Fizik Anabilim Dalı], [Nükleer Fizik Programında] [Yüksek Lisans tezi] olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

[Dr. Öğr. Üyesi] [Mehtap YALÇINKAYI] (Danışman)
[İstanbul Üniversitesi]
[Fen Fakültesi]

[Prof. Dr.] [Latife ŞAHİN YALÇIN]
[İstanbul Üniversitesi]
[Fen Fakültesi]

[Doç. Dr.] [Nimet YILMAZ CANLI]
[Yıldız Teknik Üniversitesi]
[Fen-Edebiyat Fakültesi]

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

--

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri

--

ÖNSÖZ

[Yüksek lisans eğitimim boyunca yanımda olan tüm emeğini ve bilgisini benden esirgemeyen, eğitim ve oryantasyon konusunda her zaman bana destek olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehtap YALÇINKAYA 'ya en içten sevgi ve saygılarımla teşekkür ederim.

Ve tez çalışmalarım boyunca beni destekleyen küçük aileme, sevgili annem ve babama ve Maher'e teşekkürler, hepinize sevgi ve şükranlarımı sunuyorum.]

Haziran 2022

[Hasna SADO]

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1 SIVI DAMLASI MODELİ.....	5
2.1.1 Bağlanma Enerjisi ve Yarı Ampirik Kütle Formülü	7
2.2 NÜKLEER FİSYON	10
2.2.1 Kendiliğinden Fisyon	11
2.2.2 Fisyon ve Şekil Deformasyonu	16
2.2.3 Uyarma ile Fisyon	18
2.2.4 Fisyon Ürünlerinin Kütle Dağılımı	20
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	22
3.1 GİRİŞ.....	22
3.2 İNCELENEN ÇEKİRDEK GRUPLARI VE BOZUNUM MODLARI	22
3.3 FİSYON ÜRÜNLERİNİN KÜTLE DAĞILIMINA İLİŞKİN DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
3.4 YARI-AMPİRİK BAĞLANMA ENERJİSİNDEKİ KATSAYILAR	32
3.5 FİSYONU KARAKTERİZE EDEN PARAMETRELERİN KARŞILAŞTIRILMA YÖNTEMİ	33
4. BULGULAR.....	36
4.1 BAZI FİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN HESAPLAMA SONUÇLARI	36
4.2 SİMETRİK FİSYON YAPAN ÇEKİRDEKLER	40
4.3 ASİMETRİK FİSYON YAPAN ÇEKİRDEKLER.....	42
4.4 FİSYON ÜRÜNLERİ KÜTLE DAĞILIMI DENEYSEL OLARAK ÖLÇÜLMEMİŞ VERİ SETİ.....	45

5. TARTIŞMA VE SONUÇ	49
KAYNAKLAR.....	51
EKLER	53
EK 1 : Mathematica Kod Örnekleri.....	53
ÖZGEÇMİŞ	55

|



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Yarı ampirik bağlanma enerjisi formülünün hacim, yüzey, Coulomb ve simetri terimlerinin nükleon başına ortalama bağlanma enerjisine katkısı [2].....	10
Şekil 2.2: ^{238}U ve ^{119}Pd bağlanma enerjisi [14].....	12
Şekil 2.3: Coulomb engelini maksimum değeri.....	13
Şekil 2.4: Yarıçapları R , R_1 ve R_2 olan çekirdek yüzeyleri.....	14
Şekil 2.5: Fiyon olayında şekil deformasyonu süreçleri [15].....	17
Şekil 2.6: Aktivasyon Enerjisi.....	19
Şekil 2.7: ^{235}U 'un fiyon ürünlerinin dağılımı.....	20
Şekil 2.8: Fiyon aktivasyon enerjisi üzerindeki kabuk etkisi [3].....	21
Şekil 3.1: Bu çalışma için seçilen kendiliğinden fiyon yapan çekirdekler ve izotopları [17].....	23
Şekil 3.2: Kendiliğinden fiyon yapan bazı çekirdeklerin kütle dağılımına ilişkin deneysel çalışmalar [12].....	32
Şekil 4.1: Seçilen simetrik fiyon veri seti üzerinde, ÇÇ-çekirdekler için kendiliğinden fiyonu karakterize eden iki önemli fiyon parametresinin değişimi.....	41
Şekil 4.2: Seçilen simetrik fiyon veri seti üzerinde, A-tek çekirdekler için kendiliğinden fiyonu karakterize eden iki önemli fiyon parametresinin değişimi.....	42
Şekil 4.3: Seçilen asimetric fiyon veri seti üzerinde, ÇÇ-çekirdekler için kendiliğinden fiyonu karakterize eden iki önemli fiyon parametresinin değişimi.....	44
Şekil 4.4: Seçilen asimetric fiyon veri seti üzerinde, A-tek çekirdekler için kendiliğinden fiyonu karakterize eden iki önemli fiyon parametresinin değişimi.....	45
Şekil 4.5: RMS sonuçlarının Coloumb/Yüzey terimleriyle değişimi.....	48

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: $^{237-256}_{98}\text{Cf}_{139-158}$ bozunum modları kısım 1.	23
Tablo 3.2: $^{237-256}_{98}\text{Cf}_{139-158}$ bozunum modları kısım2	24
Tablo 3.3: $^{239-258}_{99}\text{Es}_{140-159}$ bozunum modları kısım 1.	24
Tablo 3.4: $^{239-258}_{99}\text{Es}_{140-159}$ bozunum modları kısım 2.	25
Tablo 3.5: $^{241-260}_{100}\text{Fm}_{141-160}$ bozunum modları kısım 1.....	26
Tablo 3.6: $^{241-260}_{100}\text{Fm}_{141-160}$ bozunum modları kısım 2.....	27
Tablo 3.7: $^{244-262}_{101}\text{Md}_{143-161}$ bozunum modları kısım 1.....	27
Tablo 3.8: $^{244-262}_{101}\text{Md}_{143-161}$ bozunum modları kısım 2.....	28
Tablo 3.9: $^{248-264}_{102}\text{No}_{146-162}$ bozunum modları kısım 1.....	28
Tablo 3.10: $^{248-264}_{102}\text{No}_{146-162}$ bozunum modları kısım 2.....	29
Tablo 3.11: $^{251-266}_{103}\text{Lr}_{148-163}$ bozunum modları kısım 1.	29
Tablo 3.12: $^{251-266}_{103}\text{Lr}_{148-163}$ bozunum modları kısım 2.	30
Tablo 3.13: $^{253-268}_{104}\text{Rf}_{149-164}$ bozunum modları kısım 1.	30
Tablo 3.14: $^{253-268}_{104}\text{Rf}_{149-164}$ bozunum modları kısım 2.	31
Tablo 3.15: KF bozunum modu açık olan, fisyon ürünleri kütle dağılımı deneysel olarak ölçülmemiş veri seti kısım 1.....	34
Tablo 3.16: KF bozunum modu açık olan, fisyon ürünleri kütle dağılımı deneysel olarak ölçülmemiş veri seti kısım 2.....	35
Tablo 4.1: $^{237-256}_{98}\text{Cf}_{139-158}$ için hesap sonuçları.....	36
Tablo 4.2: $^{239-258}_{99}\text{Es}_{140-159}$ için hesap sonuçları.....	37
Tablo 4.3: $^{241-260}_{100}\text{Fm}_{141-160}$ için hesap sonuçları.	37

Tablo 4.4: $^{244-262}_{101}\text{Md}_{143-161}$ için hesap sonuçları.	38
Tablo 4.5: $^{248-264}_{102}\text{No}_{146-162}$ için hesap sonuçları.	38
Tablo 4.6: $^{251-266}_{103}\text{Lr}_{148-163}$ için hesap sonuçları.	39
Tablo 4.7: $^{253-268}_{104}\text{Rf}_{149-164}$ için hesap sonuçları.	39
Tablo 4.8: Simetrik fisyon için veri seti.	40
Tablo 4.9: Asimetrik fisyon için veri seti.	43
Tablo 4.10: ÇÇ-çekirdekler için fit ve RMS değeri sonuçları.	46
Tablo 4.11: A-tek çekirdekler için fit ve RMS değeri sonuçları.	47

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

γ	: Gama ışını
n	: Nötron
p	: Proton
β	: Beta parçacığı
e	: Elektron yükü
Z	: Atom numarası
N	: Nötron sayısı
A	: Kütle numarası
M_p	: Protonun kütlesi
M_n	: Nötronun kütlesi
m_e	: Elektronun kütlesi
$V(r)$: Coulomb potansiyeli
R	: Çekirdek ortalama yarıçapı
BE	: Çekirdeğin toplam bağlanma enerjisi
BE/A	: Nükleon başına bağlanma enerjisi
E_h	: Hacim Terimi
E_y	: Yüzey Terimi
E_{asim}	: Asimetri Terimi
E_C	: Coulomb Terimi
δ	: Çiftlenim Terimi
a_h	: Hacim Terimi Katsayısı
a_y	: Yüzey Terimi Katsayısı
a_{asim}	: Asimetri Terimi Katsayısı
a_C	: Coulomb Terimi Katsayısı
$a_{\text{çift}}$: Çiftlenim Terimi Katsayısı
U	: Uranyum
Pd	: Paladyum
Cf	: Kaliforniyum
Es	: Aynştaynyum
Fm	: Fermiyum

Md	: Mendelevyum
No	: Nobelyum
Lr	: Lavrensiyum
Rf	: Rutherfordiyum

Kısaltmalar	Açıklama
--------------------	-----------------

SDM	: Sıvı Damlası Modeli
KF	: Kendiliğinden Fisyon
BE	: Bağlanma Enerjisi
ÇÇ	: Çift Çift
TT	: Tek Tek

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SIVI DAMLASI MODELİ VE KABUK ETKİLERİYLE FİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN MATHEMATICA İLE HESAPLANMASI

Hasna SADO

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehtap YALÇINKAYA

Nötronun keşfiyle birlikte, nötronların dahil olduğu nükleer reaksiyonların oluşturulmasına ve incelenmesine başlanmıştır. Nötron yüksüz bir parçacık olduğu için çekirdeğe yeterince yaklaşabilir ve nükleer kuvvetlerin menzili içine kolayca girebilir. Nötronun enerjisi yeterince küçükse çekirdek tarafından yakalanır ve böylece nötron bakımından zengin, uyarılmış durumda bulunan bir bileşik çekirdek oluşur. Çekirdek kararlı hale gelmek için ya β^- bozunumu ya da fisyon reaksiyon kanalını kullanır. Fisyon reaksiyon kanalının açık olduğu durumlar için çekirdek fisyona uğrarken meydana gelen ürün çekirdeklerin simetrik kütle dağılımları sıvı damlası modeliyle açıklanabilirken, asimetrik kütle dağılımları çekirdeğin kabuk modeli ile bir dereceye kadar açıklanabilir. Bu çalışmada, sıvı damlası modeli üzerinde kabuk etkileri göz önüne alınarak, önemli fisyon karakteristikleri, Z^2/A oranları Mathematica ile hesaplanacak ve ürün çekirdeklerin asimetrik-simetrik kütle dağılımları mevcut deneysel verilerle karşılaştırılacaktır.

Haziran 2022, 68 sayfa.

Anahtar kelimeler: Fisyon, Simetrik fisyon, Asimetrik fisyon, Sıvı damlası modeli, Kabuk etkisi, Mathematica

SUMMARY

[M.Sc. THESIS]

[CALCULATION OF FISSION CHARACTERISTICS WITH LIQUID DROP
MODEL AND SHELL EFFECTS USING MATHMETICA]

[Hasna SADO]

Istanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

[Department of Physics]

Supervisor: [Assist. Prof. Dr.] [Mehtap YALÇINKAYA]

[The creation and study of nuclear reactions involving neutrons begins with the discovery of the neutron. Since the neutron is uncharged particle, it can get close enough to the nucleus and easily enter the range of nuclear forces. If the energy of neutron is low enough, it is captured by the nucleus, thus forming a compound nucleus rich in neutrons in an excited state. The excited nucleus returns to stable state using either β decay or fission reaction channel. For cases where the fission reaction channel is open, the symmetric mass distributions of the product nuclei that occur when the nucleus undergoes fission can be explained by the liquid drop model, while the asymmetric mass distributions can be explained to some extent by the shell model of the nucleus. In this study, considering the shell effects on the liquid drop model, important fission characteristics, Z^2/A ratios will be calculated with Mathematica and the asymmetric-symmetric mass distributions of the product nuclei will be compared with the available experimental data.]

June 2022, [68] pages.

Keywords: [Fission, Symmetric fisson, Asymmetric fisson, Liquid drop model, Shell effect, Mathematica]

1. GİRİŞ

James Chadwick'in 1932 yılında nötronu keşfetmesiyle birlikte bilim insanlarının ilgisi, atom numarası daha büyük olan çekirdeklerin üretilmesine yoğunlaştı. Çekirdeklerin nötronlarla bombardımanı sonucu oluşturulan nükleer reaksiyonları incelemeye başladılar. Nötron için Coulomb engelini olmaması nedeniyle çok düşük kinetik enerjiye sahip olsa da, nötronlar hedef çekirdeklere yeterince yaklaşır ve onların nükleer kuvvetlerinin menziline girerek, bu çekirdekler tarafından kolayca yakalanır. Bu şekilde oluşturulan nükleer reaksiyonlar sonucu hedef çekirdeğin nötron sayısında artış olur. Çekirdeğin nötron sayısı, kararlı olabilmesi için gerekli olan nötron sayısından fazla ise zayıf kuvvetler devreye girer ve nötronların biri protona dönüşerek çekirdek β^- bozunumu yapar ve böylece atom numarası daha büyük olan çekirdekler oluşur.

Deneysel olarak ilk nükleer fisyon olayı, 1938 yılında, Otto Hahn ve Fritz Strassman'ın atom numarası 92 olan uranyum çekirdeğinin nötronlarla bombardımanı sonucu oluşturdukları nükleer reaksiyonda gözlemlendi. Bu nükleer reaksiyonda, beklenenin aksine daha ağır ürün çekirdek yerine çok daha hafif ürün çekirdeklerin oluştuğunu gördüler. Ağır bir çekirdek iki hafif çekirdeğe bölünüyor ve reaksiyon sonucunda enerji açığa çıkıyordu.

1939 yılında Niels Bohr ve John Wheeler yayınladıkları makaleyle nükleer fisyon olayının mekanizmasını **Sıvı Damlası Modeli (SDM)** öngörülerıyla başarılı bir şekilde açıklamayı başardılar [1].

Çekirdeğin sıvı damlası modelinde, çekirdek sıkıştırılmaz bir sıvı damlası gibi düşünülür. Birkaç fm mertebesinde menzili olan çekici nükleer kuvvetlerin etkisiyle bir arada tutulan nükleonları sıkıştırmaya kalktığımızda, tıpkı su moleküllerinde olduğu gibi nükleer kuvvetlerin itici özelliği devreye girer. Bu durum aslında Pauli prensibinin de bir sonucudur. Aynı kuantum sayısına sahip nükleonların aynı kuantum durumlarını işgal etmemesi için 0.5 fm ve altındaki mesafelerde nükleer kuvvetlerin itici özelliği devreye girer. Nükleonlar çekirdek içinde her zaman nükleer kuvvetlerin çekici özellik gösterdiği ortalama bir mesafede bulunurlar.

Çekirdeğin sıkıştırılmaz olması nedeniyle, nükleer fisyon olayında ağır bir çekirdek, hafif iki çekirdeğe bölündüğünde reaksiyon öncesi ve sonrası toplam hacimler değişmez. Ancak yüzey

alanları değişir. Çekirdeklerin kütle numarası arttıkça, ağır çekirdeğin yüzey alanıyla, fisyon olayı sonrasında oluşan daha hafif ürün çekirdeklerin yüzey alanlarının toplamı arasındaki fark da artar. Bu durum çekirdeğin sıvı damlası modelinin öngördüğü yarı-ampirik bağlanma enerjisi formülündeki yüzey teriminin (E_y) de artmasına ve dolayısıyla çekirdeğin bağlanma enerjisinin azalmasına neden olur.

Ağır bir çekirdek içinde nükleonlar ortalama bir mesafede bir arada tutulur. Çekirdek bölündüğünde oluşan hafif ürün çekirdekler için bu ortalama mesafe artar. Coulomb enerjisi iki yüklü parçacık arasındaki uzaklıkla ters orantılı olarak değiştirdiği için nükleonlar arasındaki mesafe ne kadar artarsa Coulomb enerjisi de o kadar azalır. Bu da çekirdeğin sıvı damlası modelinin öngördüğü yarı-ampirik bağlanma enerjisi formülündeki Coulomb teriminin (E_C) azalmasına ve dolayısıyla çekirdeğin bağlanma enerjisinin artmasına neden olur.

Nükleer fisyon olayında, çekirdeğin sıvı damlası modelinin öngördüğü yarı-ampirik bağlanma enerjisi formülündeki yüzey ve Coulomb terimleri arasındaki bu değişimler göz önüne alınarak yapılan hesaplar $A > 90$ olan çekirdeklerin kendiliğinden fisyon (KF) yapmaları gerektiğini gösterir. Ancak doğada kütle sayısı 90'ın üzerinde çok sayıda kararlı çekirdek bulunmaktadır. Gözlemler, $A > 230$ olan çekirdekler için kendiliğinden fisyon yapma reaksiyon kanalının açık olduğunu göstermektedir. İlk başta çelişki gibi görünen bu durum Niels Bohr ve John Wheeler tarafından, bölünmeye uğrayan çekirdeğin şeklinde oluşan deformasyon süreçlerinin çekirdeğin enerjisini değiştirmesi ve bu durumu ifade eden deformasyon parametresi kullanılarak açıklanmıştır. Çekirdeğin kütle numarası 90'dan büyük olduğunda, kendiliğinden fisyon yapması enerjik açıdan mümkün oluyor ve fisyon yapmaya giderken şekli deformasyona uğruyor. Şeklindeki bu deformasyon çekirdeğin enerjisini arttırır, yüzey ve Coulomb terimlerini değiştirir. Ayrıca çekirdek tam olarak ikiye ayrılmadan önce Coulomb engeli en yüksek değerini alır. Eğer şekil deformasyonu nedeniyle çekirdek enerjisinde oluşan bu artış, Coulomb engelini aşmak için yeterliyse çekirdek bölünür, değilse şeklindeki bu deformasyon süreçlerini yaşasa bile bölünmez. İşte $A > 90$ olan çekirdekler için bu deformasyon süreçleri yaşansa bile yani enerjik açıdan kendiliğinden fisyon yapması mümkün olsa bile Coulomb engelini aşamadığı için bölünme gerçekleşmez. $A > 90$ olan çekirdeklerin Coulomb engelini kuantum mekaniksel olarak tünelleme yoluyla geçerek fisyon yapma yarı ömrünün 10^{16} yıl olduğu hesaplanmıştır. Bu nedenle tünelleme yoluya fisyon olayı yapma olasılığı çok çok düşüktür. Ayrıca deformasyon parametreleri göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda simetrik fisyon için $Z^2/A > 47$ olursa fisyon engellerinin gözden kaybolduğunu

göstermektedir. Ancak burada önemli olan nokta, çekirdeğin β^- bozunumuna karşı kararlılığının sağlanmasıdır. Yani herhangi bir A değeri için, β^- bozunumu yapmayan uygun Z değerinin bulunması gereklidir. Yapılan deneysel çalışmalar ve gözlemler $A > 230$ olan çekirdeklerin şeklindeki deformasyonun kendiliğinden fisyon olayı ile sonuçlanabildiği göstermektedir.

Bazı çekirdeklerin fisyon yapabilmesi için, yani Coulomb potansiyel engelini geçebilmeleri için dışardan bir miktar enerji verilmesi gerekir. Fisyon yapabilmesi için gereken bu az miktardaki enerjiye “Aktivasyon Enerjisi” denir. Dışardan enerji verilerek oluşturulan fisyon “Uyarılma ile Fisyon (Induced Fission)” olarak adlandırılır. $^{235}_{92}\text{U}$ kendiliğinden fisyon yapamaz, ancak kinetik enerjisi çok düşük hatta sıfıra yakın olan termal nötronlarla bombardıman edildiğinde fisyon yapabilir. Bu şekilde gerçekleştirilen fisyon reaksiyonlarına “Nötronla Uyarılmış Fisyon” (Neutron Induced Fission) denir. Nötron yerine γ ışınlarıyla bombardıman edilerek fisyon olayı oluşturulursa, bu tip fisyon reaksiyonlarına da “Fotofisyon” denir. Fotofisyon reaksiyonları, bir çekirdeğin fisyon yapması için ne kadar aktivasyon enerjisinin gerektiğini ölçmenin en pratik ve kolay yöntemlerinden biridir.

Yapılan çalışmalar, ağır çekirdeklerin ikiye bölünmesi olayında oluşan ürün çekirdeklerin her zaman eşit kütleli olmadığını göstermiştir. Fisyon olayı sonucunda ağır çekirdek tam olarak ikiye bölünürse buna “Simetrik Fisyon”, yük ve kütle korunumlarına uygun olarak eşit olmayan farklı kütlelere bölünürse “Asimetrik Fisyon” denir. Sıvı damlası modeline göre fisyon sonrası oluşan ürün çekirdeklerin enerjik olarak simetrik bölünmeyi tercih etmesi gerekir. Ancak yapılan çalışmalar göstermiştir ki çekirdeklerin tam eşit iki parçaya bölünme olasılığı, asimetrik fisyonla göre yaklaşık 100 kat daha azdır. Çekirdekler asimetrik fisyon yapmayı tercih ederler. Bu durum tam olarak açıklanamasa da çekirdeğin sıvı damlası modeline kabuk modelinin etkileri eklenerek açıklanmaya çalışılmaktadır [2].

Bu çalışmada, kendiliğinden fisyon yapan $^{237-256}_{98}\text{Cf}_{139-158}$, $^{239-258}_{99}\text{Es}_{140-158}$, $^{244-260}_{100}\text{Fm}_{141-159}$, $^{244-262}_{101}\text{Md}_{143-161}$, $^{248-264}_{102}\text{No}_{146-162}$, $^{251-266}_{103}\text{Lr}_{148-163}$, $^{253-268}_{104}\text{Rf}_{149-164}$ olmak üzere toplamda 7 farklı çekirdek için 128 izotop grubu seçilmiştir. Sıvı damlası modeline göre hacim, yüzey, Coulomb terimleri ve kabuk etkilerini gösteren asimetri terimi, bu terimlerin birbirlerine oranları, önemli fisyon karakteristiklerinden biri olan Z^2/A ve $A-2Z$ değerleri ile nükleon başına bağlanma enerjileri Mathematica ile hesaplanmıştır.

