U. İLTER, 2021

DOKTORA TEZİ

ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

NÖTRON-ZENGİN ÇEKİRDEK REAKSİYONLARIN NÜKLEER MODELLEME KODLARIYLA İNCELENMESİ

UĞUR İLTER

Eylül 2021

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

NÖTRON-ZENGİN ÇEKİRDEK REAKSİYONLARIN NÜKLEER MODELLEME KODLARIYLA İNCELENMESİ

UĞUR İLTER

Doktora Tezi

Danışman

Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

Eylül 2021

Uğur İLTER tarafından Prof. Dr. Sefa ERTÜRK danışmanlığında hazırlanan "Nötron-Zengin Çekirdek Reaksiyonların Nükleer Modelleme Kodlarıyla İncelenmesi" adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU (Çukurova Üniversitesi) İmza:

Üye : Prof. Dr. Sezgin AYDIN (Tarsus Üniversitesi) İmza:

Üye : Doç. Dr. Zafer NERGİZ (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi) İmza:

Üye : Prof. Dr.Sefa ERTÜRK (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi) İmza:

Üye : Prof. Kasım KURT (Mersin Üniversitesi) İmza:

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından …/…/2021 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun …/…/2021 tarih ve …… Sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

…/…/2021

Prof. Dr. Murat BARUT
Müdür

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Uğur İLTER

ÖZET

NÖTRON-ZENGİN ÇEKİRDEK REAKSİYONLARIN NÜKLEER MODELLEME KODLARIYLA İNCELENMESİ

İLTER, Uğur
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

Eylül 2021, 110 sayfa

Doğada bulunmayan ve doğal süreçlerle üretilmeyen ya da laboratuvar ortamlarında elde edilmesi mümkün olmayan nötronca zengin çekirdekler, son yıllarda nükleer fizik alanında artan ilgiye sahip konularından birisidir. Laboratuvar sayılarının az olması, zaman talepleri kısıtları gibi nedenlerle teorik hesaplama ve bilgisayar destekli yöntemler de araştırma süreçlerine dahil olmuştur. Nükleer reaksiyon kodları adı verilen bu yöntemler modern veri değerlendirmesinde vazgeçilmez araçlar olmuştur. Bu tez çalışmasında, deneylerle elde edilmiş nötronca zengin çekirdek tesir kesitleri PACE4, TALYS, EMPIRE ve HIVAP reaksiyon kodlar kullanılarak yeniden üretilerek kodların bu alanda faydası sunulmuştur. Bu çalışmada görülmüştür ki EMPIRE ve TALYS kodları nötronca zengin çekirdeklerin tesir kesitlerinin üretilmesinde deney sonuçlarıyla daha uyumlu veriler sunmaktadır. HIVAP kodunun ise orta ve ağır iyon çekirdek reaksiyonlarının çalışılmasında daha verimli olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar sözcükler: Nötronca zengin, tesir kesiti, egzotik çekirdek, nükleer reaksiyon kodu, füzyon buharlaşma kodu, PACE4, EMPIRE, TALYS, HIVAP

SUMMARY

COMPARISON OF NEUTRON-RICH NUCLEI REACTIONS BETWEEN EXPERIMENTAL AND MODEL CODES.

İLTER, Uğur
Niğde Ömer Halisdemir University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

September 2021, 110 pages

Neutron-rich nuclei are not found in nature and cannot be produced by processes or obtained in laboratory environments, and it is one of the topics of increasing interest in the field of nuclear physics in recent years. Theoretical computation and computer aided methods have also been included in the research processes due to the low number of laboratories and time demands constraints. These methods, called nuclear reaction codes, have become indispensable tools in modern data evaluation. In this thesis, the neutron-rich nuclear cross sections obtained by experiments were reproduced using PACE4, TALYS, EMPIRE and HIVAP reaction codes, and the benefits of the codes in this field were presented. In this study, it has been seen that EMPIRE and TALYS codes provide more consistent data with the experimental results in the generation of cross sections of neutron-rich nuclei. It has been understood that the HIVAP code is more efficient in studying medium and heavy ion nuclear reactions.