Bu 7 çekirdek için, deneysel olarak kütle dağılımı ölçülmüş ve kütle dağılımları çok iyi bilinen toplam 21 izotop grubunun simetrik ve asimetric kütle dağılımları ile hesaplama sonuçlarımız karşılaştırılmıştır. Simetrik ve asimetric dağılım gösteren bu 21 izotop grubu içindeki A-tek ve çift çift (ÇÇ) çekirdekler üzerindeki kabuk etkileri incelenmiş ve simetrik fisyon yapan grup üzerindeki sonuçlarımız fit edilerek bir sistematik oluşturulmuştur. Daha sonra bu sistematik kullanılarak, bu 7 çekirdeğin kendiliğinden fisyon yapma olasılığı olan fakat henüz deneysel olarak kütle dağılımları ölçülmemiş izotoplarının simetrik ya da asimetric fisyondan hangisini yapmaya eğilimli olduğu incelenmiştir. |



2. GENEL KISIMLAR

2.1 SIVI DAMLASI MODELİ

Çekirdekler, nükleer kuvvetlerin etkisiyle çok küçük bir hacim içinde bir arada tutulan nükleonlardan oluşur. Nükleer kuvvetlerin doğasının tam olarak bilinmemesi ve çok küçük bir hacim içinde birbirleriyle etkileşen nükleonlar arasındaki çok cisim kuvvetlerinin varlığı nükleer yapı üzerindeki çalışmaları çok zorlaştırır. Çok sayıda nükleondan oluşan bir çekirdek için Hamiltonyeni yazıp, Schrödinger denklemini çözmek oldukça zordur. Bu nedenle çekirdeklerin davranışlarını ve özelliklerini anlamak için çok sayıda deneysel veri kullanılarak geliştirilen çekirdek modelleri önerilmiştir. Tek elektronlu atomlar için başarılı atom modelini öneren Niles Bohr, çekirdeğin sıvı damlası modelini de önermiştir [3].

Çekirdeklerin bağlanma enerjileri ve hacimleri, çekirdekte bulunan nükleonların sayısı ile orantılıdır. Bu, nükleer kuvvetlerin kısa menzilli olma ve doyma özelliklerini gösterir. Çekirdeğin bu özellikleri, bir sıvı damlasını bir arada tutan kuvvetlerin özelliklerine benzer. Bu nedenle, çekirdek merkezi çok yüksek yoğunluklu ($\sim 10^{17}$ kg/m³), sıkıştırılmaz bir sıvı damlasına benzetilir. Bu benzetme, Niles Bohr ve Wheeler'ı ve bağımsız olarak Frenkel'i çekirdeğin sıvı damla modelini önermeye yöneltti. Bu model, nükleonların ayrı ayrı karakterlerini ele almaz dolayısıyla istatistiksel bir modeldir. Bu modele göre çekirdek genel olarak sıkıştırılmaz ve düzgün yüklü bir sıvı damlası olarak kabul edilir [4]. Bundan başka;

- Çekirdeğin yük dağılımına bakıldığında, merkezde ve belli bir mesafe boyunca bu yoğunluğun sabit olduğu görülür. Sıvı damlasında da benzer durum vardır. Bu, çekirdeğin sıvı damlası gibi homojen ve sıkıştırılmaz olduğunu gösterir. Ayrıca her ikisi için de yoğunluk boyutlardan bağımsızdır.
- Çekirdekte her nükleon, sıvı damlasındaki moleküllerin yaptığı gibi, az sayıda bitişik nükleonla güçlü bir şekilde etkileşime girer. Bu da, nükleer kuvvetlerin kısa menzilli ve doyma karakterine sahip olduğu anlamına gelir.
- Çekirdekler tıpkı sıvı damlasında olduğu gibi yüzey gerilimi etkileri gösterir. Başka bir deyişle, çekirdeğin yüzey enerjisi sıvıların yüzey gerilimine benzer.
- Nükleer kuvvetler yükten bağımsızdır. Yani, Coulomb itmesi dışında, çekirdek içinde n-n, n-p ve p-p arasındaki nükleer kuvvetler, tıpkı ideal bir çözeltideki moleküller arası

kuvvetler (çözünen-çözünen, çözünen-çözücü ve çözücü-çözücü molekülleri arasındaki) gibi aynıdır.

- Bir sıvı damlasındaki buharlaşma ile nükleer bir reaksiyonda çekirdeğin nükleon kaybı birbirine benzer.
- Bir damladaki moleküllerin termal çalkalanması, nükleonların kinetik enerjisine oldukça benzerdir. Küçük sıvı damlalarının daha büyük olana füzyonu ve büyük damlaların küçük damlacıklara bölünmesi, sırasıyla hafif çekirdeklerin füzyonuna ve büyük çekirdeklerin fisyonuna çok benzer.
- Sıvı damlasındaki çeşitli moleküller gibi, çekirdeğin enerji seviyeleri, tek bir nükleondan ziyade bir bütün olarak çekirdeğin kuantum durumları olarak kabul edilir [5, 6].

Sıvı damlası modeli, çekirdek içi kuvvetlerin ve nükleer dönüşümlerin yorumlanmasında büyük başarı ile kullanılmıştır. Bu basit model, çekirdeklerin bağlanma enerjisinin ana özelliklerini başarıyla açıklar, izobarların özelliklerinin incelenmesini sağlar ve çekirdek kütleleri için yarı ampirik kütle formülü önerir. Ayrıca, çekirdeklerin kararlılığını ve nükleer fisyon olayını da başarılı bir şekilde açıklamaktadır. Kabuk modelinin aksine, sıvı damlası modeli uyarılmış durumdaki çekirdeklere uygulanabilir. Böylece, bileşik çekirdek teorisinin temeli olarak Niles Bohr'un kullandığı bu model, düşük enerjili nükleer reaksiyonları açıklamak için de faydalıdır. [7].

Ancak bu model, hareket, dönüş, parite ve manyetik moment etkilerine göre çekirdekteki nükleonların bağımsız davranışını dikkate almaz. 2, 8, 20, 28, 50, 82,126, gibi sihirli sayılar olarak bilinen sayıda nükleona sahip çekirdeklerin aşırı kararlılığını açıklayamamaktadır.

Sıvı damlası modeli, orta kütleli çekirdeklere daha iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü hafif çekirdekler için yüzey etkisi, Coulomb etkisinden daha baskındır ve ağır çekirdekler için de durum tam tersidir.

Bu modelin önerdiği çekirdeklerin tek-çift etkilerinin toplam bağlanma enerjisine katkısı nedeniyle çift Z ve N çekirdeğinin artan bağlanma enerjisi, p-p ve n-n çiftlenim etkileri ile tutarlıdır.

2.1.1 Bağlanma Enerjisi ve Yarı Ampirik Kütle Formülü

Çekirdekler, etraflarında dönen elektronlarla birlikte atomların çekirdeğini oluşturur. Çok hafif çekirdekler dışında, çekirdekleri "çıplak" hale getirmek için atomları tamamen iyonize etmek oldukça zordur. Bu deneysel kısıtlama nedeniyle, nükleer kütleler yerine, elektronların kütleleri de dahil olmak üzere doğrudan atomik kütleleri ölçmek daha uygundur. Atomik kütleleri ölçmek için, genellikle bir veya iki elektronu kopartılarak atomlar iyonize edilir. Kütle spektrometreleri kullanılarak atomik kütleler ölçülür. Ölçülen atomik kütlelerden elektronların kütlesi çıkarılarak ve elektronların bağlanma enerjisi için düzeltme yapılarak nükleer kütleler elde edilir [3]:

$$M(A, Z)^{\text{çekirdek}} = M(A, Z)^{\text{atom}} - [Zm_e - BE_e / c^2] \quad (2.1)$$

burada; $M(A, Z)^{\text{çekirdek}}$: Çekirdeğin kütlesi (nükleer kütle), $M(A, Z)^{\text{atom}}$: Nötr atomun kütlesi, m_e : Elektronun kütlesi, Z : Atom numarası ve BE_e : Tüm elektronların toplam bağlanma enerjisi ve boyut uyumsuzluğunu gidermek için nükleer fizikte kullanılan önemli bir sabit olan c^2 : 931.5 MeV/u'dur.

Bağlanma Enerjisi (BE), bir atomu tamamen hidrojen atomlarına ve nötronlara parçalamak için gereken enerjidir ve şöyle ifade edilir:

$$BE(A, Z) = [ZM_H + (A - Z)M_n - M(A, Z)]c^2 \quad (2.2)$$

burada M_H : Nötr hidrojen atomunun kütlesi ve M_n : Nötronun kütlesidir. Yukarıda tanımlandığı gibi bağlanma enerjisinin, kütle numarası A , atom numarası Z olan bir atomu, Z tane hidrojen atomuna ve $(A-Z)$ tane nötronuna bölmek için gereken enerji olduğu belirtilebilir. Bu, kütle numarası A , atom numarası Z olan bir çekirdeği, Z tane protonuna ve $(A-Z)$ tane nötronuna ayıran bağlanma enerjisinden, BE_e elektronik bağlanma enerjilerinin farkı nedeniyle biraz farklıdır. Bu fark, çoğu amaç için ihmal edilebilir.

Sıvı damlası modeli temelinde, Weiszacker ve arkadaşları, çekirdek kütlelerini, bağlanma enerjileri ve kararlılıklarıyla bağlantılı olan nükleer özellikler açısından ifade etmeye çalıştılar. Bu formül yarı deneysel kütle formülü olarak bilinir [8,9,10,11].

Atom numarası Z ve kütle numarası A olan bir X elementinin izotopunun atomik kütlesi $M(A,Z)$ olsun. Bağlanma enerjisi ifadesini veren (2.2) numaralı denklem kullanılarak kütle formülü elde edilir ve aşağıdaki şekilde verilir:

$$M^{atomik}(A,Z) = [ZM_H + NM_n]c^2 - BE^{çekirdek}(A,Z) \quad (2.3)$$

burada M_H ve M_n sırasıyla proton ve nötronun kütleleridir ve kütle numarası A , atom numarası Z olan bir çekirdek için $BE(A,Z)$ bağlanma enerjisini veren beş terimli bir formülü:

$$BE(A,Z) = BE^{çekirdek}(A,Z) = E_h - E_y - E_C - E_{asim} \pm E_{çift} \quad (2.4)$$

Burada E_h : Hacim Terimi ; E_y : Yüzey Terimi; E_C : Coulomb Terimi; E_{asim} : Asimetri Terimi ve $E_{çift}$: Çiftlenme Terimidir.

Sıvı damlası modelinin öngördüğü ilk üç terim; yani hacim, yüzey ve Coulomb terimleri, yüklü sıvı damlasının enerjisinin hesaplanmasındaki gibidir ve şöyle verilir.

$$E_h = a_h A \quad , \quad E_y = a_y A^{2/3} \quad , \quad E_C = a_c Z(Z-1)A^{-1/3}$$

Sıvı damlası modelinin son iki terimi, bağlanma enerjisi hesabında çekirdeklerin kabuk etkilerini düzeltmek için eklenmiş terimlerdir. Dördüncü terim, asimetri terimi, $(N-Z)$ ile ilişkilidir ve çekirdeklerdeki proton nötron oranlarındaki asimetriden kaynaklanır. Çekirdeklerde proton sayısı çok artarsa BE formülündeki Coulomb terimi büyür ve BE enerjisi azalır. Eğer nötron sayısı çok artarsa bu sefer BE formülündeki asimetri terimi büyür ve BE enerjisi azalır. Her iki durumda çekirdek kararlılıktan uzaklaşır. Bu nedenle kararlı çekirdeklerde proton ve nötron sayılarının belirli bir oranda olması istenir.

$$E_{asim} = a_{asim} \frac{(N-Z)^2}{A} \quad \text{ya da} \quad E_{asim} = a_{sim} \frac{(A-2Z)^2}{A}$$

Beşinci terim ise çiftlenme terimidir (teklilik-çiftlik). Nükleonlar, nükleer spinleri sıfır olacak şekilde çiftlenmeyi tercih ederler. Doğada bulunan kararlı çekirdeklerin çoğu nötron sayısı ve proton sayısı çift olan çift çift (ÇÇ) dolayısıyla kütle numarası çift olan çekirdeklerdir. Nükleonların çift sayıda olması, çekirdeklerin kütle enerjilerini azaltır. Bu da bağlanma enerjisinin arttıracak yönde katkı sağlar.

Kütle numarası A çift olan ancak proton sayısı ve nötron sayısı tek olan çekirdekler tek tek (TT) çekirdeklerdir. TT çekirdeklerde çiftlenmemiş nükleonlar olduğu için bağlanma enerjisini azaltacak yönde katkı sağlar. Doğada sadece kararlı dört TT çekirdek vardır (${}^2_1\text{H}_1$, ${}^6_3\text{Li}_3$, ${}^{10}_5\text{B}_5$, ${}^{14}_7\text{N}_7$).

Çift-tek veya tek-çift çekirdeklerde çiftlenmemiş bir nükleon bulunacaktır. Bu nedenle bağlanma enerjisini azaltacak ya da arttıracak yönde katkı sağlamaz. Çiftlenim terimi şöyle verilmektedir.

$$E_{\text{çift}} = \delta = \begin{cases} +a_{\text{çift}} A^{-3/4} & \text{ÇÇ çekirdekler için} \\ -a_{\text{çift}} A^{-3/4} & \text{TT çekirdekler için} \\ 0 & \text{A-Tek çekirdekler için} \end{cases}$$

Formüldeki a_h , a_y , a_c , a_{asim} ve $a_{\text{çift}}$ değerleri deneysel verilere fit yapılarak bulunan MeV cinsinden katsayılardır. Değerleri sırasıyla, 15.5, 16.8, 0.72, 23 ve 34 MeV'dir [3].

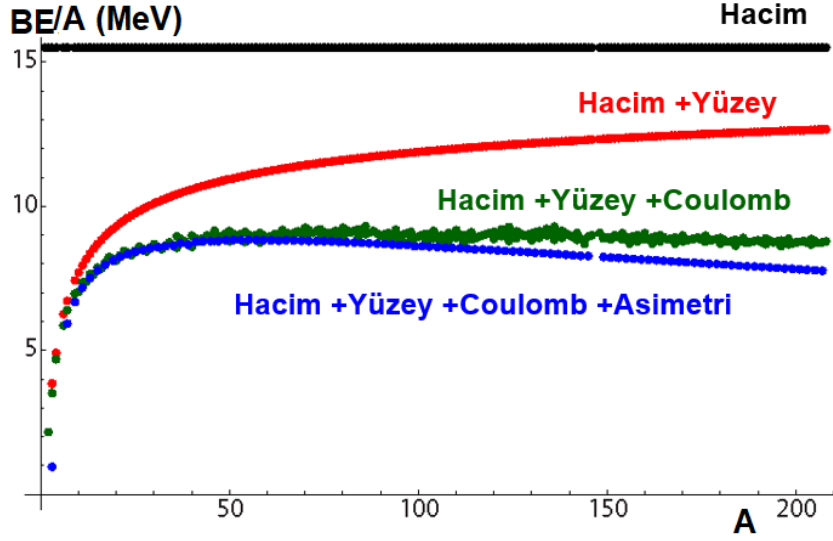
Tüm bunlar bir arada değerlendirildiğinde sıvı damlası modelinin öngördüğü yarı ampirik bağlanma enerjisi ve yarı ampirik kütle formülü (Bethe-Weizsacker kütle formülü) şöyle verilir;

$$BE(A, Z) = a_h A - a_y A^{2/3} - a_c Z(Z-1)A^{-1/3} - a_{\text{asim}} (A-2Z)^2 A^{-1} \pm \delta \quad (2.5)$$

$$M(A, Z) = ZM_p - NM_n - [a_h A - a_y A^{2/3} - a_c Z(Z-1)A^{-1/3} - a_{\text{asim}} (A-2Z)^2 A^{-1} \pm \delta] \quad (2.6)$$

Nükleon başına toplam bağlanma enerjisi ile birlikte hacim, yüzey, Coulomb ve simetri terimlerinin toplam bağlanma enerjisine katkısı Şekil (2.1)'de verilmiştir.

Hafif çekirdekler için hacim enerjisini azaltan ana katkı faktörü yüzey enerjisi terimidir. Bunun nedeni, hafif çekirdekler için yüzey alanı-hacim terimlerinin oranlarının ağır çekirdeklere göre daha büyük olmasıdır. Daha hafif çekirdekler için Coulomb terimi-hacim terimi oranları düşük olmakla birlikte, proton sayısı daha fazla olan ağır çekirdekler için bu oran oldukça baskın hale gelir. Asimetri etkisi daha ağır çekirdekler için önemlidir ve N ve Z 'nin neredeyse eşit olduğu hafif çekirdekler için önemsizdir.



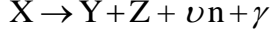
Şekil 2.1: Yarı ampirik bağlanma enerjisi formülünün hacim, yüzey, Coulomb ve simetri terimlerinin nükleon başına ortalama bağlanma enerjisine katkısı [2].

2.2 NÜKLEER FİSYON

1932'de Chadwick tarafından nötronun keşfinden sonra, çekirdeklerin nötronlarla bombardıman edilerek uyarılmasına dayanan bir dizi deney başlatıldı. Enrico Fermi ve araştırma ekibi, çekirdekler nötronlarla bombalandığında, beta radyasyonu yayan ve daha ağır bir elemente dönüşen çekirdeklerin oluştuğunu fark etti [3]. Bu teknik, transuranyum elementleri elde etmek için kullanıldı, ancak uranyum nötronlarla bombardıman edildiğinde şaşırtıcı ve yanıltıcı sonuçlar elde edildi. Ortaya çıkan çekirdekler için kimyasal ayırma teknikleri kullanıldığında, kimyasal davranışında baryumu andırdığı tespit edildi, bu da periyodik tabloda baryumun altında yer alması ve aynı atomik yapıya ve kimyasal özelliklere sahip olması nedeniyle radyum olduğuna inanmalarına neden oldu.

1939'da Hahn ve Strassman, radyokimyasal tekniklerini kullanarak, ortaya çıkan çekirdeklerin kimyasal olarak benzer herhangi bir element değil, baryum olduğunu gösterdi. Bunun ışığında ve aynı yıl Frisch ve Meitner, uranyum çekirdeğinin nötronu yakaladığında uyarılmış duruma geçtiğini ve orta kütleli iki çekirdeğe bölündüğünü yani fisyonu uğradığını öne sürdüler [3]. Bundan hemen sonra Bohr ve Wheeler, yüklü sıvı damlası modeline dayanarak nükleer fisyon olgusunu teorik olarak açıkladılar [1]. Ağır çekirdeklerin fisyonunun, nükleer kuvvetler ile Coulomb kuvvetleri arasındaki mücadelenin bir sonucu olduğunu ortaya koydular.

Nükleer fisyon tanımı gereği, ağır bir çekirdeğin daha hafif iki çekirdeğe bölünmesi olayıdır. Genel gösterimi;



Burada X fisyonla uğrayan ağır çekirdeği; Y ve Z fisyon sonucu oluşan daha hafif kütleli fisyon ürünlerini temsil etmektedir; ν :1,2,3,... gibi sayıdır.

Eğer Y ve Z ile gösterilen fisyon ürünlerinin kütleleri birbirine eşitse “Simetrik Fisyon”; eşit değilse “Asimetrik Fisyon” denir.

Sıvı damlası modeliyle başarılı bir şekilde açıklanan nükleer fisyonun enerjik olarak simetrik fisyon yapması beklenmektedir. Ancak yapılan çalışmalar göstermiştir asimetrik fisyon meydana gelme olasılığı çok daha yüksektir [7].

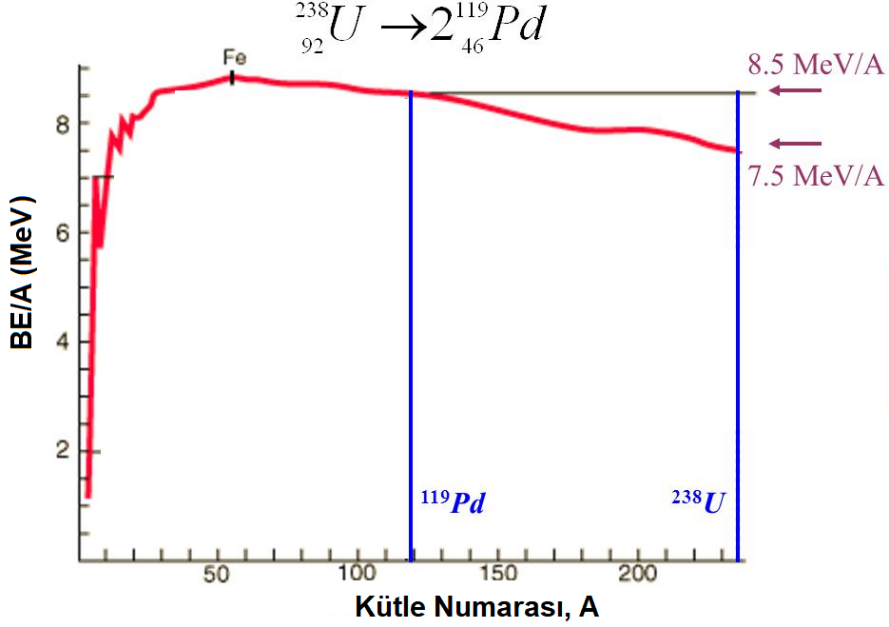
Bir fisyon olayının meydana gelme süresi 10^{-14} – 10^{-15} s mertebesindedir. Fisyon olayı meydana geldiğinde, fisyon ürünleriyle birlikte nötron ve gama ışınları da yayınlanır. Fisyonla birlikte 10^{-14} – 10^{-15} s süresi içinde yayınlanan bu nötronlara “Anlık Nötronlar”, gama ışınlarına da “Anlık Gama Işınları” denir. Fisyon başına yayınlanan anlık nötronların sayısı $\nu_a = 2.45$ ’dir.

Fisyon olayı sonrasında oluşan fisyon ürünleri, β^- bozunumuna karşı kararlı değildirler. Bu nedenle fisyon olayı gerçekleştikten sonra β^- bozunumları yaparak kararlı hale gelirler. Bu süreçte de yine nötron ve gama ışınları yayınlarlar. β^- bozunumunun bir yarı-ömrü vardır, bazen saniye bazen dakika mertebesindedir. İşte fisyon olayı sonrasında ürün çekirdeklerin kararlı hale gelmesi için yaptıkları bu bozunumlarla birlikte yayınlanan nötronlara “Gecikmiş nötronlar; gama ışınlarına da “Gecikmiş Gama Işınları” denir. Fisyon başına yayınlanan gecikmiş nötronların sayısı $\nu_g = 0.02$ ’dir [2].

2.2.1 Kendiliğinden Fisyon

$A > 230$ olan ağır çekirdeklerin, dışarıdan herhangi bir enerji almadan, kendiliğinden, nükleon başına bağlanma enerjilerini artırma eğilimleri nedeniyle bölünerek daha hafif iki çekirdek meydana getirmesi olayına “kendiliğinden fisyon (KF)” denir. KF, süper ağır çekirdeklerin ana bozunum modlarından biridir ve bu nedenle deneysel araştırmalarda büyük ilgi görmektedir. [12,13].