Keywords: Neutron rich, cross-section, exocitc nuclei, nuclear reaction codes, fusion evaporation codes, PACE4, EMPIRE, TALYS, HIVAP

ÖN SÖZ

Bu doktora tez çalışmasında; literatürden ve nükleer veri tabanlarından belirlenen, deneysel yöntemlerle elde edilmiş olan nötronca zengin çekirdek tesir kesitleri PACE4, TALYS, EMPIRE ve HIVAP gibi nükleer kodlar ile yeniden üretilerek eldeki sonuçlar incelenerek karşılaştırılmıştır. Bu kodları anlatan ve bu kodlarla üretilmiş çok sayıda yerli ve yabancı çalışma olmasına karşılık, kodlarla ilk defa çalışacak olan bir araştırmacı için dilimizde yeterli içerik mevcut değildir. Bu tez çalışmasında bu kodlar için başlangıç seviyesinde bir kullanım becerisi kazanacakları bir kaynak oluşturmak amaçlanmıştır. Bu alanda yeni başlayan araştırmacıların bu kodlarla ilgilenmesi durumunda kodları anlama, öğrenme, kullanma ve sonuç elde etme için daha az zaman ayırmaları sağlanabilecektir.

Çalışmalarıma yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, uzun bir geçmişe sahip olan doktora öğrenim serüvenimi sahiplenen ve değerli zamanını ayırarak tez çalışmamın sonuca ulaşmasında her türlü desteği sağlayan, bu alanda ufkumu genişleten tez danışmanım Hocam Sayın Prof. Dr. Sefa ERTÜRK' e en içten şükranlarımı borç biliyor ve sunuyorum. Tez izleme komitesi üyesi değerli hocalarımız Sayın Prof. Dr. Sezgin AYDIN'a ve Sayın Doç. Dr. Zafer NERGİZ'e bu süre boyunca gösterdikleri ilgi, destek ve aktardıkları tecrübeleri için teşekkür ediyorum. Tez çalışmamın ivme kaybetmemesi için beni destekleyen Sayın Prof. Dr. Refik KAYALI'ya teşekkür ederim. Tez çalışmam sırasında tanıştığım ve birlikte çalışma fırsatı elde ettiğim, tecrübelerini esirgemeyen arkadaşım Birgül EREN Hanıma katkıları için teşekkür ederim.

Uzun bir serüvene dönüşen doktora öğrenimimin tamamlanması için benden çok daha istekli ve sabırlı olan, çalışmamın ilerleyişini benden daha fazla merak eden ve gelişimini düzenli takip eden, heyecanımın ve motivasyonumun azalmasına biran bile izin vermeyen, manevi ve maddi her imkânı koşulsuz sağlayan Annem, Babam ve Kardeşim ile eşim Dr. Elif Ece İLTER'e sevgilerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
SUMMARY v
ÖN SÖZ vi
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
ŞEKİLLER DİZİNİ x
SİMGE VE KISALTMALAR xiii
BÖLÜM I GİRİŞ 1
BÖLÜM II GENEL BİLGİLER 3
2.1 Nötron 3
2.2 Nötronların Özellikleri 6
2.3 Nötronca Zengin Çekirdekler 8
2.4 Nükleer Reaksiyonlar 11
2.5 Nükleer Reaksiyon Çeşitleri 12
2.6 Nükleer Reaksiyon Kavramları 13
2.6.1 Tesir kesiti 14
2.7 Nükleer Reaksiyon Mekanizmaları 15
2.7.1 Doğrudan reaksiyonlar 17
2.7.2 Füzyon buharlaşma reaksiyonları 17
BÖLÜM III MALZEME VE YÖNTEM 19
3.1 Nükleer Reaksiyon Kodları Hakkında 19
3.2 EMPIRE: Nükleer Reaksiyon Kodu 20
3.2.1 Temin edilmesi 23
3.2.2 Windows portable sürümü 26
3.2.2.1 Kurulum 26
3.2.2.2 Çalıştırılması 29
3.2.2.3 Grafik kullanıcı arayüzü (GUI) ekranı 31
3.2.2.4 Kullanılması 33
3.2.2.5 Zorunlu Girdi Bölümü 33
3.2.2.6 İsteğe bağlı girdi bölümü 35