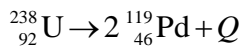
Çekirdeğin kendiliğinden fisyonunun nedeni, çekirdekdeki nükleon başına yarı ampirik bağlanma enerjisinin, kütle numarası ile değişimini veren grafiğinden yararlanılarak açıklanabilir (Bkz Şekil 2.2).



Şekil 2.2: ^{238}U ve ^{119}Pd bağlanma enerjisi [14].

Ağır çekirdeklerin neden kendiliğinden fisyon yapmayı tercih ettiklerini almak için ^{238}U çekirdeğinin kendiliğinden simetrik fisyonunu ele alalım. Kütle ve yük korunumu nedeniyle oluşan fisyon ürünü ^{119}Pd çekirdekleridir ve nükleon başına bağlanma enerjileri 8.5 MeV/A'dır. Doğadaki tüm kararlı çekirdekler durgun kütle enerjilerini minimum yapacak başka bir deyişle bağlanma enerjilerini arttıracak şekilde proton ve nötron sayılarını dizayn etme eğilimindedir. Burada ^{238}U çekirdeğinin simetrik fisyon olayı sonunda açıktır ki nükleon başına bağlanma enerjisi daha yüksek yani daha kararlı iki hafif çekirdek oluşmuştur ve kütle azalımı nedeniyle bir miktar da enerji açığa çıkmıştır.

^{238}U 'un simetrik fisyonu sonucu açığa çıkan enerji:



$$Q = [M_{ilk} - M_{son}]c^2 \quad \text{ya da} \quad Q = [BE_{son} - BE_{ilk}] \quad (2.7)$$

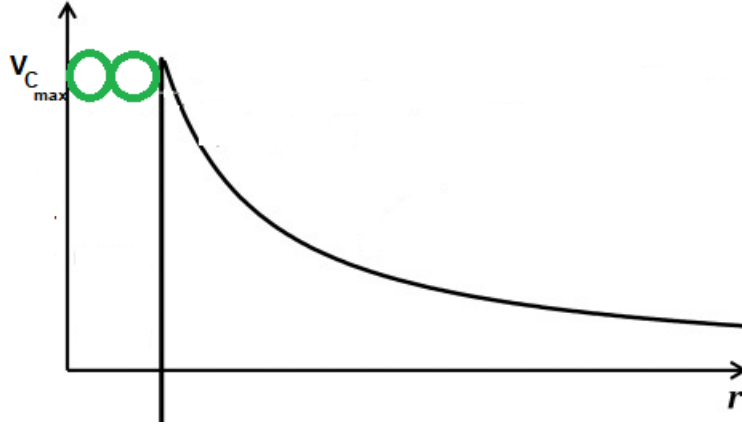
kullanılarak hesaplanabilir. Bu örnek için BE'leri yerine BE/A değerlerini bildiğimize göre;

$$Q = \left[A \left(\frac{BE_{son}}{A} \right) - A \left(\frac{BE_{ilk}}{A} \right) \right] = 2 [119(8.5)] - 238(7.5) = 238 \text{ MeV}$$

hesaplanır. Bu şu anlama gelir; ^{238}U çekirdeği bir kez simetrik fisyona uğrayarak iki ^{119}Pd çekirdeğine bölündüğünde 238 MeV'lik bir enerji açığa çıkmaktadır.

Bu enerji, fisyon ürünlerinin kinetik enerjisi, anlık ve gecikmiş nötronların kinetik enerjisi, anlık ve gecikmiş gama enerjileri ve ürün çekirdeklerin kararlı hale gelmek için yaptıkları, β^- bozunumuna eşlik eden anti nötrinoların kinetik enerjisi olarak paylaşılır. Ancak bu enerjinin yaklaşık %80'i fisyon ürünlerinin kinetik enerjisi olarak kullanılır.

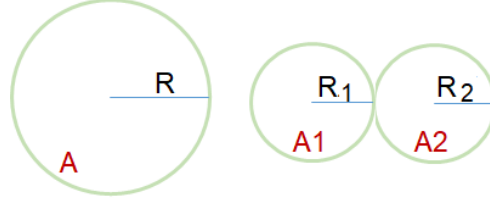
Nükleer fisyon bu kadar büyük bir enerji açığa çıkarken aynı zamanda, nükleon başına bağlanma enerjisini de arttırmaktadır. Bu nedenle ağır ve kararsız çekirdekler için kolayca tercih edilebilen bir bozunum modudur. Fisyon sürecini engelleyen, alfa bozunumunda olduğu gibi Coulomb engeldir.



Şekil 2.3: Coulomb engelinin maksimum değeri.

Bir çekirdek fisyon süreçlerinden geçerken şekilde deformasyonlar oluşur. Şeklindeki bu deformasyon yüzey enerjisinin artmasına neden olur. Çekirdek tam olarak ikiye ayrılmadan önce, iki hafif çekirdeğin yüzeyleri birbirine dokunduğu anda, Coulomb engeli en yüksek değerini alır. Temsili gösterimi Şekil 2.3'de görülmektedir.

Eğer ^{238}U iki eşit parçaya bölünürse aralardaki uzaklık (bu örnekte iki ^{119}Pd çekirdeği)



Şekil 2.4: Yarıçapları R , R_1 ve R_2 olan çekirdek yüzeyleri.

$$R_1 + R_2 = 2 \times R_0 A^{1/3} = 2 \times 1.25 \text{ fm} \times (119)^{1/3} = 12.29 \text{ fm} \quad (2.8)$$

Coulomb engelinin maksimum yüksekliği de;

$$V_c = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 (R_1 + R_2)} \approx 250 \text{ MeV} \quad (2.9)$$

olur. Burada Z_1 ve Z_2 , iki ^{119}Pd çekirdeği için 46'dır. $\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} = 1.44 \text{ MeV}\cdot\text{fm}$ 'dir ve Pd çekirdeklerinin arasındaki uzaklık (2.8) eşitliğinde 12.2 fm olarak hesaplanmıştır.

^{238}U iki eşit parçaya bölünürse karşılaşacağı Coulomb engelinin en yüksek değeri yaklaşık 250 MeV'dir. Dolayısıyla bu, çekirdeğin bölünmesini engelleyen engelin değeridir. Bu çekirdeğin fisyon sürecindeyken şeklinde meydana gelen değişimlerden dolayı yüzey enerjisinde oluşan artış bu engeli aşmaya yetecek kadar ise çekirdek kendiliğinden bölünür. Kuantum mekaniksel olarak engeli tünelleme olasılığı da vardır ancak bu olasılık çok düşüktür.

Reaksiyon enerjisi açısından bakacak olursak, bir nükleer reaksiyonun kendiliğinden oluşması için reaksiyon enerjisi $Q > 0$ olmalıdır.

Çekirdeğin sıvı damlası modelinde, çekirdek sıkıştırılamaz bir sıvı damlası gibi ele aldık. Çekirdek sıkıştırılamaz olduğu için Şekil 2.4'de görüldüğü gibi yarıçapı R olan bir küreyi yarıçapı eşit olan iki küreye bölersek toplam hacim değişmez ancak yüzey alanları değişir.

^{238}U ve iki ^{119}Pd çekirdeği için bu durumu sayısal olarak inceleyelim.

$$A=238 \text{ için kürenin yüzey alanı } A = 4\pi R^2 = 4\pi R_0 A^{2/3} = 4\pi (1.25 \text{ fm})^2 (238)^{2/3} = 753.7 \text{ fm}^2$$

$$A=119 \text{ için kürenin yüzey alanı } A_1 = 4\pi (R_1)^2 = 4\pi R_0 A^{2/3} = 4\pi (1.25 \text{ fm})^2 (119)^{2/3} = 474.8 \text{ fm}^2$$

$A_1=A_2$ olduğu için fisyon ürünlerinin toplam yüzey alanı 949.6 fm olur. Açıkça görülmektedir ki fisyon olayı öncesi ^{238}U çekirdeğinin yüzey alanı, fisyon olayı sonrası oluşan iki ^{119}Pd çekirdeğinin toplam yüzey alanından düşüktür. Kütle numarası arttıkça aradaki fark da artar. Küçük çekirdekler bölünürlerse yüzey alanları arasındaki fark çok daha az olur.

Şimdi (2.5) eşitliği ile verilen yarı ampirik bağlanma enerjisindeki yüzey terimine bakalım:

$$BE \approx a_y \left[A^{2/3} - (A_1^{2/3} + A_2^{2/3}) \right] < 0$$

Fisyon sürecinde yüzey terimindeki değişiklik görüldüğü gibi bağlanma enerjisini azaltacak yönde etki eder. Dolayısıyla Q reaksiyon enerjisi de azalır (Bkz (2.7) eşitliği).

Coulomb terimi için hiçbir hesap yapmadan şunu diyebiliriz. Ağır bir çekirdek içinde nükleonlar ortalama bir mesafede bir arada tutulur. Çekirdek bölündüğünde oluşan hafif ürün çekirdekler için bu ortalama mesafe artar. Coulomb enerjisi iki yüklü parçacık arasındaki uzaklıkla ters orantılı olarak değiştiği için nükleonlar arasındaki mesafe ne kadar artarsa Coulomb enerjisi de o kadar azalır. Bu da çekirdeğin sıvı damlası modelinin öngördüğü yarı ampirik bağlanma enerjisi formülündeki Coulomb teriminin (E_C) azalmasına ve dolayısıyla çekirdeğin bağlanma enerjisinin ve Q reaksiyon enerjisinin artmasına neden olur.

Simetrik fisyon için, $A_1+A_2=A$, $Z_1+Z_2=Z$ ve $N_1+N_2=N$ olduğu düşünülürse Coulomb terimi;

$$BE \approx a_c \left[\frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - 2 \frac{\frac{Z}{2} \left(\frac{Z}{2} - 1 \right)}{\left(\frac{A}{2} \right)^{1/3}} \right] > 0$$

$$BE \approx a_c \left[\frac{Z^2}{2A^{1/3}} \right] \text{Sabit} > 0$$

Yüzey terimi Q reaksiyon enerjisini aşağıya çekmeye çalışırken, Coulomb terimi yukarı çekmeye çalışır. Bu iki terimin mücadelesinde hangisi baskın gelirse kendiliğinden fisyon mümkün olur.

$$Q \approx a_y \left[A^{2/3} - 2 \left(\frac{A}{2} \right)^{2/3} \right] + a_c \left[\frac{Z^2}{2A^{1/3}} \right] \geq 0$$

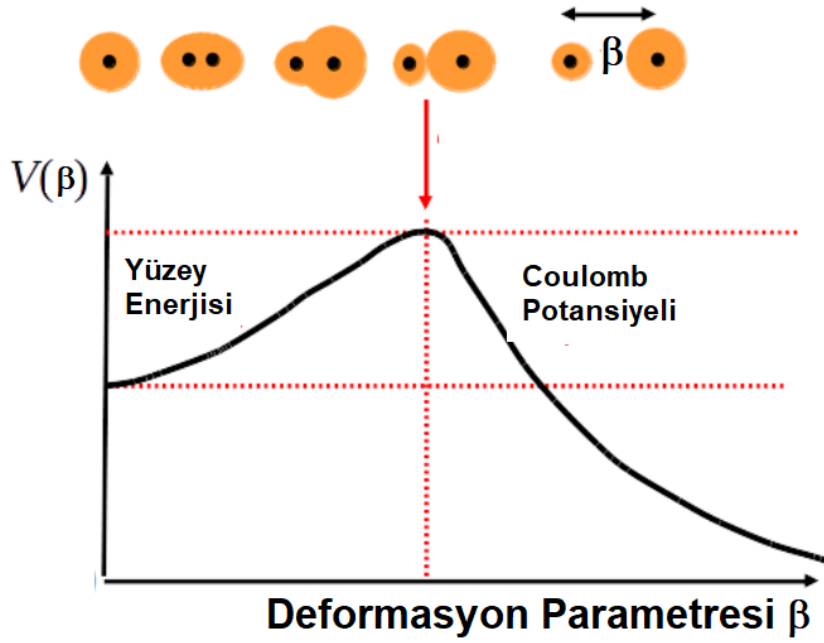
sağlayan değer $A > 90$ 'dır. Çekirdeğin sıvı damlasına göre, yarı ampirik bağlanma enerjisi formülü ile elde edilen sonuç; kütle numarası $A > 90$ olursa, kendiliğinden fisyon mümkün olur. Ancak doğada $A > 90$ olan çok sayıda kararlı çekirdek vardır ve kütle numarası 230 olduğunda çekirdekleri gerçekten kendiliğinden fisyon yaptıkları görülmektedir.

2.2.2 Fisyon ve Şekil Deformasyonu

Nükleer fisyon olayında, çekirdeğin sıvı damlası modelinin öngördüğü yarı-ampirik bağlanma enerjisi formülündeki yüzey ve Coulomb terimleri arasındaki bu değişimler göz önüne alınarak yapılan hesaplar $A > 90$ olan çekirdeklerin kendiliğinden fisyon (KF) yapmaları gerektiğini gösterir. Ancak doğada kütle sayısı 90'ın üzerinde çok sayıda kararlı çekirdek bulunmaktadır. Gözlemler, $A > 230$ olan çekirdekler için kendiliğinden fisyon yapma reaksiyon kanalının açık olduğunu göstermektedir. İlk başta çelişki gibi görünen bu durum Niels Bohr ve John Wheeler tarafından, bölünmeye uğrayan çekirdeğin şeklinde oluşan deformasyon süreçlerinin çekirdeğin enerjisini değiştirmesi ve bu durumu ifade eden deformasyon parametresi kullanılarak açıklanmıştır. Çekirdek fisyon olmaya giderken şeklindeki deformasyon bazı ara evrelerden geçer, bu süreçler Şekil 2.5'de görülmektedir.

Çekirdeğin kütle numarası 90'dan büyük olduğunda, kendiliğinden fisyon yapması enerjik açıdan mümkün oluyor ve fisyon yapmaya giderken şekli deformasyona uğruyor. Şeklindeki bu deformasyon çekirdeğin enerjisini artırır, yüzey ve Coulomb terimlerini değiştirir. Ayrıca çekirdek tam olarak ikiye ayrılmadan önce Coulomb engeli en yüksek değerini alır. Eğer şekil deformasyonu nedeniyle çekirdek enerjisinde oluşan bu artış, Coulomb engelini aşmak için yeterliyse çekirdek bölünür, değilse şeklindeki bu deformasyon süreçlerini yaşasa bile bölünmez. İşte $A > 90$ olan çekirdekler için bu deformasyon süreçleri yaşansa bile yani enerjik açıdan kendiliğinden fisyon yapması mümkün olsa bile Coulomb engelini aşamadığı için bölünme gerçekleşmez. $A > 90$ olan çekirdeklerin Coulomb engelini kuantum mekaniksel olarak tünelleme yoluyla geçerek fisyon yapma yarı ömrünün 10^{16} yıl olduğu hesaplanmıştır. Bu nedenle tünelleme yoluya fisyon olayı yapma olasılığı çok çok düşüktür.

Çekirdek şekil olarak deformasyona uğrarken, çekirdek sıkıştırılmaz olarak kabul edildiği için hacim ve nükleon sayısı değişmez. Yüzey ve Coulomb terimleri değişir.



Şekil 2.5: Filyon olayında Őekil deformasyonu sűreçleri [15].

Çekirdek tam küresel olduğunda, deformasyon parametresi $\beta=0$ 'dır. Şekil olarak deformasyona uğradığında iki merkez arasındaki uzaklık β deformasyon parametresi olur. Deformasyon arttıkça, iki merkez arasındaki uzaklık da artar. En sonunda çekirdekler bölünür. Tamamen birbirinden bağımsız iki parçaya ayrılır.

Deforme olmuş olmuş çekirdeğin

$$\text{Yüzey terimindeki değişim; } a_y A^{2/3} \rightarrow a_y A^{2/3} \left(1 + \frac{2\varepsilon^2}{5}\right)$$

$$\text{Coulomb terimindeki değişim; } a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} \rightarrow a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{5}\right)$$

Őeklinindedir [7].

Şimdi deforme olmamıŐ çekirdek ile deforme olmuş çekirdekler arasındaki bağlanma enerjisindeki farkı hesaplayalım:

$$\Delta BE = BE(\beta = 0) - BE(\beta \neq 0)$$

$$\text{BE'deki değişim; } \Delta BE = \left(\frac{2a_y A^{2/3}}{5} - \frac{a_c Z^2}{5A^{1/3}} \right) \varepsilon^2$$

$\Delta BE < 0$ koşulu sağlanırsa çekirdek kendiliğinden fisyon yapabilir. ε şekilde meydana gelen çok küçük bir değişimi temsil eder ve $0 < \varepsilon < 1$ 'dir. O halde parantez içindeki ifadenin < 0 olması gerekir.

$$\frac{2a_y A^{2/3}}{5} < \frac{a_c Z^2}{5A^{1/3}}$$

$a_y=16.8$ MeV ve $a_c=0.72$ MeV [3] olduğuna göre:

$$\frac{Z^2}{A} > 47 \quad (2.10)$$

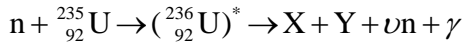
Çekirdeğin β^- bozunumuna karşı kararlılığını da sağlamak için Z'nin [3];

$$Z = \frac{A}{2} \left(\frac{1}{1 + 0.0078A^{2/3}} \right) \quad \text{koşulunu sağlaması da istenir.}$$

Deformasyon parametreleri göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda simetrik fisyon için $Z^2/A > 47$ olursa fisyon engellerinin gözden kaybolduğunu göstermektedir.

2.2.3 Uyarı ile Fisyon

Bazı çekirdeklerin fisyon yapabilmesi için, yani Coulomb potansiyel engelini geçebilmeleri için dışardan bir miktar enerji verilmesi gerekir. Fisyon yapabilmesi için gereken bu az miktardaki enerjiye "Aktivasyon Enerjisi" denir ve Şekil 2.6'da görülmektedir. Dışardan enerji verilerek oluşturulan fisyon "Uyarılma ile Fisyon (Induced Fission)" olarak adlandırılır. ${}_{92}^{235}\text{U}$ kendiliğinden fisyon yapamaz, ancak kinetik enerjisi çok düşük hatta sıfıra yakın olan termal nötronlarla bombardıman edildiğinde fisyon yapabilir. Bu şekilde gerçekleştirilen fisyon reaksiyonlarına "Nötronla Uyarılmış Fisyon" (Neutron Induced Fission) denir.



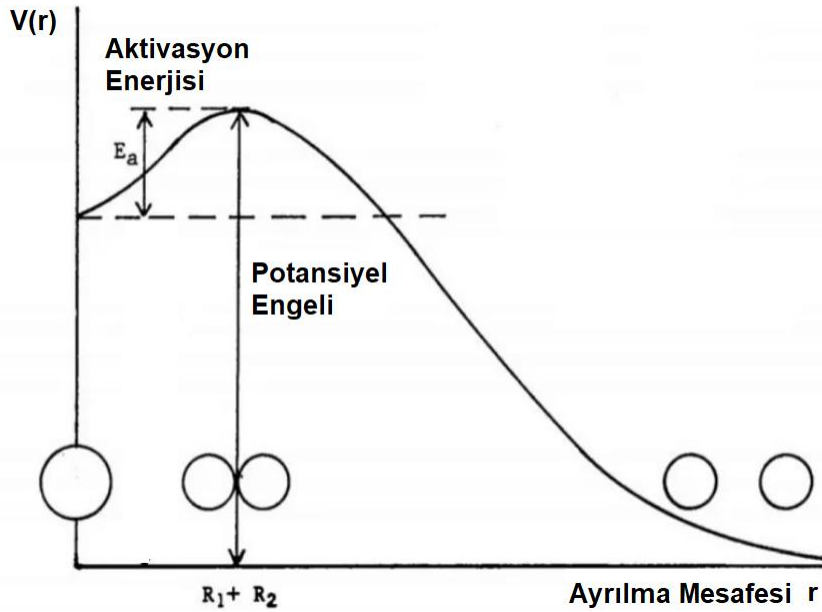
Burada X ve Y ile temsil edilen çok sayıda farklı fisyon ürünleri oluşabilir. Kütle numarası $A=72-160$ arasında 88 temel fisyon ürünü oluşabilir [3].

Burada oluşan uyarılmış ^{236}U bileşik çekirdeğinin uyarılma enerjisi 6.54 MeV civarındadır ve deneysel çalışmalar ^{236}U çekirdeği için aktivasyon enerjisinin 6.2 MeV olduğunu göstermiştir [3].

$$E_{uy} = [M(^{236}\text{U})^* - M(^{236}\text{U})] = [M_n + M(^{235}\text{U}) - M(^{236}\text{U})] \approx 6.54 \text{ MeV}$$

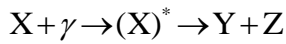
^{236}U bileşik çekirdeğinin uyarılma enerjisi, aktivasyon enerjisinin üzerinde olduğu için termal nötronlarla bombardıman edilen ^{233}U çekirdeği fisyon yapabilir.

^{238}U çekirdeğini termal nötronlarla bombardıman ederek ^{239}U uyarılmış bileşik çekirdeğini elde edersek, ^{239}U bileşik çekirdeğinin uyarılma enerjisini 4.8 MeV olarak buluruz. Aktivasyon enerjisi 6.2 MeV'dir. ^{239}U bileşik çekirdeğinin uyarılma enerjisi, aktivasyon enerjisinden düşük olduğu için ^{238}U çekirdeği termal nötronlarla bombardıman edilirse, fisyon yapamaz.



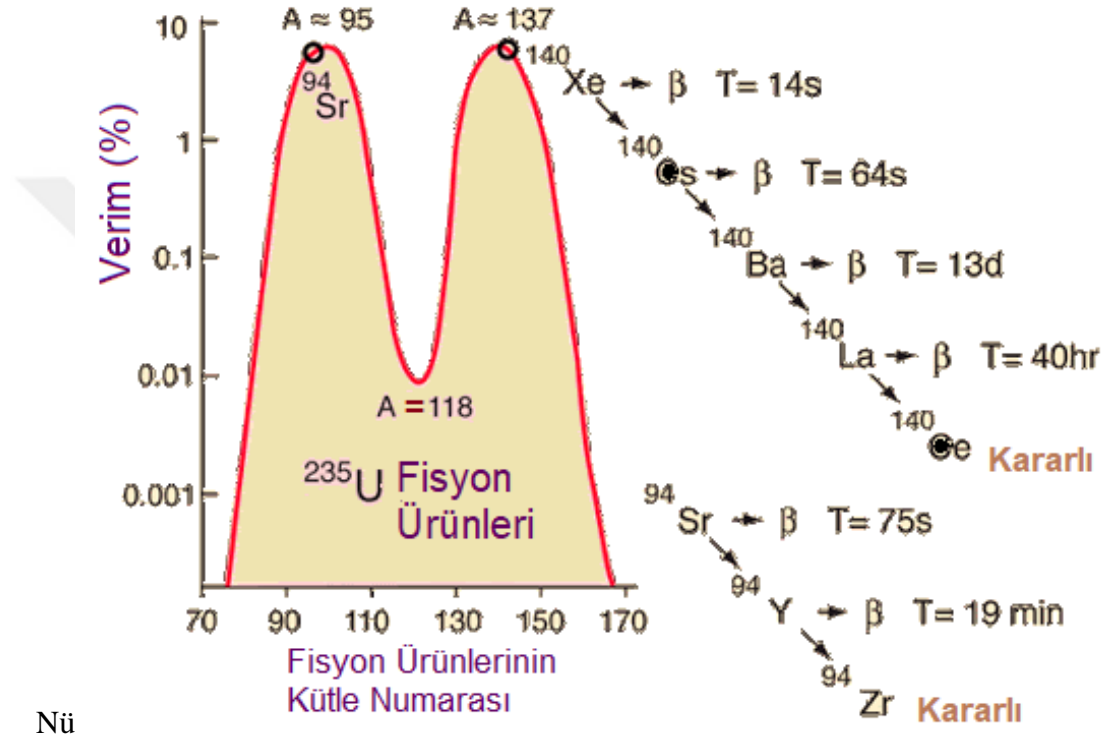
Şekil 2.6: Aktivasyon Enerjisi.