3.2.3 EMPIRE Linux sürümü 40
3.2.3.1 Linux OS sürümü temin edilmesi ve kurulması 40
3.2.3.2 EMPIRE Linux kurulumu 41
3.2.3.3 Son ayarlamalar 45
3.3 PACE4 Giriş 48
3.3.1 PACE4 tanıtımı 49
3.3.2 Temin edilmesi 50
3.3.3 Kurulum 51
3.3.4 Çalıştırma 52
3.3.5 Grafik kullanıcı ara yüzü (GUI) ekranı 52
3.3.6 Kullanılması 54
3.4 HIVAP Evaporation Kod 60
3.4.1 Temin edilmesi 61
3.4.2 Kurulması 61
3.4.3 Çalıştırma 62
3.4.4 Çıktılar 64
3.4.5 HIVAP parametre setleri 64
3.5 TALYS Nükleer Reaksiyon Kodu 67
3.5.1 Temin edilmesi 69
3.5.2 Kurulması 70
3.5.3 Çalıştırılması 72
3.5.4 Çıktılar 72
3.6 Nükleer Reaksiyon Veritabanı 73
3.6.1 EXFOR 73
3.6.2 Deneysel verinin EXFOR’dan elde edilmesi 74
BÖLÜM IV DENEYSEL ÇALIŞMALAR 76
BÖLÜM V BULGULAR VE TARTIŞMA, ... 78
BÖLÜM VI SONUÇLAR 98
KAYNAKLAR 101
ÖZ GEÇMİŞ 109
TEZ ÇALIŞMASINDA ÜRETİLEN ESERLER 110

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. EMPIRE'a dahil edilmiş kodlar 22
Çizelge 3.2. Sonuçlar için bağımsız olarak işletilen araçlara ait kodlar 22
Çizelge 3.3. HIVAP Parametre setleri ve değerleri 65
Çizelge 4.1. Nükleer reaksiyon kodları ile yeniden çalışılan nükleer reaksiyonlar 76
Çizelge 5.1. 27Mg izotopuna ait tesir kesiti verileri 78
Çizelge 5.2. 28Mg izotopuna ait tesir kesiti verileri 79
Çizelge 5.3. 39Cl izotopuna ait tesir kesiti verileri 80
Çizelge 5.4. 48Sc izotopuna ait tesir kesiti verileri 82
Çizelge 5.5. 52V izotopuna ait tesir kesiti verileri 83
Çizelge 5.6. 59Fe izotopuna ait tesir kesiti verileri 84
Çizelge 5.7. 73Ga izotopuna ait tesir kesiti verileri 84
Çizelge 5.8. 91Sr izotopuna ait tesir kesiti verileri 86
Çizelge 5.9. 92Y izotopuna ait tesir kesiti verileri 87
Çizelge 5.10. 96Nb izotopuna ait tesir kesiti verileri 88
Çizelge 5.11. 105Ru izotopuna ait tesir kesiti verileri 90
Çizelge 5.12. 112Ag izotopuna ait tesir kesiti verileri 91
Çizelge 5.13. 138Cs izotopuna ait tesir kesiti verileri 92
Çizelge 5.14. 135Xe izotopuna ait tesir kesiti verileri 93
Çizelge 5.15. 145Ce izotopuna ait tesir kesiti verileri 94
Çizelge 5.16. 180Lu izotopuna ait tesir kesiti verileri 95
Çizelge 5.17. 214At izotopuna ait tesir kesiti verileri 96
Çizelge 5.18. 294Og izotopuna ait tesir kesiti verileri 97