Nötron yerine γ ışınlarıyla bombardıman edilerek fisyon olayı oluşturulursa, bu tip fisyon reaksiyonlarına da "Fotofisyon" denir. Fotofisyon reaksiyonları, bir çekirdeğin fisyon yapması için ne kadar aktivasyon enerjisinin gerektiğini ölçmenin en pratik ve kolay yöntemlerinden biridir.



2.2.4 Fiyon Ürünlerinin Kütle Dağılımı

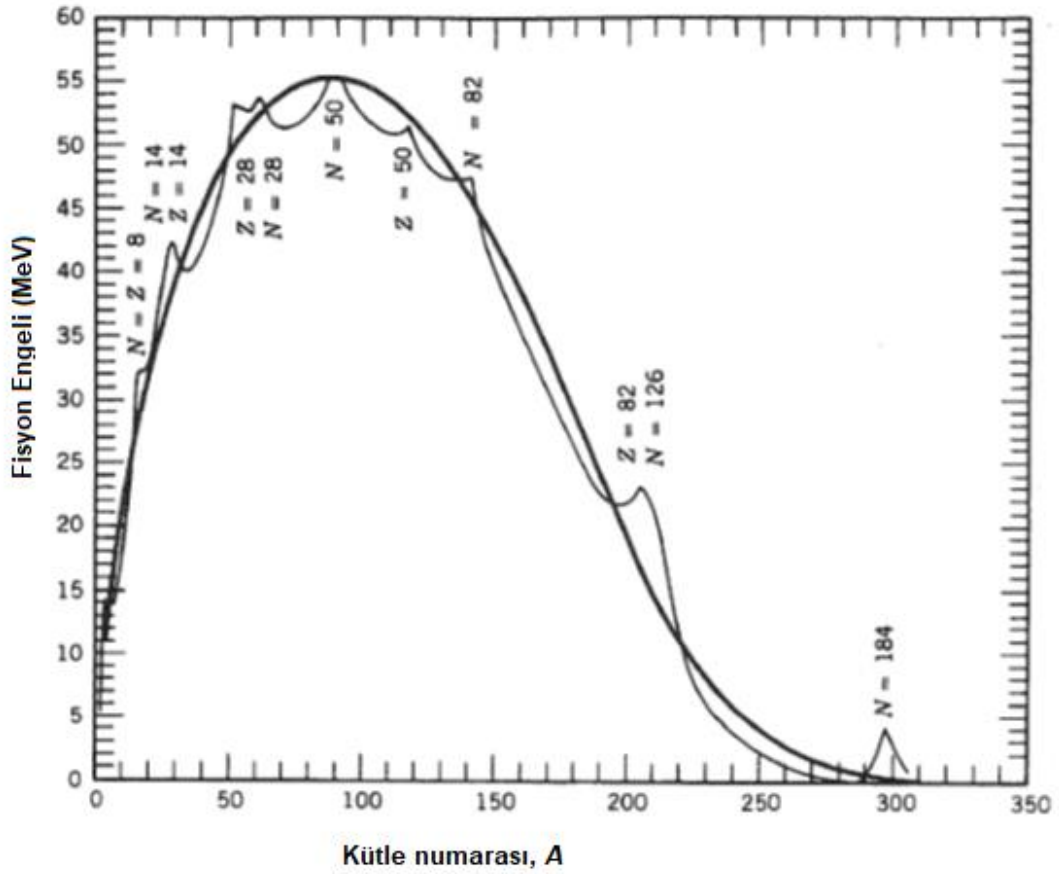
Çekirdekler ister kendiliğinden ister uyarma ile fiyion yapsınlar, fiyion sonucu oluşan ürün çekirdekler büyük bir oranda asimetrik dağılım gösterir. Şekil 2.7’de ^{235}U ’in termal nötronlarla bombardımanı sonucu oluşan fiyion ürünlerinin kütle dağılımı görülmektedir. Görüldüğü üzere, asimetrik fiyion ürünleri dağılımı, simetrik fiyion dağılımından nerdeyse 100 kat daha fazladır.



Şekil 2.7: ^{235}U 'un fiyion ürünlerinin dağılımı.

Bu asimetrik dağılımı çekirdeğin sıvı damlası modeli ile açıklamak oldukça zordur. Normalde enerjik açıdan çekirdeklerin simetrik fiyionu tercih etmesi gerekir.

Fiyion olayının önemli karakteristiklerinden biri olan asimetrik kütle dağılımı mekanizması tam olarak anlaşılammakla birlikte, potansiyeldeki kabuk modelinin etkisinin asimetrik fiyiona neden olduğu öngörülmektedir [7]. Şekil 2.8’de kabuk modelinin fiyion engelinin taban durum üzerindeki yüksekliği (yani aktivasyon enerjisi) üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 2.8: Filyon aktivasyon enerjisi üzerindeki kabuk etkisi [3].

Şekil 2.8'de koyu renkli çizgi ile gösterilen filyon engeli her kütle numarasındaki sadece çok kararlı izotoplar için sıvı damlası modelinin öngörülerini kullanılarak hesaplanmıştır. Açık renkli çizgi ise kabuk yapısının etkisini göstermektedir.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki bağlanma enerjisi, N veya Z 'nin 2, 8, 20, 28, 50, 82 ve 126'ya eşit olduğu çekirdekler için maksimumdur. Bazı çalışmalar, sihirli sayı olarak 20 yerine 14 kullanılmasını önermektedir [16].

Şekil 2.8'de uranyum yakınlarında filyon engelini 5 MeV civarında olduğu; kütle numarası 280 civarında ise filyon engelini neredeyse sıfır olduğu açıkça görülmektedir. Kütle numarası 280 civarındaki çekirdekler kendiliğinden filyona karşı son derece kararsızdır.

Kapalı nötron kabuk yapısından beklenen kararlılık kütle numarası 300 civarında görülmektedir [3].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 GİRİŞ

Bu çalışmada, $Z=98-104$ ve $A=237-268$ aralığında kendiliğinden fisyon yapan toplam 7 farklı çekirdek için 128 izotop grubu seçilmiştir. Sıvı damlası modeline göre hacim (E_h), yüzey (E_y), Coulomb terimleri (E_c) ve kabuk etkilerini gösteren asimetri terimi (E_{asim}), bu terimlerin birbirlerine oranları, önemli fisyon karakteristiklerinden biri olan Z^2/A ve $A-2Z$ değerleri ile nükleon başına bağlanma enerjileri Mathematica ile hesaplanmıştır.

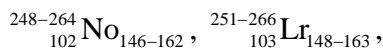
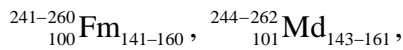
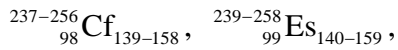
Bu 7 çekirdek için, deneysel olarak kütle dağılımı ölçülmüş ve kütle dağılımları çok iyi bilinen toplam 21 izotop grubunun simetrik ve asimetrik kütle dağılımları ile hesaplama sonuçlarımız karşılaştırılmıştır.

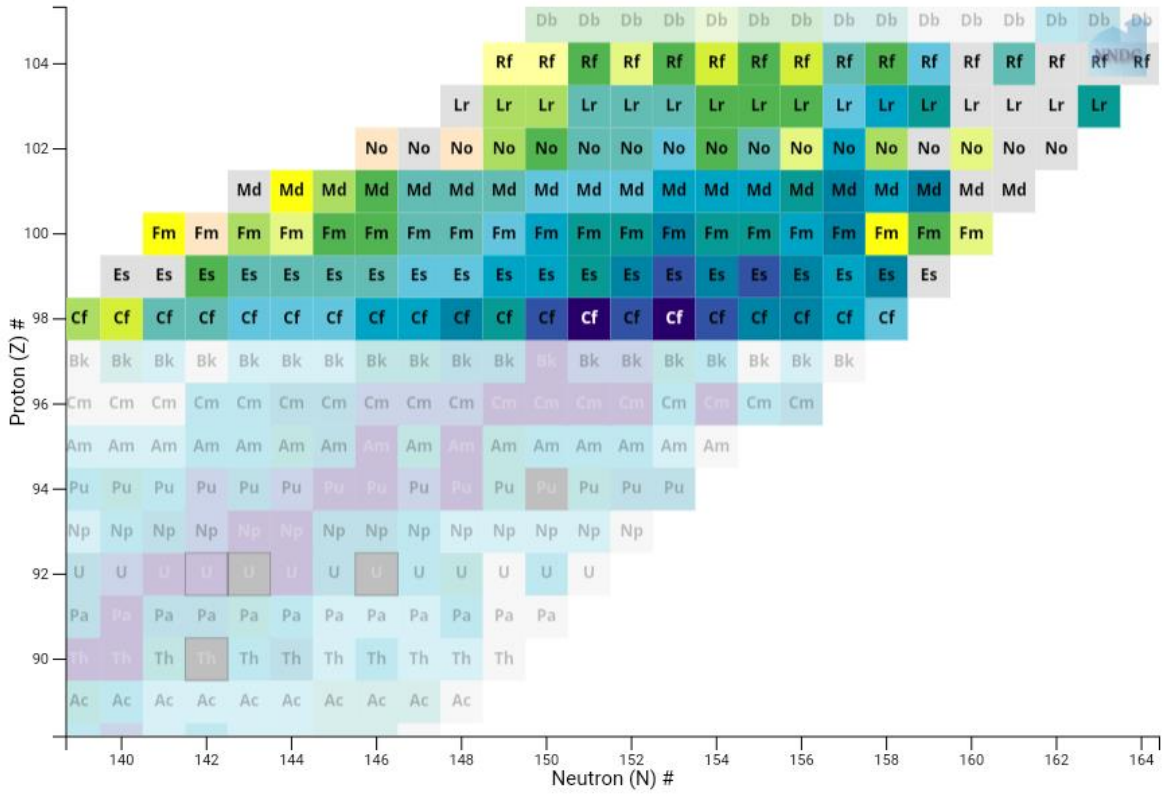
Simetrik ve asimetrik dağılım gösteren bu 21 izotop grubu içindeki A-tek ve çift çift (ÇÇ) çekirdekler üzerindeki kabuk etkileri incelenmiş ve simetrik fisyon yapan grup üzerindeki sonuçlarımız fit edilerek bir sistematik oluşturulmuştur.

Daha sonra bu sistematik kullanılarak, bu 7 çekirdeğin kendiliğinden fisyon yapma olasılığı olan fakat henüz deneysel olarak kütle dağılımları ölçülmemiş izotoplarının simetrik ya da asimetrik fisyonla hangisini yapmaya eğilimli olduğu incelenmiştir.

3.2 İNCELENEN ÇEKİRDEK GRUPLARI VE BOZUNUM MODLARI

Bu tez çalışmasında fisyon karakteristiklerini incelemek için kendiliğinden fisyon yapan $Z=98-104$ aralığında çekirdekler ve toplam 128 izotop seçilmiştir. Şekil 3.1'de görülen bu çekirdekler ve izotopları şöyledir [17,18]:





Şekil 3.1: Bu çalışma için seçilen kendiliğinden fisyon yapan çekirdekler ve izotopları [17].

Seçilen çekirdeklerin bozunum modları aşağıdaki tablolarda verilmektedir.

Tablo 3.1: $^{237-256}_{98}\text{Cf}_{139-158}$ bozunum modları kısım 1.

<i>A</i>	<i>Z</i>	<i>N</i>	<i>α</i> (%)	<i>β</i> (%)	<i>SF</i> (%)
237	98	139	30.00	00.00	70.00
238	98	140	5.00>		95
239	98	141			
240	98	142	98.5		1.5
241	98	143	25.00		
242	98	144	80.00		0.01>
243	98	145	14.00		

Tablo 3.2: $^{237-256}_{98}\text{Cf}_{139-158}$ bozunum modları kısım2

A	Z	N	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	SF (%)
244	98	146	100.00>		
245	98	147	35.00		
246	98	148	100.00		2.4 E-4
247	98	149	0.04		
248	98	150	100.00		2.9 E-3
249	98	151	100.00		5.0 E-7
250	98	152	99.92		0.08
251	98	153	100.00		
252	98	154	96.91		3.09
253	98	155	0.31	99.96	
254	98	156	0.31		99.96
255	98	157		100	
256	98	158	1.0E-6	1.00>	100

Tablo 3.3: $^{239-258}_{99}\text{Es}_{140-159}$ bozunum modları kısım 1.

A	Z	N	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	SF (%)
239	99	140			
240	99	141			

Tablo 3.4: $^{239-258}_{99}\text{Es}_{140-159}$ bozunum modları kısım 2.

241	99	142			
242	99	143	57.00		
243	99	144	61.00		1.00>
244	99	145	4.00		
245	99	146	40.00		
246	99	147	9.90		
247	99	148	7.00		
248	99	149	0.25		
249	99	150	0.57		
250	99	151	3.00>		
251	99	152	0.5		
252	99	153	78.00		
253	99	154	100.00		8.7 E-6
254	99	155	100.00	1.7 E-4	3.0E-6
255	99	156	8.00	92.00	4.1E-3
256	99	157		100.00	
257	99	158			
258	99	159			

Tablo 3.5: $^{241-260}_{100}\text{Fm}_{141-160}$ bozunum modları kısım 1.

<i>A</i>	<i>Z</i>	<i>N</i>	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	<i>SF</i> (%)
241	100	141	14.00>		78.00
242	100	142			100.00>
243	100	143	91.00		9.00
244	100	144	1.00>		97.00
245	100	145	100.00>		
246	100	146	93.20		6.80
247	100	147	64.00		
248	100	148	95.00		0.1
249	100	149	33.00		
250	100	150	90.00		6.9 E-3
251	100	151	1.80		
252	100	152	100.00		2.3 E-3
253	100	153	12.00		
254	100	154	99.94		0.06
255	100	155	100.00		2.4 E-5
256	100	156	8.10		91.90
257	100	157	99.79		0.21
258	100	158			100.00>

Tablo 3.6: $^{241-260}_{100}\text{Fm}_{141-160}$ bozunum modları kısım 2.

259	100	159			100.00
260	100	160			100.00

Tablo 3.7: $^{244-262}_{101}\text{Md}_{143-161}$ bozunum modları kısım 1.

<i>A</i>	<i>Z</i>	<i>N</i>	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	<i>SF</i> (%)
244	101	143			
245	101	144			
246	101	145	100.00		
247	101	146	99.90		0.10>
248	101	147	58.00		
249	101	148	60.00		
250	101	149	7.00		
251	101	150	10.00>		
252	101	151			
253	101	152	0.70		
254	101	153			
255	101	154	7.00		
256	101	155	9.20		3.00>
257	101	156	15.00		1.00>

Tablo 3.8: $^{244-262}_{101}\text{Md}_{143-161}$ bozunum modları kısım 2.

258	101	157	100.00		
259	101	158	1.30>		100.00
260	101	159	25.00>		42.00
261	101	160			
262	101	161			

Tablo 3.9: $^{248-264}_{102}\text{No}_{146-162}$ bozunum modları kısım 1.

<i>A</i>	<i>Z</i>	<i>N</i>	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	<i>SF</i> (%)
248	102	146			
249	102	147			
250	102	148	2.00>		100.00
251	102	149	91.00		0.30>
252	102	150	70.70		29.30
253	102	151	55.00		
254	102	152	90.00		0.17
255	102	153	30.00		
256	102	154	99.47		0.53
257	102	155	85.00		1.5>
258	102	156			100.00>

Tablo 3.10: $^{248-264}_{102}\text{No}_{146-162}$ bozunum modları kısım 2.

259	102	157	75.00		10.00>
260	102	158			100.00
261	102	159			
262	102	160			100.00
263	102	161			
264	102	162			

Tablo 3.11: $^{251-266}_{103}\text{Lr}_{148-163}$ bozunum modları kısım 1.

<i>A</i>	<i>Z</i>	<i>N</i>	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	<i>SF</i> (%)
251	103	148			
252	103	149	100.00		
253	103	150	98.70		1.30
254	103	151	71.70		
255	103	152	99.70		0.10>
256	103	153	85.00		0.03>
257	103	154	100.00>		3 E-2
258	103	155	95.00		5.00>
259	103	156	78.00		22.00
260	103	157	80.00		10.00>

Tablo 3.12: $^{251-266}_{103}\text{Lr}_{148-163}$ bozunum modları kısım 2.

261	103	158			100.00
262	103	159			10.00>
263	103	160			
264	103	161			
265	103	162			
266	103	163			100.00

Tablo 3.13: $^{253-268}_{104}\text{Rf}_{149-164}$ bozunum modları kısım 1.

<i>A</i>	<i>Z</i>	<i>N</i>	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	<i>SF</i> (%)
253	104	149	50.00		50.00
254	104	150			100.00>
255	104	151	42.00		58.00
256	104	152	0.32		99.68
257	104	153	79.30		1.30
258	104	154	31.00		69.00
259	104	155	92.00		8.00
260	104	156			100.00>
261	104	157	27.00		73.00
262	104	158	3.00>		100.00>

Tablo 3.14: $^{253-268}_{104}\text{Rf}_{149-164}$ bozunum modları kısım 2.

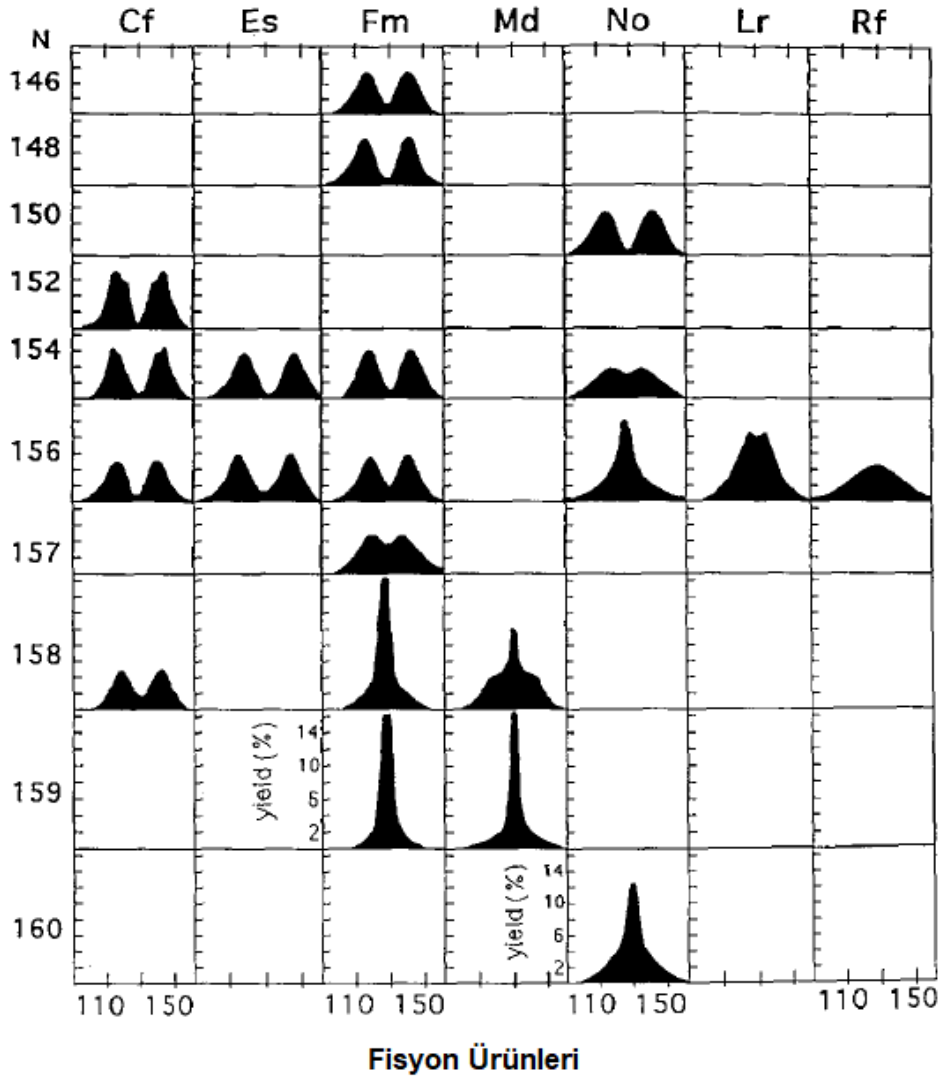
263	104	159			100.00
264	104	160			
265	104	161			100.00
266	104	162			
267	104	163			
268	104	164			

Bu tablolardan görüldüğü üzere seçilen çekirdeklerin izotoplarının bir kısmı sadece alfa ya da sadece beta bozunumu yapmaktadır. Fisyon karakteristiklerini belirlemeye yönelik sistematik çalışma içine bu gruptaki çekirdekler dahil edilmemişlerdir. Ayrıca bu çekirdeklerin nötron ya da proton sızdırma çizgileri kenarında izotoplarının bazılarının bozunum modu henüz bilinmemektedir. Bu nedenle boş bırakılmıştır. Bu verilerin tamamı NNDC/NuDat3 veri tabanından alınmıştır [17].

3.3 FİSYON ÜRÜNLERİNİN KÜTLE DAĞILIMINA İLİŞKİN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kendiliğinden fisyon yapan çekirdeklerin simetrik ve asimetrik kütle dağılımlarına ilişkin deneysel çalışmaların sonuçları Şekil 3.2’de görülmektedir [12].

Bu deneysel çalışma göstermiştir ki; $_{98}\text{Cf}$, $_{99}\text{Es}$ çekirdeklerinin kendiliğinden fisyona uğrayan izotoplarının hepsi asimetrik fisyon yapmaktadır. $_{101}\text{Md}$, $_{103}\text{Lr}$ ve $_{104}\text{Rf}$ sadece simetrik fisyon yapmaktadır. $_{100}\text{Fm}$ ve $_{102}\text{No}$ ’un bazı izotopları simetrik bazıları ise asimetrik fisyon yapmaktadır.



Şekil 3.2: Kendiliğinden fisyon yapan bazı çekirdeklerin kütle dağılımına ilişkin deneysel çalışmalar [12].

3.4 YARI-AMPİRİK BAĞLANMA ENERJİSİNDEKİ KATSAYILAR

Eşitlik (2.5) ile verilen yarı ampirik bağlanma enerjisinde yer alan hacim, yüzey, Coulomb, asimetri ve çiftlenme teriminin deneysel verilere fit yapılarak bulunan katsayılarına ilişkin çalışmalar günümüzde devam etmektedir [9, 19,20].

En son 2020 yılında yapılan çalışma ile [19] bu katsayılar ve çiftlenme teriminin etkisi güncellenmiştir. Bu çalışmaya göre;

$$a_h = 14.64 \text{ MeV} ; a_s = 14.08 \text{ MeV} ; a_c = 0.64 \text{ MeV} ; a_{asim} = 21.07 \text{ MeV} \text{ ve } a_{çift} = 11.54 \text{ MeV}$$

olarak belirlenmiştir. Ayrıca çiftlenim terimi ;

$$E_{çift} = \delta = \begin{cases} +a_{çift} A^{-1/2} & \text{ÇÇ çekirdekler için} \\ -a_{çift} A^{-1/2} & \text{TT çekirdekler için} \\ 0 & \text{A-Tek çekirdekler için} \end{cases} \quad (3.1)$$

olacak şekilde güncellenmiştir.

Bu tez çalışmasında, fisyon karakteristiklerinin Mathematica ile hesaplarında yukarıda verilen güncel katsayılar ve çiftlenim terimi kullanılmıştır. Böylece yarı ampirik bağlanma enerjisi formülü;

$$BE(A, Z) = a_h A - a_y A^{2/3} - a_c Z(Z-1)A^{-1/3} - a_{asim} (A-2Z)^2 A^{-1} \pm a_{çift} A^{-1/2} \quad (3.2)$$

olacak şekilde güncellenmiş ve hesaplarımızda kullanılmıştır.

3.5 FİSYONU KARAKTERİZE EDEN PARAMETRELERİN KARŞILAŞTIRILMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada, deneysel olarak ölçülmüş ve kütle dağılımları çok iyi bilinen veri seti üzerine, sıvı damlası modeli çerçevesi içinde, yarı ampirik bağlanma enerjisinin yüzey ve Coulomb terimlerine oranı ile çekirdeğin şeklinde meydana gelen deformasyon parametresi göz önüne alınarak kendiliğinden simetrik fisyon için belirlenen Z^2/A değerleri güncel katsayılarla hesaplandı. Bu hesaplama sonuçları, kendiliğinden fisyonla uğrayan ÇÇ ve A-tek çekirdekler için deneysel olarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı. Kendiliğinden fisyonla uğrayan veri seti fit edilerek bu veri seti için bir sistematik kuruldu.

Bu sistematik, çalışmamız için seçilen, KF yapma kanalı açık olan ancak simetrik ya da asimetrik kütle dağılımları henüz ölçülmemiş $Z=98-104$ olan 7 çekirdeğin izotoplarına uygulandı ve toplam 29 ÇÇ ve toplam 27 A-tek çekirdekler için simetrik fisyon yapıp yapamayacakları incelendi. E_C/E_y oranlarının RMS (%) değerleri [21];

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum [(E_C / E_y)_{deney} - (E_C / E_y)_{teori}]^2}{N_{çek}}} \quad (3.3)$$

ile hesaplandı. Burada $N_{çek}$, sistematik içinde incelenen toplam çekirdek sayısıdır.

Tablo 3.15 ve Tablo 3.16’da deneysel olarak kütle dağılımları bilinmeyen ancak KF bozunum kanalı açık olan izotoplar verilmektedir.

Tablo 3.15: KF bozunum modu açık olan, fisyon ürünleri kütle dağılımı deneysel olarak ölçülmemiş veri seti kısım 1.

A	Z	N	Z ² /A	A-2Z	E _h (MeV)	E _y (MeV)	E _c (MeV)	E _{asym} (MeV)	E _y / E _h (%)	E _c / E _h (%)	E _{asim} / E _h (%)	E _c / E _y (%)	BE/A (MeV)
237	98	139	40.5232	41	3470.46	539.177	989.545	149.432	87.2651	160.157	24.1853	26.9176	7.56248
238	98	140	40.3529	42	3485.11	540.692	988.158	156.151	87.8796	160.607	25.3795	26.9554	7.56661
240	98	142	40.0167	44	3514.39	543.717	985.405	169.949	89.1139	161.505	27.8541	27.0307	7.56694
242	98	144	39.686	46	3543.68	546.734	982.683	184.214	90.355	162.401	30.4439	27.1055	7.56525
246	98	148	39.0407	50	3602.25	552.742	977.328	214.106	92.8578	164.186	35.9687	27.2541	7.55615
248	98	150	38.7258	52	3631.54	555.734	974.693	229.709	94.1195	165.075	38.9037	27.3277	7.54893
249	98	151	38.5703	53	3646.18	557.227	973.387	237.671	94.7528	165.518	40.4144	27.3644	7.54176
251	98	153	38.2629	55	3675.47	560.206	970.794	253.907	96.0247	166.403	43.5221	27.4375	7.53211
243	99	144	40.3333	45	3558.32	548.239	1001.57	175.567	90.9782	166.206	29.1346	27.7025	7.54300
254	99	155	38.5866	56	3719.40	564.661	986.895	260.115	97.9451	171.185	45.1191	28.1143	7.50789
257	99	158	38.1362	59	3763.33	569.099	983.039	285.361	99.8808	172.530	50.0828	28.2246	7.49350
241	100	141	41.4938	41	3529.04	545.227	1024.83	146.951	89.7336	168.666	24.1853	28.1901	7.51880
242	100	142	41.3223	42	3543.68	546.734	1023.41	153.570	90.3550	169.133	25.3795	28.2290	7.52357
243	100	143	41.1523	43	3558.32	548.239	1022.01	160.308	90.9782	169.598	26.6024	28.2678	7.52168
244	100	144	40.9836	44	3572.97	549.742	1020.61	167.162	91.603	170.063	27.8541	28.3065	7.52537
250	100	150	40.0000	50	3660.83	558.718	1012.38	210.680	95.3879	172.840	35.9687	28.5367	7.51912
252	100	152	39.6825	52	3690.11	561.693	1009.69	226.063	96.6631	173.760	38.9037	28.6126	7.51345
255	100	155	39.2157	55	3734.04	566.143	1005.72	249.924	98.5887	175.137	43.5221	28.7257	7.49905
260	100	160	38.4615	60	3807.26	573.519	999.228	291.711	101.832	177.419	51.7949	28.9122	7.47506
245	101	144	41.6367	43	3587.61	551.243	1039.81	158.999	92.2296	173.972	26.6024	28.9178	7.50024
247	101	146	41.2996	45	3616.9	554.239	1036.99	172.723	93.4878	174.918	29.1346	28.9963	7.50177
256	101	155	39.8477	54	3748.68	567.622	1024.70	239.978	99.2339	179.142	41.9539	29.3443	7.48308
257	101	156	39.6926	55	3763.33	569.099	1023.37	247.979	99.8808	179.608	43.5221	29.3824	7.48204
260	101	159	39.2346	58	3807.26	573.519	1019.41	272.588	101.832	181.003	48.3994	29.4963	7.46546
262	101	161	38.9351	60	3836.54	576.456	1016.81	289.484	103.140	181.930	51.7949	29.5717	7.45449
248	102	146	41.9516	44	3631.54	555.734	1056.31	164.466	94.1195	178.898	27.8541	29.6161	7.4829
250	102	148	41.616	46	3660.83	558.718	1053.49	178.320	95.3879	179.858	30.4439	29.6955	7.48413
251	102	149	41.4502	47	3657.47	560.206	1052.09	185.415	96.0247	180.337	31.7819	29.735	7.48112
254	102	152	41.9606	50	3719.40	564.661	1047.93	207.362	97.9451	181.771	35.9687	29.853	7.48099
257	102	155	41.4825	53	33763.3	569.099	1043.83	230.272	99.8808	183.200	40.4144	29.9701	7.47130
259	102	157	40.1699	55	3792.61	572.048	1041.14	246.064	101.180	184.149	43.5221	30.0476	7.46472
260	102	158	40.0154	56	3807.26	573.519	1039.8	254.112	101.832	184.623	45.1191	30.0862	7.46361

Tablo 3.16: KF bozunum modu açık olan, fisyon ürünleri kütle dağılımı deneysel olarak ölçülmemiş veri seti kısım 2.

A	Z	N	Z ² /A	A-2Z	E _h (MeV)	E _y (MeV)	E _c (MeV)	E _{asym} (MeV)	E _y / E _h (%)	E _c /E _h (%)	E _{asim} /E _h (%)	E _c /E _y (%)	BE/A (MeV)
263	102	161	39.5589	59	3851.19	577.922	1035.83	278.851	103.797	186.04	50.0828	30.2015	7.44707
252	103	149	42.0992	46	3690.11	561.693	1071.5	176.904	96.6631	184.397	30.4439	30.364	7.4575
253	103	150	41.9328	47	3704.75	563.178	1070.08	183.949	97.3033	184.884	31.7819	30.4041	7.46064
255	103	152	41.6039	49	3734.04	566.143	1067.28	198.37	98.5887	185.857	34.5443	30.484	7.4598
256	103	153	41.4414	50	3748.68	567.622	1065.89	205.742	99.2339	186.343	35.9687	30.5238	7.45591
257	103	154	41.2808	51	3763.33	569.099	1064.5	213.221	99.8808	186.828	37.4218	30.5635	7.45722
258	103	155	41.1202	52	3777.97	570.574	1063.13	220.806	100.529	187.312	38.9037	30.6031	7.45251
260	103	157	40.8038	54	3807.26	573.519	1060.39	236.286	101.832	188.279	41.9539	30.682	7.44748
261	103	158	40.6475	55	3821.9	574.989	1059.04	244.179	102.485	188.761	43.5221	30.7213	7.44711
262	103	159	40.4924	56	3836.54	576.456	1057.69	252.173	103.14	189.243	45.1191	30.7605	7.44089
265	103	162	40.034	59	3880.47	580.849	1053.68	276.746	105.116	190.685	50.0828	30.8774	7.43094
266	103	163	39.8835	60	3895.12	582.309	1052.36	285.131	105.778	191.164	51.7949	30.9162	7.42335
253	104	149	42.751	45	3704.75	563.178	1091.07	176.205	97.3033	188.509	30.443	31.0003	7.43827
254	104	150	42.5827	46	3719.4	564.661	1089.63	183.225	97.9451	189.006	31.7819	31.0411	7.44219
255	104	151	42.4157	47	3734.04	566.143	1088.21	190.356	98.5887	189.501	33.1487	31.0818	7.43995
256	104	152	42.25	48	3748.68	567.622	1086.79	197.595	99.2339	189.997	34.5443	31.1223	7.44291
257	104	153	42.0856	49	3763.33	569.009	1085.38	204.942	99.8808	190.491	35.9687	31.1628	7.43979
258	104	154	41.9225	50	3777.97	570.574	1083.97	212.395	100.529	190.985	37.4218	31.2032	7.44185
259	104	155	41.7606	51	3792.61	572.048	1082.58	219.953	101.18	191.478	38.9037	31.2434	7.4379
261	104	157	41.4406	53	3821.9	574.989	1079.8	235.38	102.485	192.462	41.9539	31.3237	7.43435
262	104	158	41.2824	54	3836.54	576.456	1078.43	243.247	103.14	192.954	43.5221	31.3636	7.4347
263	104	159	41.1255	55	3851.19	577.922	1077.06	251.214	103.797	193.444	45.1191	31.4035	7.42922
265	104	161	40.8151	57	3880.47	580.849	1074.34	276.444	105.116	194.424	48.3994	31.4829	7.42257
266	104	162	40.6617	58	3895.12	582.309	1072.99	275.706	105.778	194.913	50.0828	31.5224	7.42137

4. BULGULAR

4.1 BAZI FİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN HESAPLAMA SONUÇLARI

Bu çalışmada seçilen 7 farklı çekirdek ve onların izotopları için Eşitlik (3.1) ve (3.2) kullanılarak Mathematica [22] ile yapılan hesapların sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmektedir (Bkz Tablo 4.1-Tablo 4.7). Karşılaştırma yapabilmek için KF yapmayan izotoplar için de sıvı damlası modelinin öngördüğü terimler hesaplanmıştır. Ancak sistematik çalışmanın içine dahil edilmemişlerdir.

Bu hesaplar için kullanılan Mathematica kodları, tek bir çekirdek Ek 1'de verilmiştir. Bu kod değerleri için benzer şekilde uygulanmıştır.

Yeşil : KF kanalı açık; **Mavi**: KF kanalı kapalı;

Açık kahve: Simetrik Fisyon, **Koyu Kahve**: Asimetrik Fisyon yapan izotopları temsil etmektedir.

Tablo 4.1: $^{237-256}_{98}\text{Cf}_{139-158}$ için hesap sonuçları.

A	Z	N	Z/A	A-2Z	E_h (MeV)	E_y (MeV)	E_c (MeV)	E_{asym} (MeV)	E_y / E_h (%)	E_c / E_h (%)	E_{asim} / E_h (%)	E_c / E_y (%)	BE/A (MeV)
237	98	139	40.5232	41	3470.46	539.177	989.545	149.432	87.2651	160.157	24.1853	26.9176	7.56248
238	98	140	40.3529	42	3485.11	540.692	988.158	156.151	87.8796	160.607	25.3795	26.9554	7.56661
239	98	141	40.1841	43	3499.75	542.206	986.777	162.991	88.4959	161.056	26.6024	26.9931	7.56391
240	98	142	40.0167	44	3514.39	543.717	985.405	169.949	89.1139	161.505	27.8541	27.0307	7.56694
241	98	143	39.8506	45	3529.04	545.227	984.04	177.024	89.7336	161.954	29.1346	27.0681	7.56326
242	98	144	39.686	46	3543.68	546.734	982.683	184.214	90.355	162.401	30.4439	27.1055	7.56525
243	98	145	39.5226	47	3558.32	548.239	981.333	191.519	90.9782	162.848	31.7819	27.1428	7.56062
244	98	146	39.3607	48	3572.97	549.742	979.991	198.937	91.603	163.295	33.1487	27.18	7.56162
245	98	147	39.2	49	3587.61	551.243	978.655	206.466	92.2296	163.741	34.5443	27.2171	7.5561
246	98	148	39.0407	50	3602.25	552.742	977.328	214.106	92.8578	164.186	35.9687	27.2541	7.55615
247	98	149	38.8826	51	3616.9	554.239	976.007	221.854	93.4878	164.631	37.4218	27.2909	7.54978
248	98	150	38.7258	52	3631.54	555.734	974.693	229.709	94.1195	165.075	38.9037	27.3277	7.54893
249	98	151	38.5703	53	3646.18	557.227	973.387	237.671	94.7528	165.518	40.4144	27.3644	7.54176
250	98	152	38.416	54	3660.83	558.718	972.087	245.737	95.3879	165.961	41.9539	27.401	7.54005
251	98	153	38.2629	55	3675.47	560.206	970.794	253.907	96.0247	166.403	43.5221	27.4375	7.53211
252	98	154	38.1111	56	3690.11	561.693	969.509	262.18	96.6631	166.845	45.1191	27.4739	7.52959
253	98	155	37.9605	57	3704.75	563.178	968.23	270.553	97.3033	167.286	46.7449	27.5102	7.52092
254	98	156	37.811	58	3719.4	564.661	966.957	279.027	97.9451	167.727	48.3994	27.5464	7.51763
255	98	157	37.6627	59	3734.04	566.143	965.692	287.599	98.5887	168.167	50.0828	27.5825	7.50827
256	98	158	37.5156	60	3748.68	567.622	964.433	296.269	99.2339	168.606	51.7949	27.6185	7.50423

Tablo 4.2: $^{239-258}_{99}\text{Es}_{140-159}$ için hesap sonuçları.

A_{α}	Z_{α}	N_{α}	Z^2/A_{α}	$A-2Z_{\alpha}$	E_h (MeV) $_{\alpha}$	E_{γ} (MeV) $_{\alpha}$	E_c (MeV) $_{\alpha}$	E_{asym} (MeV) $_{\alpha}$	E_{γ}/E_h (%) $_{\alpha}$	E_c/E_h (%) $_{\alpha}$	E_{asim}/E_h (%) $_{\alpha}$	E_c/E_{γ} (%) $_{\alpha}$	BE/A (MeV) $_{\alpha}$
239 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	140 $_{\alpha}$	41.0084 $_{\alpha}$	41 $_{\alpha}$	3499.75 $_{\alpha}$	542.206 $_{\alpha}$	1007.12 $_{\alpha}$	148.181 $_{\alpha}$	88.4959 $_{\alpha}$	164.377 $_{\alpha}$	24.1853 $_{\alpha}$	27.5496 $_{\alpha}$	7.54075 $_{\alpha}$
240 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	141 $_{\alpha}$	40.8375 $_{\alpha}$	42 $_{\alpha}$	3514.39 $_{\alpha}$	543.717 $_{\alpha}$	1005.72 $_{\alpha}$	154.85 $_{\alpha}$	89.1139 $_{\alpha}$	164.835 $_{\alpha}$	25.3795 $_{\alpha}$	27.588 $_{\alpha}$	7.53899 $_{\alpha}$
241 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	142 $_{\alpha}$	40.668 $_{\alpha}$	43 $_{\alpha}$	3529.04 $_{\alpha}$	545.227 $_{\alpha}$	1004.33 $_{\alpha}$	161.638 $_{\alpha}$	89.7336 $_{\alpha}$	165.293 $_{\alpha}$	26.6024 $_{\alpha}$	27.6263 $_{\alpha}$	7.54291 $_{\alpha}$
242 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	143 $_{\alpha}$	40.5 $_{\alpha}$	44 $_{\alpha}$	3543.68 $_{\alpha}$	546.734 $_{\alpha}$	1002.94 $_{\alpha}$	168.544 $_{\alpha}$	90.355 $_{\alpha}$	165.75 $_{\alpha}$	27.8541 $_{\alpha}$	27.6644 $_{\alpha}$	7.54014 $_{\alpha}$
243 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	144 $_{\alpha}$	40.3333 $_{\alpha}$	45 $_{\alpha}$	3558.32 $_{\alpha}$	548.239 $_{\alpha}$	1001.57 $_{\alpha}$	175.567 $_{\alpha}$	90.9782 $_{\alpha}$	166.206 $_{\alpha}$	29.1346 $_{\alpha}$	27.7025 $_{\alpha}$	7.543 $_{\alpha}$
244 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	145 $_{\alpha}$	40.168 $_{\alpha}$	46 $_{\alpha}$	3572.97 $_{\alpha}$	549.742 $_{\alpha}$	1000.2 $_{\alpha}$	182.704 $_{\alpha}$	91.603 $_{\alpha}$	166.662 $_{\alpha}$	30.4439 $_{\alpha}$	27.7404 $_{\alpha}$	7.53928 $_{\alpha}$
245 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	146 $_{\alpha}$	40.0041 $_{\alpha}$	47 $_{\alpha}$	3587.61 $_{\alpha}$	551.243 $_{\alpha}$	998.834 $_{\alpha}$	189.956 $_{\alpha}$	92.2296 $_{\alpha}$	167.117 $_{\alpha}$	31.7819 $_{\alpha}$	27.7783 $_{\alpha}$	7.54113 $_{\alpha}$
246 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	147 $_{\alpha}$	39.8415 $_{\alpha}$	48 $_{\alpha}$	3602.25 $_{\alpha}$	552.742 $_{\alpha}$	997.479 $_{\alpha}$	197.32 $_{\alpha}$	92.8578 $_{\alpha}$	167.571 $_{\alpha}$	33.1487 $_{\alpha}$	27.816 $_{\alpha}$	7.53649 $_{\alpha}$
247 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	148 $_{\alpha}$	39.6802 $_{\alpha}$	49 $_{\alpha}$	3616.9 $_{\alpha}$	554.239 $_{\alpha}$	996.131 $_{\alpha}$	204.795 $_{\alpha}$	93.4878 $_{\alpha}$	198.025 $_{\alpha}$	34.5443 $_{\alpha}$	27.8536 $_{\alpha}$	7.53737 $_{\alpha}$
248 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	149 $_{\alpha}$	39.5202 $_{\alpha}$	50 $_{\alpha}$	3631.54 $_{\alpha}$	555.734 $_{\alpha}$	994.79 $_{\alpha}$	212.379 $_{\alpha}$	94.1195 $_{\alpha}$	168.478 $_{\alpha}$	35.9687 $_{\alpha}$	27.8912 $_{\alpha}$	7.53187 $_{\alpha}$
249 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	150 $_{\alpha}$	39.3614 $_{\alpha}$	51 $_{\alpha}$	3646.18 $_{\alpha}$	557.227 $_{\alpha}$	993.457 $_{\alpha}$	220.072 $_{\alpha}$	94.7528 $_{\alpha}$	168.931 $_{\alpha}$	37.4218 $_{\alpha}$	27.9286 $_{\alpha}$	7.53183 $_{\alpha}$
250 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	151 $_{\alpha}$	39.204 $_{\alpha}$	52 $_{\alpha}$	3660.83 $_{\alpha}$	558.718 $_{\alpha}$	992.13 $_{\alpha}$	227.871 $_{\alpha}$	95.3879 $_{\alpha}$	169.383 $_{\alpha}$	38.9037 $_{\alpha}$	27.966 $_{\alpha}$	7.5255 $_{\alpha}$
251 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	152 $_{\alpha}$	39.0478 $_{\alpha}$	53 $_{\alpha}$	3675.47 $_{\alpha}$	560.206 $_{\alpha}$	990.811 $_{\alpha}$	235.777 $_{\alpha}$	96.0247 $_{\alpha}$	169.834 $_{\alpha}$	40.4144 $_{\alpha}$	28.0032 $_{\alpha}$	7.5246 $_{\alpha}$
252 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	153 $_{\alpha}$	38.8929 $_{\alpha}$	54 $_{\alpha}$	3690.11 $_{\alpha}$	561.693 $_{\alpha}$	989.499 $_{\alpha}$	243.787 $_{\alpha}$	96.6631 $_{\alpha}$	170.285 $_{\alpha}$	41.9539 $_{\alpha}$	28.0403 $_{\alpha}$	7.51748 $_{\alpha}$
253 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	154 $_{\alpha}$	38.7391 $_{\alpha}$	55 $_{\alpha}$	3704.75 $_{\alpha}$	563.178 $_{\alpha}$	988.193 $_{\alpha}$	251.9 $_{\alpha}$	97.3033 $_{\alpha}$	170.735 $_{\alpha}$	43.5221 $_{\alpha}$	28.0774 $_{\alpha}$	7.51574 $_{\alpha}$
254 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	155 $_{\alpha}$	38.5866 $_{\alpha}$	56 $_{\alpha}$	3719.4 $_{\alpha}$	564.661 $_{\alpha}$	986.895 $_{\alpha}$	260.115 $_{\alpha}$	97.9451 $_{\alpha}$	171.185 $_{\alpha}$	45.1191 $_{\alpha}$	28.1143 $_{\alpha}$	7.50789 $_{\alpha}$
255 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	156 $_{\alpha}$	38.4353 $_{\alpha}$	57 $_{\alpha}$	3734.04 $_{\alpha}$	566.143 $_{\alpha}$	985.603 $_{\alpha}$	268.431 $_{\alpha}$	98.5887 $_{\alpha}$	171.634 $_{\alpha}$	46.7449 $_{\alpha}$	28.1512 $_{\alpha}$	7.50535 $_{\alpha}$
256 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	157 $_{\alpha}$	38.2852 $_{\alpha}$	58 $_{\alpha}$	3748.68 $_{\alpha}$	567.622 $_{\alpha}$	984.318 $_{\alpha}$	276.847 $_{\alpha}$	99.2339 $_{\alpha}$	172.082 $_{\alpha}$	48.3994 $_{\alpha}$	28.1879 $_{\alpha}$	7.49679 $_{\alpha}$
257 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	158 $_{\alpha}$	38.1362 $_{\alpha}$	59 $_{\alpha}$	3763.33 $_{\alpha}$	569.099 $_{\alpha}$	983.039 $_{\alpha}$	285.361 $_{\alpha}$	99.8808 $_{\alpha}$	172.53 $_{\alpha}$	50.0828 $_{\alpha}$	28.2246 $_{\alpha}$	7.4935 $_{\alpha}$
258 $_{\alpha}$	99 $_{\alpha}$	159 $_{\alpha}$	37.9884 $_{\alpha}$	60 $_{\alpha}$	3777.97 $_{\alpha}$	570.574 $_{\alpha}$	981.768 $_{\alpha}$	293.972 $_{\alpha}$	100.529 $_{\alpha}$	172.977 $_{\alpha}$	51.7949 $_{\alpha}$	28.2611 $_{\alpha}$	7.48426 $_{\alpha}$

Tablo 4.3: $^{241-260}_{100}\text{Fm}_{141-160}$ için hesap sonuçları.