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Nüklid haritası (Url-3, 2021). 9
Şekil 2.2. Tesir kesiti şematik gösterimi 14
Şekil 2.3. Reaksiyon mekanizmaları, modelleri şematik gösterimi 16
Şekil 3.1. EMPIRE ana web alanı 24
Şekil 3.2. EMPIRE kodu kurulum paketleri web alanı 25
Şekil 3.3. EMPIRE Windows OS sürümü için indirme web alanı 25
Şekil 3.4. EMPIRE-3.2.2 Windows OS portable sürümü web alanı sayfası. 26
Şekil 3.5. EMPIRE Windows OS için kurulum yönergesi web alanı sayfası. 28
Şekil 3.6. Sıkıştırılmış hali açıldıktan sonraki dizin içeriği 28
Şekil 3.7. EMPIRE dizini içinde "run-empire.bat" betiğinin çalıştırılması. 30
Şekil 3.8. EMPIRE açılış ekranı. 30
Şekil 3.9. EMPIRE grafik kullanıcı arayüzü (GUI) ekranı ve "Main 1" paneli. 31
Şekil 3.10. EMPIRE GUI ekranı menü satırı 31
Şekil 3.11. EMPIRE GUI ekranı komut düğmeleri satırı. 31
Şekil 3.12. EMPIRE GUI ekranı sekmeler satırı. 32
Şekil 3.13. Fare imleci bir nesne üzerinde iken görünür olan sarı şeritler (a) ve (b) 32
Şekil 3.14. Input dosya formatı. "!" işareti, parametre adı ve içereceği değerin başlayacağı sütunu belirtir 33
Şekil 3.15. Input (inp uzantılı) dosyası zorunlu girdi bölümü 34
Şekil 3.16. Input Menüsü (a) ve "Main 1" sekmesi (b) "Create Input" işlevi 34
Şekil 3.17. "İsteğe Bağlı Girdi" bölümü. 35
Şekil 3.18. İsteğe bağlı bölüm. "Calculation Control" ve "Output Control" satırları 36
Şekil 3.19. Hauser-Feshbach model parametre satırları. 37
Şekil 3.20. Optik model parametre satırları. 38
Şekil 3.21. Denge öncesi model parametre satırları. 38
Şekil 3.22. Birden fazla gelme enerjisi varsa alt alta yazılarak bu bölüme girilir 39
Şekil 3.23. Help menüsü 39
Şekil 3.24. Terminal ekranı 41
Şekil 3.25. ActiveTcl kurulum başlangıç ekranı 43
Şekil 3.26. ActiveTcl kurulum ekranı 43