A_{α}	Z_{α}	N_{α}	Z^2/A_{α}	$A-2Z_{\alpha}$	E_h (MeV) $_{\alpha}$	E_{γ} (MeV) $_{\alpha}$	E_c (MeV) $_{\alpha}$	E_{asym} (MeV) $_{\alpha}$	E_{γ}/E_h (%) $_{\alpha}$	E_c/E_h (%) $_{\alpha}$	E_{asim}/E_h (%) $_{\alpha}$	E_c/E_{γ} (%) $_{\alpha}$	BE/A (MeV) $_{\alpha}$
241 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	141 $_{\alpha}$	41.4938 $_{\alpha}$	41 $_{\alpha}$	3529.04 $_{\alpha}$	545.227 $_{\alpha}$	1024.83 $_{\alpha}$	146.951 $_{\alpha}$	89.7336 $_{\alpha}$	168.666 $_{\alpha}$	24.1853 $_{\alpha}$	28.1901 $_{\alpha}$	7.5188 $_{\alpha}$
242 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	142 $_{\alpha}$	41.3223 $_{\alpha}$	42 $_{\alpha}$	3543.68 $_{\alpha}$	546.734 $_{\alpha}$	1023.41 $_{\alpha}$	153.57 $_{\alpha}$	90.355 $_{\alpha}$	169.133 $_{\alpha}$	25.3795 $_{\alpha}$	28.229 $_{\alpha}$	7.52357 $_{\alpha}$
243 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	143 $_{\alpha}$	41.1523 $_{\alpha}$	43 $_{\alpha}$	3558.32 $_{\alpha}$	548.239 $_{\alpha}$	1022.01 $_{\alpha}$	160.308 $_{\alpha}$	90.9782 $_{\alpha}$	169.598 $_{\alpha}$	26.6024 $_{\alpha}$	28.2678 $_{\alpha}$	7.52168 $_{\alpha}$
244 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	144 $_{\alpha}$	40.9836 $_{\alpha}$	44 $_{\alpha}$	3572.97 $_{\alpha}$	549.742 $_{\alpha}$	1020.61 $_{\alpha}$	167.162 $_{\alpha}$	91.603 $_{\alpha}$	170.063 $_{\alpha}$	27.8541 $_{\alpha}$	28.3065 $_{\alpha}$	7.52537 $_{\alpha}$
245 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	145 $_{\alpha}$	40.8163 $_{\alpha}$	45 $_{\alpha}$	3587.61 $_{\alpha}$	551.243 $_{\alpha}$	1019.22 $_{\alpha}$	174.133 $_{\alpha}$	92.2296 $_{\alpha}$	170.527 $_{\alpha}$	29.1346 $_{\alpha}$	28.3452 $_{\alpha}$	7.52251 $_{\alpha}$
246 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	146 $_{\alpha}$	40.6504 $_{\alpha}$	46 $_{\alpha}$	3602.25 $_{\alpha}$	552.742 $_{\alpha}$	1017.84 $_{\alpha}$	181.219 $_{\alpha}$	92.8578 $_{\alpha}$	170.991 $_{\alpha}$	30.4439 $_{\alpha}$	28.3837 $_{\alpha}$	7.52517 $_{\alpha}$
247 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	147 $_{\alpha}$	40.4858 $_{\alpha}$	47 $_{\alpha}$	3616.9 $_{\alpha}$	554.239 $_{\alpha}$	1016.46 $_{\alpha}$	188.418 $_{\alpha}$	93.4878 $_{\alpha}$	171.454 $_{\alpha}$	31.7819 $_{\alpha}$	28.4221 $_{\alpha}$	7.52137 $_{\alpha}$
248 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	148 $_{\alpha}$	40.3226 $_{\alpha}$	48 $_{\alpha}$	3631.54 $_{\alpha}$	555.734 $_{\alpha}$	1015.09 $_{\alpha}$	195.729 $_{\alpha}$	94.1195 $_{\alpha}$	171.917 $_{\alpha}$	33.1487 $_{\alpha}$	28.4604 $_{\alpha}$	7.52305 $_{\alpha}$
249 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	149 $_{\alpha}$	40.1606 $_{\alpha}$	49 $_{\alpha}$	3646.18 $_{\alpha}$	557.227 $_{\alpha}$	1013.73 $_{\alpha}$	203.15 $_{\alpha}$	94.7528 $_{\alpha}$	172.379 $_{\alpha}$	34.5443 $_{\alpha}$	28.4986 $_{\alpha}$	7.51837 $_{\alpha}$
250 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	150 $_{\alpha}$	40 $_{\alpha}$	50 $_{\alpha}$	3660.83 $_{\alpha}$	558.718 $_{\alpha}$	1012.38 $_{\alpha}$	210.68 $_{\alpha}$	95.3879 $_{\alpha}$	172.84 $_{\alpha}$	35.9687 $_{\alpha}$	28.5367 $_{\alpha}$	7.51912 $_{\alpha}$
251 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	151 $_{\alpha}$	39.8406 $_{\alpha}$	51 $_{\alpha}$	3675.47 $_{\alpha}$	560.206 $_{\alpha}$	1011.03 $_{\alpha}$	218.318 $_{\alpha}$	96.0247 $_{\alpha}$	173.3 $_{\alpha}$	37.4218 $_{\alpha}$	28.5747 $_{\alpha}$	7.51359 $_{\alpha}$
252 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	152 $_{\alpha}$	39.6825 $_{\alpha}$	52 $_{\alpha}$	3690.11 $_{\alpha}$	561.693 $_{\alpha}$	1009.69 $_{\alpha}$	226.063 $_{\alpha}$	96.6631 $_{\alpha}$	173.76 $_{\alpha}$	38.9037 $_{\alpha}$	28.6126 $_{\alpha}$	7.51345 $_{\alpha}$
253 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	153 $_{\alpha}$	39.5257 $_{\alpha}$	53 $_{\alpha}$	3704.75 $_{\alpha}$	563.178 $_{\alpha}$	1008.36 $_{\alpha}$	233.913 $_{\alpha}$	97.3033 $_{\alpha}$	174.22 $_{\alpha}$	40.4144 $_{\alpha}$	28.6504 $_{\alpha}$	7.50713 $_{\alpha}$
254 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	154 $_{\alpha}$	39.3701 $_{\alpha}$	54 $_{\alpha}$	3719.4 $_{\alpha}$	564.661 $_{\alpha}$	1007.04 $_{\alpha}$	241.867 $_{\alpha}$	97.9451 $_{\alpha}$	174.678 $_{\alpha}$	41.9539 $_{\alpha}$	28.6881 $_{\alpha}$	7.50614 $_{\alpha}$
255 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	155 $_{\alpha}$	39.2157 $_{\alpha}$	55 $_{\alpha}$	3734.04 $_{\alpha}$	566.143 $_{\alpha}$	1005.72 $_{\alpha}$	249.924 $_{\alpha}$	98.5887 $_{\alpha}$	175.137 $_{\alpha}$	43.5221 $_{\alpha}$	28.7257 $_{\alpha}$	7.49905 $_{\alpha}$
256 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	156 $_{\alpha}$	39.0625 $_{\alpha}$	56 $_{\alpha}$	3748.68 $_{\alpha}$	567.622 $_{\alpha}$	1004.41 $_{\alpha}$	258.083 $_{\alpha}$	99.2339 $_{\alpha}$	175.594 $_{\alpha}$	45.1191 $_{\alpha}$	28.7632 $_{\alpha}$	7.49725 $_{\alpha}$
257 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	157 $_{\alpha}$	38.9105 $_{\alpha}$	57 $_{\alpha}$	3763.33 $_{\alpha}$	569.099 $_{\alpha}$	1003.1 $_{\alpha}$	266.342 $_{\alpha}$	99.8808 $_{\alpha}$	176.051 $_{\alpha}$	46.7449 $_{\alpha}$	28.8006 $_{\alpha}$	7.48944 $_{\alpha}$
258 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	158 $_{\alpha}$	38.7597 $_{\alpha}$	58 $_{\alpha}$	3777.97 $_{\alpha}$	570.574 $_{\alpha}$	1001.8 $_{\alpha}$	274.701 $_{\alpha}$	100.529 $_{\alpha}$	176.508 $_{\alpha}$	48.3994 $_{\alpha}$	28.8379 $_{\alpha}$	7.48687 $_{\alpha}$
259 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	159 $_{\alpha}$	38.61 $_{\alpha}$	59 $_{\alpha}$	3792.61 $_{\alpha}$	572.048 $_{\alpha}$	1000.51 $_{\alpha}$	283.157 $_{\alpha}$	101.18 $_{\alpha}$	176.963 $_{\alpha}$	50.0828 $_{\alpha}$	28.8751 $_{\alpha}$	7.47837 $_{\alpha}$
260 $_{\alpha}$	100 $_{\alpha}$	160 $_{\alpha}$	38.4615 $_{\alpha}$	60 $_{\alpha}$	3807.26 $_{\alpha}$	573.519 $_{\alpha}$	999.228 $_{\alpha}$	291.711 $_{\alpha}$	101.832 $_{\alpha}$	177.419 $_{\alpha}$	51.7949 $_{\alpha}$	28.9122 $_{\alpha}$	7.47506 $_{\alpha}$

Tablo 4.4: $^{244-262}_{101}\text{Md}_{143-161}$ için hesap sonuçları.

A^{\square}	Z^{\square}	N^{\square}	Z^{\square}/A^{\square}	$A-2Z^{\square}$	E_h (MeV) $^{\square}$	E_y (MeV) $^{\square}$	E_c (MeV) $^{\square}$	E_{asym} (MeV) $^{\square}$	E_y/E_h (%) $^{\square}$	E_c/E_h (%) $^{\square}$	E_{asim}/E_h (%) $^{\square}$	E_c/E_y (%) $^{\square}$	BE/A (MeV) $^{\square}$
244	101	143	41.8074	42	3572.97	549.742	1041.23	152.311	91.6030	173.499	25.3795	28.8784	7.49568
245	101	144	41.6367	43	3587.61	551.243	1039.81	158.999	92.2296	173.972	26.6024	28.9178	7.50024
246	101	145	41.4675	44	3602.25	552.742	1038.40	165.803	92.8578	174.446	27.8541	28.9571	7.49826
247	101	146	41.2996	45	3616.90	554.239	1036.99	172.723	93.4878	174.918	29.1346	28.9963	7.50177
248	101	147	41.1331	46	3631.54	555.734	1035.60	179.758	94.1195	175.390	30.4439	29.0353	7.49885
249	101	148	40.9679	47	3646.18	557.227	1034.21	186.904	94.7528	175.861	31.7819	29.0743	7.50137
250	101	149	40.8040	48	3660.83	558.718	1032.83	194.163	95.3879	176.331	33.1487	29.1132	7.49754
251	101	150	40.6414	49	3675.47	560.206	1031.46	201.531	96.0247	176.801	34.5443	29.152	7.4991
252	101	151	40.4802	50	3690.11	561.693	1030.09	209.008	96.6631	177.271	35.9687	29.1906	7.49442
253	101	152	40.3202	51	3704.75	563.178	1028.73	216.592	97.3033	177.739	37.4218	29.2292	7.49507
254	101	153	40.1614	52	3719.40	564.661	1027.38	224.283	97.9451	178.207	38.9037	29.2676	7.48957
255	101	154	40.0039	53	3734.04	566.143	1026.03	232.078	98.5887	178.675	40.4144	29.306	7.48936
256	101	155	39.8477	54	3748.68	567.622	1024.70	239.978	99.2339	179.142	41.9539	29.3443	7.48308
257	101	156	39.6926	55	3763.33	569.099	1023.37	247.979	99.8808	179.608	43.5221	29.3824	7.48204
258	101	157	39.5388	56	3777.97	570.574	1022.04	256.082	100.529	180.073	45.1191	29.4205	7.47502
259	101	158	39.3816	57	3792.61	572.048	1020.73	264.285	101.180	180.538	46.449	29.4584	7.47319
260	101	159	39.2346	58	3807.26	573.519	1019.41	272.588	101.832	181.003	48.3994	29.4963	7.46546
261	101	160	39.0843	59	3821.90	574.989	1018.11	280.987	102.485	181.467	50.0828	29.5341	7.46289
262	101	161	38.9351	60	3836.54	576.456	1016.81	289.484	103.140	181.93	51.7949	29.5717	7.45449

Tablo 4.5: $^{248-264}_{102}\text{No}_{146-162}$ için hesap sonuçları.

A^{\square}	Z^{\square}	N^{\square}	Z^{\square}/A^{\square}	$A-2Z^{\square}$	E_h (MeV) $^{\square}$	E_y (MeV) $^{\square}$	E_c (MeV) $^{\square}$	E_{asym} (MeV) $^{\square}$	E_y/E_h (%) $^{\square}$	E_c/E_h (%) $^{\square}$	E_{asim}/E_h (%) $^{\square}$	E_c/E_y (%) $^{\square}$	BE/A (MeV) $^{\square}$
248	102	146	41.9516	44	3631.54	555.734	1056.31	164.466	94.1195	178.898	27.8541	29.6161	7.4829
249	102	147	41.7831	45	3646.18	557.227	1054.89	171.336	94.7528	179.378	29.1346	29.6558	7.48082
250	102	148	41.616	46	3660.83	558.718	1053.49	178.32	95.3879	179.858	30.4439	29.6955	7.48413
251	102	149	41.4502	47	3675.47	560.206	1052.09	185.415	96.0247	180.337	31.7819	29.735	7.48112
252	102	150	41.2857	58	3690.11	561.693	1050.69	192.622	96.6631	180.816	33.1487	29.7744	7.48346
253	102	151	41.1225	59	3704.75	563.178	1049.31	199.938	97.3033	181.294	34.5443	29.8138	7.47958
254	102	152	41.9606	50	3719.4	564.661	1047.93	207.362	97.9451	181.771	35.9687	29.853	7.48099
255	102	153	41.8	51	3734.04	566.143	1046.56	214.894	98.5887	182.248	37.4218	29.8921	7.47627
256	102	154	41.6406	52	3748.68	567.622	1045.19	222.531	99.2339	182.724	38.9037	29.9311	7.47681
257	102	155	41.4825	53	3763.33	569.099	1043.83	230.272	99.8808	183.2	40.4144	29.9701	7.4713
258	102	156	40.3256	54	3777.97	570.574	1042.48	238.117	100.529	183.675	41.9539	30.0089	7.47099
259	102	157	40.1699	55	3792.61	572.048	1041.14	246.064	101.18	184.149	43.5221	30.0476	7.46472
260	102	158	40.0154	56	3807.26	573.519	1039.8	254.112	101.832	184.623	45.1191	30.0862	7.46361
261	102	159	39.8621	57	3821.9	574.989	1038.474	262.26	102.485	185.096	46.7449	30.1248	7.45662
262	102	160	39.7099	58	3836.54	576.456	1037.15	270.507	103.14	185.568	48.3994	30.1632	7.45475
263	102	161	39.5589	59	3851.19	577.922	1035.83	278.851	103.797	186.04	50.0828	30.2015	7.44707
264	102	162	39.4091	60	3865.83	579.386	1034.52	287.291	104.456	186.512	51.7949	30.2397	7.44447

Tablo 4.6: $^{251-266}_{103}\text{Lr}_{148-163}$ için hesap sonuçları.

A	Z	N	Z ² /A	A-2Z	E _h (MeV)	E _γ (MeV)	E _c (MeV)	E _{asym} (MeV)	E _γ /E _h (%)	E _c /E _h (%)	E _{asim} / E _h (%)	E _c /E _γ (%)	BE/A (MeV)
251	103	148	42.2669	45	3675.47	560.206	1072.92	169.971	96.0247	183.908	29.1346	30.3238	7.45965
252	103	149	42.0992	46	3690.11	561.693	1071.5	176.904	96.6631	184.397	30.4439	30.364	7.4575
253	103	150	41.9328	47	3704.75	563.178	1070.08	183.949	97.3033	184.884	31.7819	30.4041	7.46064
254	103	151	41.7677	48	3719.4	564.661	1068.68	191.105	97.9451	185.371	33.1487	30.4441	7.4576
255	103	152	41.6039	49	3734.04	566.143	1067.28	198.37	98.5887	185.857	34.5443	30.484	7.4598
256	103	153	41.4414	50	3748.68	567.622	1065.89	205.742	99.2339	186.343	35.9687	30.5238	7.45591
257	103	154	41.2808	51	3763.33	569.099	1064.5	213.221	99.8808	186.828	37.4218	30.5635	7.45722
258	103	155	41.1202	52	3777.97	570.574	1063.13	220.806	100.529	187.312	38.9037	30.6031	7.45251
259	103	156	40.9614	53	3792.61	572.048	1061.76	228.494	101.18	187.796	40.4144	30.6426	7.45296
260	103	157	40.8038	54	3807.26	573.519	1060.39	236.286	101.832	188.279	41.9539	30.682	7.44748
261	103	158	40.6475	55	3821.9	574.989	1059.04	244.179	102.485	188.761	43.5221	30.7213	7.44711
262	103	159	40.4924	56	3836.54	576.456	1057.69	252.173	103.14	189.243	45.1191	30.7605	7.44089
263	103	160	40.3384	57	3851.19	577.922	1056.35	260.266	103.797	189.724	46.7449	30.7996	7.43975
264	103	161	40.1856	58	3865.83	579.386	1055.01	268.457	104.456	190.205	48.3994	30.8385	7.43283
265	103	162	40.034	59	3880.47	580.849	1053.68	276.746	105.116	190.685	50.0828	30.8774	7.43094
266	103	163	39.8835	60	3895.12	582.309	1052.36	285.131	105.778	191.164	51.7949	30.9162	7.42335

Tablo 4.7: $^{253-268}_{104}\text{Rf}_{149-164}$ için hesap sonuçları.

A	Z	N	Z ² /A	A-2Z	E _h (MeV)	E _γ (MeV)	E _c (MeV)	E _{asym} (MeV)	E _γ /E _h (%)	E _c /E _h (%)	E _{asim} / E _h (%)	E _c /E _γ (%)	BE/A (MeV)
253	104	149	42.751	45	3704.75	563.178	1091.07	176.205	97.3033	188.509	30.4430	31.0003	7.43827
254	104	150	42.5827	46	3719.4	564.661	1089.63	183.225	97.9451	189.006	31.7819	31.0411	7.44219
255	104	151	42.4157	47	3734.04	566.143	1088.21	190.356	98.5887	189.501	33.1487	31.0818	7.43995
256	104	152	42.25	48	3748.68	567.622	1086.79	197.595	99.2339	189.997	34.5443	31.1223	7.44291
257	104	153	42.0856	49	3763.33	569.099	1085.38	204.942	99.8808	190.491	35.9687	31.1628	7.43979
258	104	154	41.9225	50	3777.97	570.574	1083.97	212.395	100.529	190.985	37.4218	31.2032	7.44185
259	104	155	41.7606	51	3792.61	572.048	1082.58	219.953	101.18	191.478	38.9037	31.2434	7.4379
260	104	156	41.6	52	3807.26	573.519	1081.19	227.615	101.832	191.971	40.4144	31.2836	7.43908
261	104	157	41.4406	53	3821.9	574.989	1079.8	235.38	102.485	192.462	41.9539	31.3237	7.43435
262	104	158	41.2824	54	3836.54	576.456	1078.43	243.247	103.14	192.954	43.5221	31.3636	7.4347
263	104	159	41.1255	55	3851.19	577.922	1077.06	251.214	103.797	193.444	45.1191	31.4035	7.42922
264	104	160	40.9697	56	3865.83	579.386	1075.7	259.28	104.456	193.934	46.7449	31.4432	7.42877
265	104	161	40.8151	57	3880.47	580.849	1074.34	276.444	105.116	194.424	48.3994	31.4829	7.42257
266	104	162	40.6617	58	3895.12	582.309	1072.99	275.706	105.778	194.913	50.0828	31.5224	7.42137
267	104	163	40.5094	59	3909.76	583.767	1071.65	284.063	106.422	195.401	51.7949	31.5619	7.41449
268	104	164	40.3582	60	3924.4	585.224	1070.32	292.515	107.107	195.888	53.5358	31.6012	7.41255

4.2 SİMETRİK FİSYON YAPAN ÇEKİRDEKLER

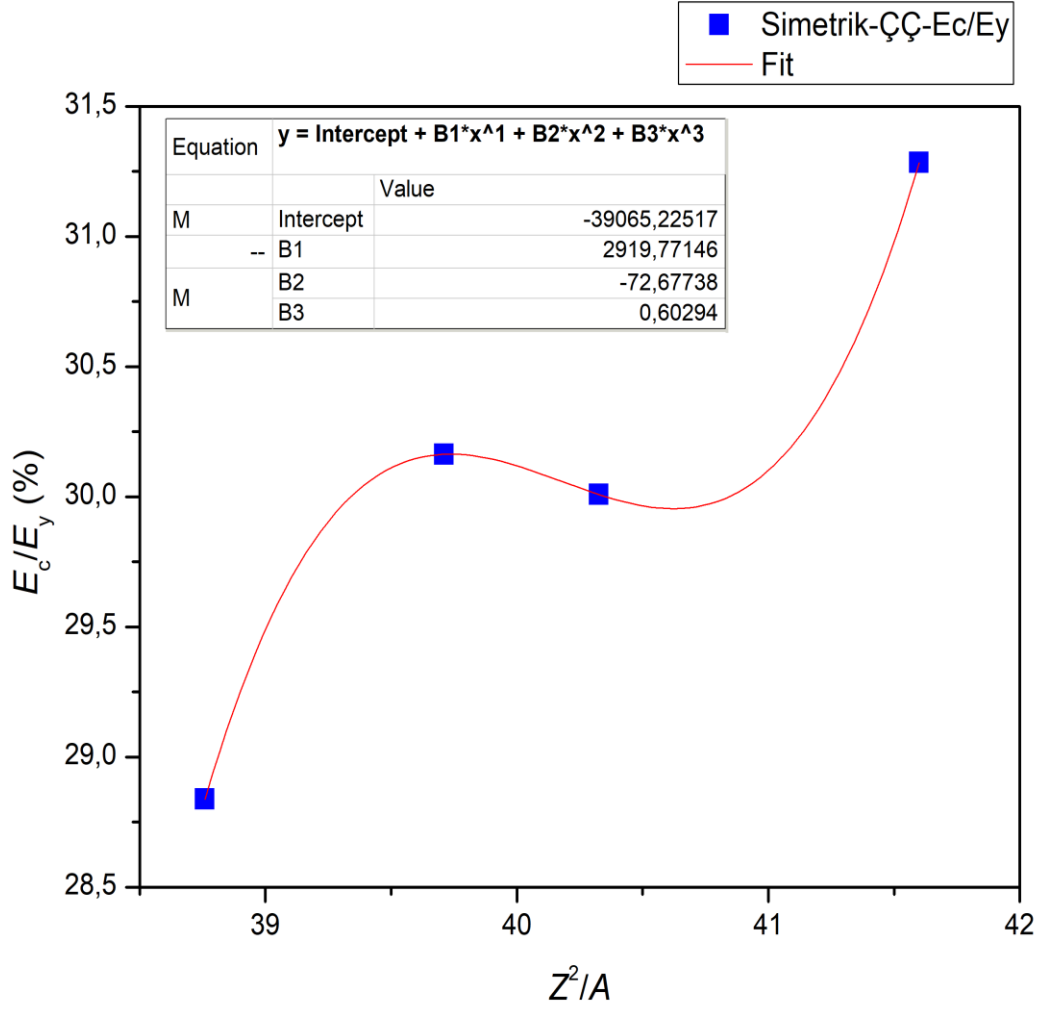
Bu çalışma için seçilen ve kendiliğinden fisyon yapan 7 farklı çekirdek için deneysel olarak ölçülen fisyon ürünlerinin kütle dağılımları incelenerek [12,13], simetrik fisyon yapanlara ilişkin bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti Tablo 4.8’de görülmektedir.

Çalışmamızın sistematüğini oluşturabilmek için deneysel veri grubundan seçilen ve kütle dağılımı çok iyi bilinen çekirdek ve izotopları için Mathematica ile hesapladığımız terimlerden oluşan bu veri seti ayrıca ÇÇ ve A-tek olan çekirdek grupları olarak iki farklı veri seti içinde değerlendirilmiştir.

Tablo 4.8: Simetrik fisyon için veri seti.

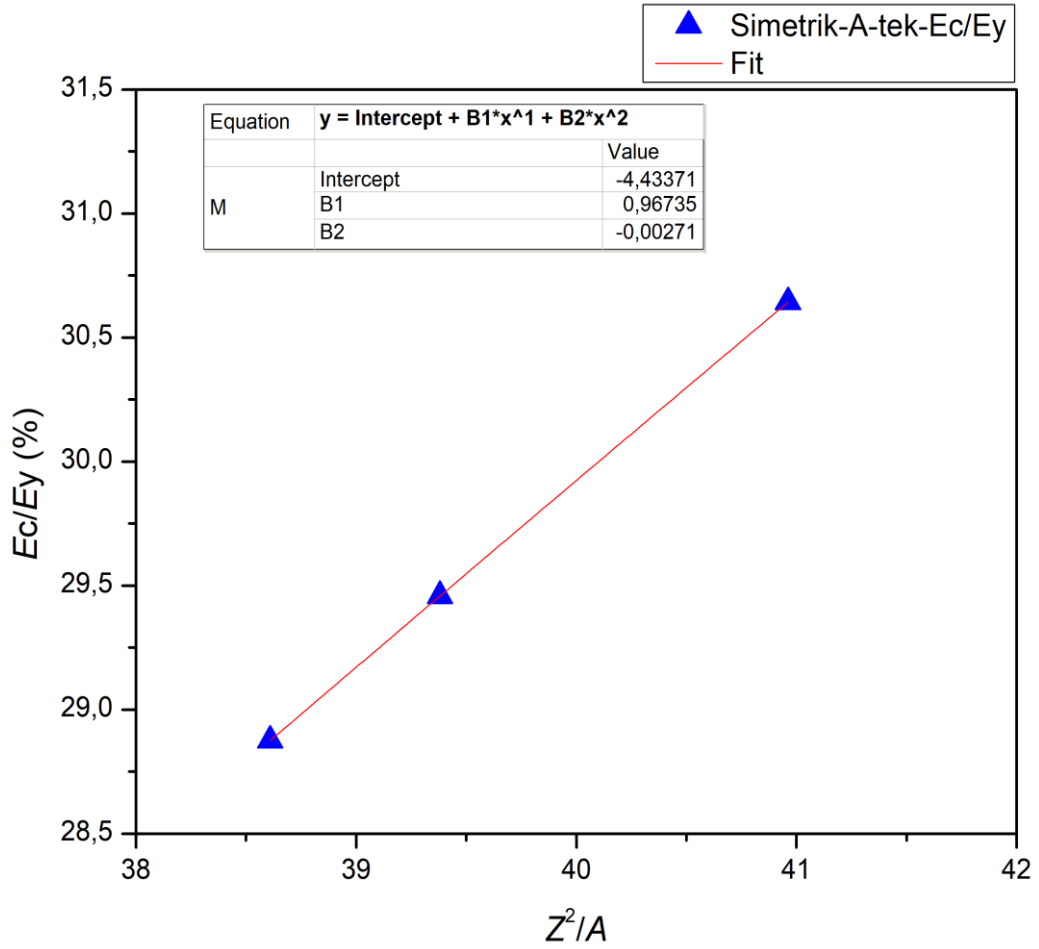
A	Z	N	Z^2/A	A-2Z	E_h (MeV)	E_y (MeV)	E_c (MeV)	E_{asym} (MeV)	E_y/E_h (%)	E_c / E_h (%)	E_{asim}/E_h (%)	E_c/E_y (%)	BE/A (MeV)
259	100	159	38.61	59	3792.61	572.048	1000.51	283.157	101.180	176.963	50.0828	28.8751	7.47837
258	100	158	38.7597	58	3777.97	570.574	1001.8	274.701	100.529	176.508	48.3994	28.8379	7.48687
260	101	159	39.2346	58	3807.26	573.519	1019.41	272.588	101.832	181.003	48.3994	29.4963	7.46546
259	101	158	39.3816	57	3792.61	572.048	1020.73	264.285	101.180	180.538	46.4490	29.4584	7.47319
262	102	160	39.7099	58	3836.54	576.456	1037.15	270.507	103.140	185.568	48.3994	30.1632	7.45475
258	102	156	40.3256	54	3777.97	570.574	1042.48	238.117	100.529	183.675	41.9539	30.0089	7.47099
259	103	156	40.9614	53	3792.61	572.048	1061.76	228.494	101.180	187.796	40.4144	30.6426	7.45296
260	104	156	41.6	52	3807.26	573.519	1081.19	227.615	101.832	191.971	40.4144	31.2836	7.43908

Simetrik dağılım gösteren bu izotop grubu içindeki ÇÇ ve A-tek olan çekirdekler üzerindeki kabuk etkilerini inceleyebilmek için kendiliğinden simetrik fisyon için koşul sağlayan Z^2/A değerlerinin, fisyon olayının meydana gelmesi için birbiriyle mücadele eden yarı ampirik bağlanma enerjisi formülündeki Coulomb ve yüzey terimlerinin oranlarıyla arasındaki ilişki kurulmuştur. Daha sonra simetrik fisyon yapan grup üzerindeki sonuçlarımız fit edilerek kendiliğinden fisyon olayını karakterize eden iki önemli terim için bir sistematik oluşturulmuştur. ÇÇ ve A-tek olan çekirdekler için yapılan bu çalışmaların sonuçları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.1: Seçilen simetrik fisyon veri seti üzerinde, ÇÇ-çekirdekler için kendiliğinden fisyonu karakterize eden iki önemli fisyon parametresinin değişimi.

ÇÇ-çekirdeklerde nükleonlar birbirleriyle nükleer spinleri sıfır olacak şekilde çiftlenirler. Bu, çekirdeğin içinde kabuk yapılarının oluşmasını sağlar. ÇÇ-çekirdekler için kendiliğinden fisyon olayını karakterize eden iki önemli fisyon parametresinin simetrik fisyon için değişimi incelendiğinde ani düşüş ve sıçramalar görülmektedir. Bu davranış, nükleonların çiftlenim etkisinin fisyon parametreleri üzerindeki etkili olduğunu açıkça göstermektedir. Tam bir kabuk yapısı belirgin olmamakla birlikte, ÇÇ çekirdeklerin simetrik fisyonu sistematik bir davranış sergilemektedir.



Şekil 4.2: Seçilen simetrik fisyon veri seti üzerinde, A-tek çekirdekler için kendiliğinden fisyonu karakterize eden iki önemli fisyon parametresinin değişimi.

A-tek çekirdeklerde çiftlenmemiş en az bir cins nükleon vardır ve çekirdeğin davranışını bu valans nükleonu belirler. A-tek çekirdekler için kendiliğinden fisyon olayını karakterize eden iki önemli fisyon parametresinin simetrik fisyon için değişimi incelendiğinde, kabuk etkilerinin gözlemlendiği ÇÇ-çekirdeklerde görünen ani düşüş ve sıçramaların aksine düzenli bir artış sergilediği Şekil 4.2’de açıkça görülmektedir.

4.3 ASİMETRİK FİSYON YAPAN ÇEKİRDEKLER

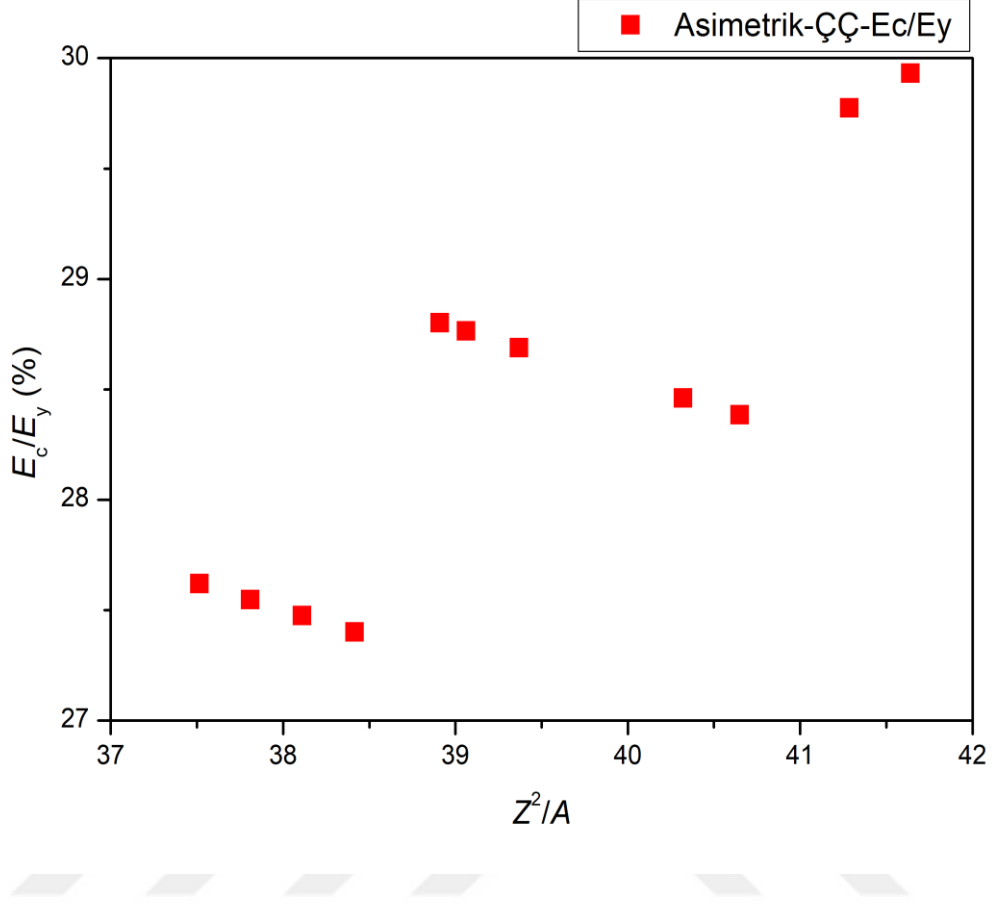
Bu çalışma için seçilen ve kendiliğinden fisyon yapan 7 farklı çekirdek için deneysel olarak ölçülen fisyon ürünlerinin kütle dağılımları incelenerek [12,13], asimetrik fisyon yapanlara ilişkin bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti Tablo 4.9’da görülmektedir.

Çalışmamızın sistematüğını oluşturabilmek için deneysel veri grubundan seçilen ve kütle dağılımı çok iyi bilinen çekirdek ve izotopları için Mathematica ile hesapladığımız terimlerden oluşan bu veri seti ayrıca ÇÇ ve A-tek olan çekirdek grupları olarak iki farklı veri seti içinde değerlendirilmiştir.

Tablo 4.9: Asimetrik fisyon için veri seti.

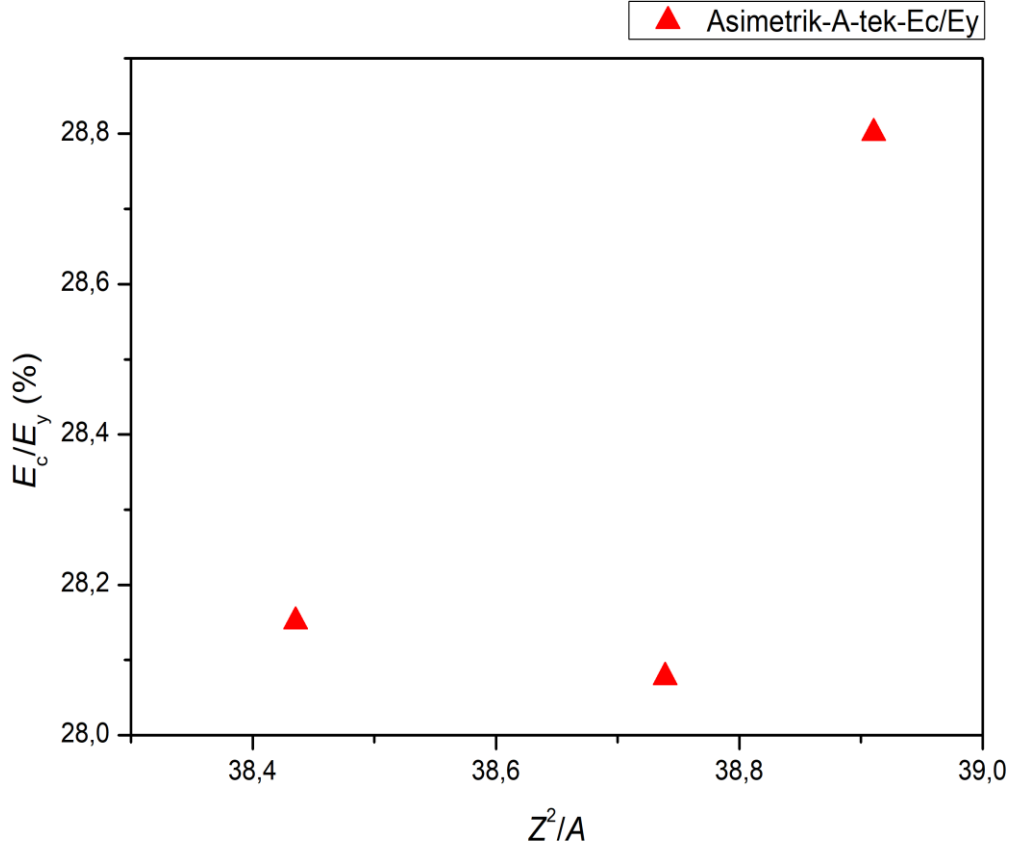
A	Z	N	Z ² /A	A-2Z	E _h (MeV)	E _y (MeV)	E _c (MeV)	E _{asym} (MeV)	E _y / E _h (%)	E _c / E _h (%)	E _{asim} /E _h (%)	E _c / E _y (%)	BE/A (MeV)
256	98	158	37.5156	60	3748.68	567.622	964.433	296.269	99.2339	168.606	51.7949	27.6185	7.50423
254	98	156	37.811	58	3719.4	564.661	966.957	279.027	97.9451	167.727	48.3994	27.5464	7.51763
252	98	154	38.1111	56	3690.11	516.693	969.509	262.18	96.6631	166.845	45.1191	27.4739	7.52959
250	98	152	38.416	54	3660.83	558.718	972.087	245.737	95.3879	165.961	41.9539	27.401	7.54005
255	99	156	38.4353	57	3734.04	566.143	985.603	268.431	98.5887	171.634	46.7449	28.1512	7.50535
253	99	154	38.7391	55	3704.75	563.178	988.193	251.900	97.3033	170.735	43.5221	28.0774	7.51574
257	100	157	38.9105	57	3763.33	569.099	1003.10	266.342	99.8808	176.051	46.7449	28.8006	7.48944
256	100	156	39.0625	56	3748.68	567.622	1004.41	258.083	99.2339	175.594	45.1191	28.7632	7.49725
254	100	154	39.3701	54	3719.4	564.661	1007.04	241.867	97.9451	174.678	41.9539	28.6881	7.50614
248	100	148	40.3226	48	3631.54	555.734	1015.09	195.729	94.1195	171.917	33.1487	28.4604	7.52305
246	100	146	40.6504	46	3602.25	552.742	1017.84	181.219	92.8578	170.991	30.4439	28.3837	7.52517
252	102	150	41.2857	58	3690.11	561.693	1050.69	192.622	96.6631	180.816	33.1487	29.7744	7.48346
256	102	154	41.6406	52	3748.68	567.622	1045.19	222.531	99.2339	182.724	38.9037	29.9311	7.47681

Asimetrik dağılım gösteren bu izotop grubu içinde yer alan ÇÇ ve A-tek olan çekirdekler için kendiliğinden asimetrik fisyon için koşul sağlayan Z²/A değerleri ile fisyon olayının meydana gelmesi için birbiriyle mücadele eden yarı ampirik bağlanma enerjisi formülündeki Coulomb ve yüzey terimlerinin oranlarıyla arasındaki ilişki kurulmuştur. Daha sonra asimetrik fisyon yapan grup üzerindeki sonuçlarımız fit edilerek kendiliğinden fisyon olayını karakterize eden iki önemli terim için bir sistematik oluşturulmuştur. ÇÇ ve A-tek olan çekirdekler için yapılan bu çalışmaların sonuçları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.3: Seçilen asimetrik fasyon veri seti üzerinde, ÇÇ-çekirdekler için kendiliğinden fasyonu karakterize eden iki önemli fasyon parametresinin değişimi.

ÇÇ-çekirdeklerde nükleonlar birbirleriyle nükleer spinleri sıfır olacak şekilde çiftlenirler. Bu, çekirdek içinde kabuk yapılarının oluşmasını sağlar. ÇÇ-çekirdekler için kendiliğinden fasyon olayını karakterize eden iki önemli fasyon parametresinin değişimi asimetrik fasyon için incelendiğinde, bu kabuk yapılarının fasyon parametreleri üzerindeki etkileri oldukça belirgin bir biçimde ani düşüş ve sıçramalar şeklinde Şekil 4.3’de açıkça görülmektedir. Z^2/A ’nın belirli değerlerinde ani sıçramalar görülmektedir. Bu da bize kabuk yapısının bu değerlerdeki etkilerini göstermektedir. Simetrik fasyona göre kabuk yapısı daha belirgindir. Ancak asimetrik fasyonda kabuk yapısının etkisinin, simetrik fasyondaki gibi belirli bir matematiksel fonksiyona uyumlanması zordur. Bu nedenle sistematik oluşturmak oldukça zordur. Ayrıca Z^2/A ’nın 41 değerinin üzerinde olduğu durumlarda asimetrik fasyona uğrayan çekirdeğin davranış karakteri değişmektedir. Ayrıca asimetrik fasyon veri setinin simetrik fasyona göre daha fazla olması da kabuk etkilerinin daha belirgin olarak görülmesini sağlamıştır.



Şekil 4.4: Seçilen asimetric fisyon veri seti üzerinde, A-tek çekirdekler için kendiliğinden fisyonu karakterize eden iki önemli fisyon parametresinin değişimi.

A-tek çekirdeklerde çiftlenmemiş en az bir cins nükleon vardır ve çekirdeğin davranışını bu valans nükleonu belirler. A-tek çekirdekler için kendiliğinden fisyon olayını karakterize eden iki önemli fisyon parametresinin asimetric fisyon için değişimi incelendiğinde simetric fisyon için görünen düzenli davranışın olmadığı Şekil 4.4'de açıkça görülmektedir. Deneysel çalışmalar, A-tek olan çekirdeklerin, ÇÇ-çekirdeklere göre daha az asimetric fisyon yapmayı tercih ettiklerini de göstermektedir.

4.4 FİSYON ÜRÜNLERİ KÜTLE DAĞILIMI DENEYSEL OLARAK ÖLÇÜLMEMİŞ VERİ SETİ

Bu çalışmada, sıvı damlası modelinin öngördüğü hesaplama sonuçları, simetric fisyona uğrayan ÇÇ ve A-tek çekirdekler için deneysel olarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı. Simetric fisyona uğrayan ÇÇ ve A-tek çekirdeklerin veri seti fit edildi.

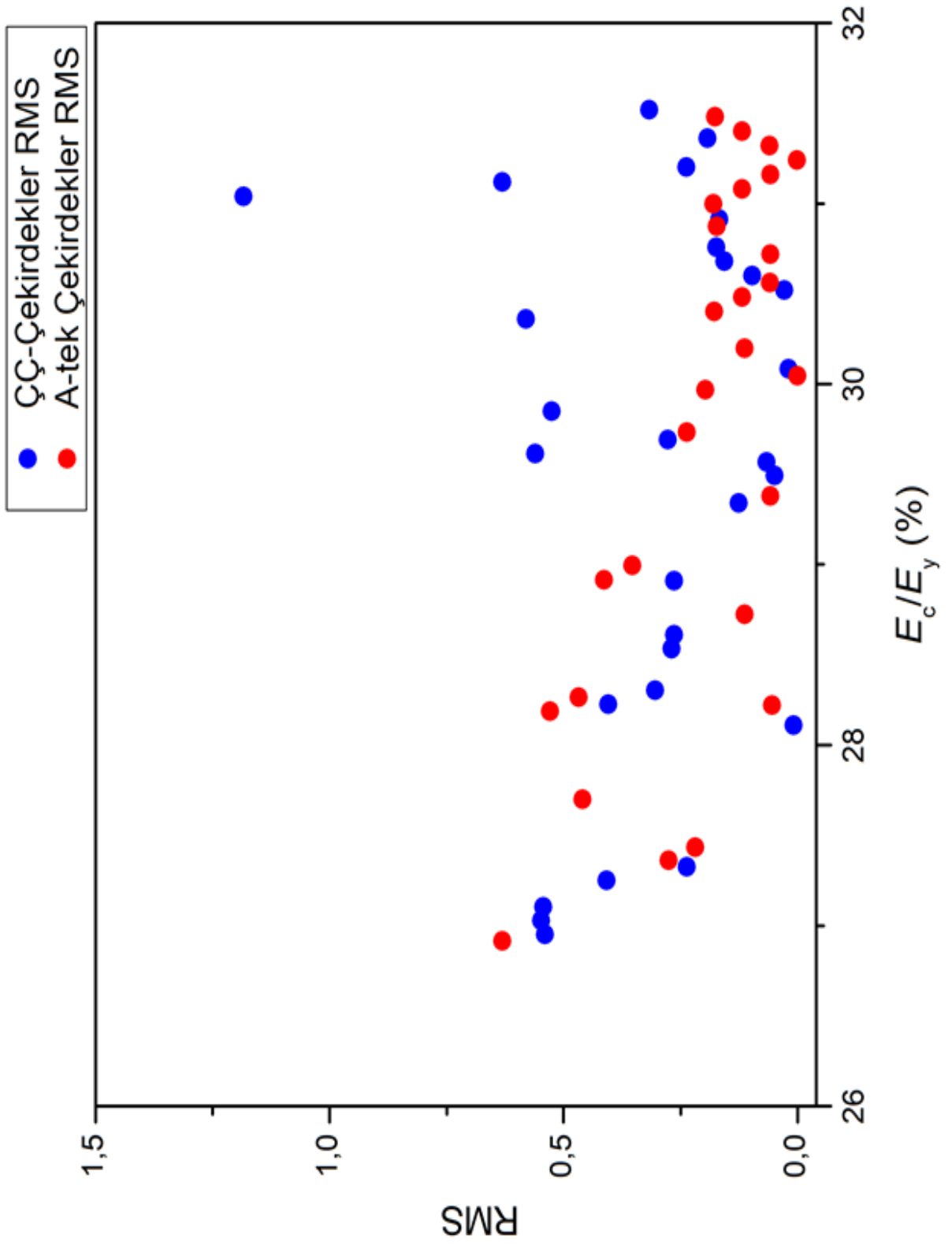
Çalışmamız için seçilen ve Tablo 3.15 ve Tablo 3.16’da verilen veri seti üzerindeki izotoplar, ÇÇ ve A-tek çekirdekler için gruplandırılarak simetrik fisyon yapıp yapamayacakları incelendi. Sonuçlar Tablo 4.10 ve Tablo 4.11 ile Şekil 4.5’de verilmektedir.

Tablo 4.10: ÇÇ-çekirdekler için fit ve RMS değeri sonuçları.

A	Z	N	Z ² /A	E _c /E _y (%)	Fit Sonuçları	RMS
238	98	140	40.3529	26.9554	29.86298717	0.539925383
240	98	142	40.0167	27.0307	29.98001639	0.547674304
242	98	144	39.6860	27.1055	30.03094036	0.543240638
242	100	142	41.3223	28.2290	30.40584671	0.404230285
244	100	144	40.9836	28.3065	29.94306193	0.303901922
246	98	148	39.0407	27.2541	29.44870402	0.407527736
248	98	150	38.7258	27.3277	28.60200364	0.236632245
248	102	146	41.9516	29.6161	32.63170286	0.559983393
250	100	150	40.0000	28.5367	29.98523000	0.268985268
250	102	148	41.6160	29.6955	31.18606344	0.276790682
252	100	152	39.6825	28.6126	30.03066607	0.263328258
252	103	149	42.0992	30.3640	33.48804239	0.580120108
254	99	155	38.5866	28.1143	28.06821531	0.008557713
254	102	152	41.9606	29.8530	32.67980235	0.524924018
254	104	150	42.5827	31.0411	37.41457731	1.183525025
256	101	155	39.8477	29.3443	30.02231826	0.125904831
256	103	153	41.4414	30.5238	30.67407363	0.027905113
256	104	152	42.2500	31.1223	34.51929219	0.630805613
258	103	155	41.1202	30.6031	30.08163840	0.096832988
258	104	154	41.9225	31.2032	32.47972173	0.237044135
260	100	160	38.4615	28.9122	27.49351447	0.263443290
260	101	159	39.2346	29.4963	29.75965270	0.048903368
260	102	158	40.0154	30.0862	29.98042835	0.019641303
260	103	157	40.8038	30.6820	29.84192755	0.155997537
262	101	161	38.9351	29.5717	29.21589678	0.066070999
262	103	159	40.4924	30.7605	29.82737852	0.173276309
262	104	158	41.2824	31.3636	30.32940492	0.192045204
266	103	163	39.8835	30.9162	30.01562988	0.167231673
266	104	162	40.6617	31.5224	29.81469722	0.317112446

Tablo 4.11: A-tek çekirdekler için fit ve RMS değeri sonuçları.

A	Z	N	Z ² /A	E _c /E _y (%)	Fit Sonuçları	RMS
237	98	139	40.5232	26.9176	30.31623593	0.631110848
241	100	141	41.4938	28.1901	31.03941439	0.529104400
243	99	144	40.3333	27.7025	30.17414726	0.458973375
243	100	143	41.1523	28.2678	30.78555044	0.467534519
245	101	144	41.6367	28.9178	31.14545567	0.413665273
247	101	146	41.2996	28.9963	30.89512770	0.352603452
249	98	151	38.5703	27.3644	28.84568931	0.275068520
251	98	153	38.2629	27.4375	28.61233213	0.218160849
251	102	149	41.4502	29.7350	31.00703826	0.236211575
253	103	150	41.9328	30.4041	31.36482925	0.178402943
253	104	149	42.751	31.0003	31.96854377	0.179798354
255	100	155	39.2157	28.7257	29.33396664	0.112952280
255	103	152	41.6039	30.4840	31.12112568	0.118311269
255	104	151	42.4157	31.0818	31.72157914	0.118804004
257	99	158	38.1362	28.2246	28.51600105	0.054111816
257	101	156	39.6926	29.3824	29.69331485	0.057735438
257	102	155	41.4825	29.9701	31.03102432	0.197008700
257	103	154	41.2808	30.5635	30.88114882	0.058985906
257	104	153	42.0856	31.1628	31.47784932	0.058503190
259	102	157	40.1699	30.0476	30.05173022	0.000766962
259	104	155	41.7606	31.2434	31.23730811	0.001131236
261	103	158	40.6475	30.7213	30.40913494	0.057967596
261	104	157	41.4406	31.3237	30.99990819	0.060126630
263	102	161	39.5589	30.2015	29.59269511	0.113052229
263	104	159	41.1255	31.4035	30.76560113	0.118454846
265	103	162	40.034	30.8774	29.94980557	0.172249962
265	104	161	40.8151	31.4829	30.53426281	0.176157503



Şekil 4.5: RMS sonuçlarının Coloumb/Yüzey terimleriyle değişimi. |

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

[Bu çalışmada, kendiliğinden fisyon yapan $_{98}\text{Cf}$, $_{99}\text{Es}$, $_{100}\text{Fm}$, $_{101}\text{Md}$, $_{102}\text{No}$, $_{103}\text{Lr}$ ve $_{104}\text{Rf}$ olmak üzere toplamda 7 farklı çekirdek için 128 izotop grubu seçilmiştir. Seçilen bu çekirdeklerin tüm izotoplar için bütün bozunum modları nükleer veri tabanlarından alınmıştır [17].

Sıvı damlası modeline göre hacim, yüzey, Coulomb terimleri ve kabuk etkilerini gösteren asimetri terimi, bu terimlerin birbirlerine oranları, fisyonu karakterize eden önemli parametrelerden biri olan Z^2/A değeri ile nükleon başına bağlanma enerjileri daha sonra yapılacak çalışmalarda veri seti oluşturması amacıyla tüm bozunum modları için Mathematica ile hesaplanmıştır. Hesap sonuçları Tablo4.1-Tablo4.7 'de verilmiştir.

Bu çalışma için seçilen $_{98}\text{Cf}$, $_{99}\text{Es}$, $_{100}\text{Fm}$, $_{101}\text{Md}$, $_{102}\text{No}$, $_{103}\text{Lr}$ ve $_{104}\text{Rf}$ çekirdeklerinin bazı izotoplarının kendiliğinden fisyonu sonucu oluşan kütle dağılımları deneysel olarak çok iyi bilinmektedir [12]. Simetrik ya da asimetric kütle dağılımları çok iyi bilinen bu veri seti, çalışmamızda oluşturulmaya çalışılan sistematik için bir nevi kalibrasyon kaynağı gibi kullanılmıştır. A-tek ve çift çift (ÇÇ) çekirdekler üzerindeki kabuk etkilerini de incelemek için veri seti ÇÇ ve A-tek çekirdekler olmak üzere iki gruba da ayrıldı. Bu veri setlerinde simetrik ve asimetric kütle dağılımları gösterdiği bilinen izotoplar için fisyonu karakterize eden terimler, sıvı damlası modelinin öngördüğü güncel katsayıları ve çiftlenim terimini içeren yarı ampirik bağlanma enerjisi formülüyle hesaplanmış ve hesap sonuçlarımız fit edilmiştir. ÇÇ ve A-tek çekirdekler için fit sonuçları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de görülmektedir.

Şekil 4.1'de simetrik fisyon yapan ÇÇ-çekirdeklerde, nükleonların çiftlenim etkisi açıkça görülmektedir. Nükleonlar birbirleriyle nükleer spinleri sıfır olacak şekilde çiftlenirler. Bu, çekirdeğin içinde kabuk yapılarının oluşmasını sağlar. Veri setinde görülen düşüş ve sıçramalar çiftlenim etkisini gözler önüne sermektedir. Tam bir kabuk yapısı belirgin olmamakla birlikte, ÇÇ çekirdeklerin simetrik fisyonu sistematik bir davranış sergilemektedir.

Şekil 4.2'de simetrik fisyon yapan A-tek çekirdekler görülmektedir. A-tek çekirdeklerde çiftlenmemiş en az bir cins nükleon vardır ve çekirdeğin davranışını bu valans nükleonu belirler. A-tek çekirdekler için kendiliğinden fisyon olayını karakterize eden iki önemli fisyon parametresinin simetrik fisyon için değişimi incelendiğinde, kabuk etkilerinin gözlemlendiği ÇÇ-çekirdeklerde görünen ani düşüş ve sıçramaların aksine düzenli bir artış sergilediği görülmektedir.

Şekil 4.3'de asimetric fisyon yapan ÇÇ-çekirdeklerde kabuk yapısının etkisi çok daha belirgindir. ÇÇ-çekirdekler için kendiliğinden fisyon olayını karakterize eden Z^2/A 'nın belirli değerlerinde ani sıçramalar görülmektedir. Bu da bize kabuk yapısının bu değerlerdeki etkilerini göstermektedir. Kabuk içinde düzgün bir azalma sergilerken belirli değerle ani sıçramalar sergilemektedir. göre Kabuk yapısı simetrik fisyonla daha belirgindir. Asimetric fisyonla kabuk yapısının etkisinin, simetrik fisyonla gibi belirli bir matematiksel fonksiyona uyumlanması zordur. Bu nedenle sistematik oluşturmak oldukça zordur. Ayrıca Z^2/A 'nın 41 değerinin üzerinde olduğu durumlarda asimetric fisyonla uğrayan çekirdeğin davranış karakteri değişmektedir.

Şekil 4.4'de asimetric fisyon yapan A-tek çekirdeklerde simetrik fisyon için görünen düzenli davranışın olmadığı açıkça görülmektedir. Deneysel çalışmalar, A-tek olan çekirdeklerin, ÇÇ-çekirdeklere göre daha az asimetric fisyon yapmayı tercih ettiklerini de göstermektedir.

Tablo 3.15 ve Tablo 3.16'da verilen ve kendiliğinden fisyon yapma olasılığı olan fakat henüz deneysel olarak kütle dağılımları ölçülmemiş izotoplarının simetrik ya da asimetric fisyonla hangisini yapmaya eğilimli olduğu incelenmiştir. Bunun için kütle dağılımları çok iyi bilinen ÇÇ ve A-tek çekirdeklerin izotopları için elde ettiğimiz fit sonuçlarını bu veri seti üzerine uyguladık, RMS değerlerini hesapladık. Fisyon olayı aslında, fisyonla uğrayan çekirdeğin şeklinde oluşan deformasyon nedeniyle yüzey ve Coulomb enerjilerinde oluşan değişimin bir sonucudur. Bu nedenle, E_c/E_y oranıyla RMS değerlerinin değişimine bakılmıştır.

Şekil 4.5'de, henüz deneysel olarak fisyon ürünleri kütle dağılımları bilinmeyen, hem ÇÇ hem de A'lı çekirdeklerin simetrik fisyon yapıp yapmayacağına ilişkin davranışları görülmektedir.

E_c/E_y oranı 28 ve 30 olan ÇÇ çekirdeklerin RMS değerleri daha düşüktür. E_c/E_y oranı 28 ve 30 olan ÇÇ çekirdeklerin simetrik fisyon yapma olasılığının daha yüksek olduğu görülmektedir. E_c/E_y oranı 28'den daha düşük ve 31'den daha fazla olduğunda ise asimetric fisyon yapma olasılığının daha yüksek olduğunu söyleyebiliriz.

E_c/E_y oranı arttıkça A-tek çekirdeklerin RMS değerlerinin daha düşük değerler aldığı Şekil 4.5'de açıkça görülmektedir. Bu da bize A-tek çekirdeklerin simetrik fisyon yapma olasılığının E_c/E_y oranı arttıkça daha yüksek olduğu söylemektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Bohr, N, Wheeler, J., A., 1939, The mechanism of nuclear fission, *Physical Review*, V56, 426-450.
- [2]. Yalçınkaya, M., Çekirdek Fiziği 1 Ders Notları, 2020.
- [3]. Krane, K., 1987, *Introductory Nuclear Physics*, Wiley, New York, 978 0471805533.
- [4]. Perston, M. A., Bhaduri, R. K., 1993, *Structure of the nucleus*, Westview Press, New York.
- [5]. Güven, H., Nükleer Fizik Ders Notları, İ.T.Ü Fizik Bölümü, 1999.
- [6]. https://books.google.co.in/books?id=fkqHNMd_248C&printsec=frontcover#v=onepage&q=liquid&f=false [Ziyaret Tarihi: 23 Şubat 2022].
- [7]. Roy, R. R., Nigam, B. P., 2015, *Nuclear physics: Theory and experiment*, John Wiley, New York.
- [8]. Meyerhof, W. E., 1967, *Elements of nuclear physics*, McGraw-Hill Book, New York, ISBN 10: 0070417458.
- [9]. Royer, G., 2008, On the coefficient of the liquid drop model mass formulae and nuclear radii, *Nucl. Phys A.*, 807, 105.
- [10]. Chowdhury, P. R., Samanta, C., Basu, D. N., 2005, Modified bethe–weizsäcker mass formula with isotonic shift and new driplines. *Modern Physics Letters A*, 20(21), 1605-1618.
- [11]. Junlong, T., et al., 2014, Effect of Coulomb energy on the symmetry energy coefficients of finite nuclei, *PHYSICAL REVIEW C*, 90, 02431.
- [12]. Darleane, C. H., 1994, Spontaneous fission, *Journal of Alloys and Compunds*, 213/214, 67-73.
- [13]. Norman, E. H., et al., 2000, Spontaneous fission half-lives for ground-state nuclides, *Pure Appl. Chem.*, Vol. 72, No. 8, pp. 1525–1562.
- [14]. <https://slideplayer.com/slide/7029376/> [Ziyaret Tarihi: 23 Şubat 2022].
- [15]. https://www.hep.phy.cam.ac.uk/~chpotter/particleandnuclearphysics/Lecture_16_Fission_Fusion.pdf [Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2022].
- [16]. Mendoza-Temis, J., Frank, A., Hirsch, J. G., Vieyra, J. L., Morales, I., Barea, J., Velázquez, V., 2008, Nuclear masses and the number of valence nucleons, *Nuclear Physics A*, 799(1), 84-93.
- [17]. NNDC DataBase-NuDat3, <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/> [Ziyaret Tarihi: 15 Nisan 2022].
- [18]. <https://www-nds.iaea.org/exfor/> [Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2022].

- [19]. Benzaid D., et al.,2020, Bethe–Weizsacker semiempirical mass formula coefficients 2019 update based on AME2016, *NUCL SCI TECH*, 31:9.
- [20]. Royer, G., and Gautier, C., 2006, Coefficients and terms of the liquid drop model and mass formula. *Physical Review C*, 73(6), 067302.
- [21]. Bohr, A., Mottelson, B.R., 1969, *Nuclear Structure, Vol. 1*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., New Jersey, ISBN 9810239793.
- [22]. Rızaoğlu, E., Yalçınkaya, M., Gültekin, Ö., 2021, *Kuantum Mekanığı - Mathematica Uygulamalı*, Alfa Yayıncılık., İstanbul, 9786254492068.



EKLER

EK 1 : Mathematica Kod Örnekleri

Hesaplar için örnek oluşturması amacıyla sadece tek bir çekirdek için kod örneği verilmiştir.

```
(* Katsayılar ---NUCL SCI TECH (2020)31-9, Djelloul Benzaid, et.al.i,
Bethe-Weizsacker semi emprical mass formula coefficients 2019 update based on AME2016 --- alınmıştır*)

ah = 14.6433;
ay = 14.0788;
ac = 0.6442;
as = 21.0680;
ap = 11.5398;
(*p çiftlenim etkisini hesaba katmak için 1,-1 veya 0 olarak alınmalıdır*)
B[A_, Z_, P_] := ah A - ay A2/3 - ac Z (Z - 1) A-1/3 -  $\frac{as (A - 2 Z)^2}{A}$  + ap A-1/2 P

(*Hacim Terimi *)
Ht[A_] := ah A

(*Yüzey Terimi *)
Yt[A_] := ay A2/3

(*Coulomb Terimi *)
Ct[A_, Z_] := ac Z (Z - 1) A-1/3

(*Asimetri Terimi *)
Asymt[A_, Z_, N_] :=  $\frac{as (N - Z)^2}{A}$ 

(*Çiftlenim Terimi *)
PSt[A_, P_] := ap A-1/2 P

(*Nükleon Başına Bağlanma Enerjisi *)
BEpA[A_, Z_, P_] :=  $\left( ah A - ay A^{2/3} - ac Z (Z - 1) A^{-1/3} - \frac{as (A - 2 Z)^2}{A} + ap A^{-1/2} P \right) / A$ 

(*A-2Z terimi*)
TM1[A_, Z_] := A - 2 Z

(*Yüzey ve Hacim Terimi Oranı (%) *)
Tyh[A_] :=  $(ay A^{2/3} / ah A) / 100$ 

(*Coulomb ve Hacim Terimi Oranı (%) *)
Tch[A_, Z_] :=  $(ac Z (Z - 1) A^{-1/3} / ah A) / 100;$ 

(*Asimetri ve Hacim Terimi Oranı (%) *)
Tasymh[A_, Z_, N_] :=  $\left( \left( \frac{as (N - Z)^2}{A} \right) / ah A \right) / 100 ;$ 

(*Coulomb ve Yüzey Terimi Oranı (%) *)
Tcy[A_, Z_] :=  $\left( (ac Z (Z - 1) A^{-1/3}) / ay A^{2/3} \right) / 100 ;$ 

(* Z^2/A Oranı*)
TM2[A_, Z_] := Z^2 / A // N

(*-----HESAPLAR ----- *)




(* Fm (Z=100, A=(241-260), N=(141-160) için *)
```

```
In[12]:= Table[{TM2[A, Z] /. Z -> 100}, {A, 241, 260}] // TableForm
```

```
Out[12]/TableForm=
```

```
TM2 [241, 100]
TM2 [242, 100]
TM2 [243, 100]
TM2 [244, 100]
TM2 [245, 100]
TM2 [246, 100]
TM2 [247, 100]
TM2 [248, 100]
TM2 [249, 100]
TM2 [250, 100]
TM2 [251, 100]
TM2 [252, 100]
TM2 [253, 100]
TM2 [254, 100]
TM2 [255, 100]
TM2 [256, 100]
TM2 [257, 100]
TM2 [258, 100]
TM2 [259, 100]
TM2 [260, 100]
```

Assuming a matrix | Use as a *list of lists* instead

transpose flatten dimensions display as ▾ more...   

+

```
In[1]:= Table[{TM1[A, Z] /. Z -> 100}, {A, 241, 260}] // TableForm;
```

```
In[2]:= Table[{Ht[A]}, {A, 241, 260}] // TableForm;
```

```
In[3]:= Table[{Yt[A]}, {A, 241, 260}] // TableForm ;
```

```
In[4]:= Table[{Ct[A, Z] /. Z -> 100}, {A, 241, 260}] // TableForm ;
```

```
In[5]:= Asymt[243, 100, 143];
```

```
ClearAll["Global`*"]
```

```
In[6]:= Table[{Tyh[A]}, {A, 241, 260}] // TableForm ;
```

```
In[7]:= Table[{Tch[A, Z] /. Z -> 100}, {A, 241, 260}] // TableForm;
```

```
In[8]:= Tasyhm[245, 100, 145];
```

```
In[9]:= Table[{Tcy[A, Z] /. Z -> 100}, {A, 241, 260}] // TableForm;
```

```
In[10]:= BEpA[245, 100, 0];
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Hasna SADO
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	HALEP ÜNİVERSİTESİ
Fakülte	BİLİM FAKÜLTESİ
Bölümü	FİZİK
Mezuniyet Yılı	05.02.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
Enstitü Adı	FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
Anabilim Dalı	FİZİK
Programı	NÜKLEER FİZİK

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı Adı
Programı	Program Adı

Makale ve Bildiriler	