Şekil 3.27. ActiveTcl kurulum dizini ayarlama ekranı 44
Şekil 3.28. ActiveTcl kurulum ekranı başlangıcı 44
Şekil 3.29. ActiveTcl kurulum tamamlanma ekranı sonu 45
Şekil 3.30. Terminal ekranı ve EMPIRE derleme adımları 47
Şekil 3.31. EMPIRE Linux kullanıcı ara yüz (GUI) ekranı 47
Şekil 3.32. LISE++ web alanı 50
Şekil 3.33. LISE++ programının indirme web alanı sayfaları 51
Şekil 3.34. LISE++ sıkıştırılmış paketinin dizin içindeki açılmış içeriği 51
Şekil 3.35. LISE++ programı başlık, menü ve komut düğmeleri araç çubukları 52
Şekil 3.36. LISE++ programı menü ve komut düğmeleri araç çubukları 52
Şekil 3.37. PACE4 kullanıcı ara yüzü. 53
Şekil 3.38. PACE4 kullanıcı ara yüzü "Başlık Çubuğu" 53
Şekil 3.39. PACE4 kullanıcı ara yüzü "Menü Çubuğu" 53
Şekil 3.40. "*File*" menüsü (a), "*Page*" menüsü (b) ve "*Help*" menüsü komutları (c) 54
Şekil 3.41. PACE4 kullanıcı ara yüzü "Komut Düğme Çubuğu" 54
Şekil 3.42. Özgün isim verilmiş hali ile başlık çubuğu 54
Şekil 3.43. Reaksiyon parametrelerinin tanımlandığı CARD 2-1 ekranı. 56
Şekil 3.44. Reaksiyon ürünü "bileşik çekirdek" bilgilerinin girildiği "*CARD 2-2*" (a) ve "*CARD.2-2a*" (b) pencereleri. 57
Şekil 3.45. "*CARD 3A*" nötron için optik potansiyel parametre girdi penceresi 57
Şekil 3.46. "*CARD 3B*" proton için optik potansiyel parametre girdi penceresi 58
Şekil 3.47. "*CARD 3C*" alfa için optik potansiyel parametre girdi penceresi 58
Şekil 3.48. "*CARD 3D*" gelen kanal optik potansiyel parametre girdi penceresi 59
Şekil 3.49. Komut düğmeleri menüsü 59
Şekil 3.50. Reaksiyonun işletildiğini gösteren bilgi ekranı 59
Şekil 3.51. PACE4, reaksiyon sonuçları penceresi 60
Şekil 3.52. HIVAP örnek girdi dosyası, hivapin.dat 63
Şekil 3.53. HIVAP çıktı dosyaları 64
Şekil 3.54. HIVAP Reisdorf parametrelerini içeren input dosyası 66
Şekil 3.55. HIVAP Patin parametreleri içeren input dosyası 67
Şekil 3.56. TALYS web alanı. Bir web tarayıcısından bu alana erişmek mümkündür. . 70
Şekil 3.57. En temel TALYS girdi dosyası örneği 72
Şekil 3.58. EXFOR reaksiyon tarama web alanı 74
Şekil 3.59. Reaksiyon sonuçları web alanı 74

Şekil 3.60. Deneyin yayınını ve sonuçlarını içeren sayfa 75
Şekil 3.61. Japonya Atom Enerji Kurumu Nükleer Veri Merkezi web alanı sayfası 75
Şekil 5.1. 27Mg izotopu tesir kesiti görsel gösterimi 78
Şekil 5.2. 28Mg izotopu tesir kesiti görsel gösterimi 79
Şekil 5.3. 39Cl nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 81
Şekil 5.4. 39Cl nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 82
Şekil 5.5. 52V nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 83
Şekil 5.6. 59Fe nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 84
Şekil 5.7. 73Ga nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 86
Şekil 5.8. 91Sr nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 87
Şekil 5.9. 92Y nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 88
Şekil 5.10. 96Mb nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 89
Şekil 5.11. 105Ru nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 90
Şekil 5.12. 112Ag nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 91
Şekil 5.13. 138Cs nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 92
Şekil 5.14. 135Xe nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 93
Şekil 5.15. 145Ce nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 94
Şekil 5.16. 180Lu nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 95
Şekil 5.17. 214At nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 96
Şekil 5.18. 294Og nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti 97

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
α	Alfa
σ	Tesir Kesiti
dσ	Toplam tesir kesiti
Ia	Gelen demet akımı
N	Nötron sayısı
Z	Atom numarası, proton sayısı
A	Kütle numarası,
Ü*	Uyarılmış çekirdek
Ü	Ürün çekirdek
Ç*	Uyarılmış bileşik çekirdek
H	Hedef çekirdek
M	Mermi çekirdek
Y	Yüzey alanı
Hn	Hedef çekirdek sayısı
I	Mermi akısı, şiddeti
b	Barn
mb	Milibarn
pn	Picobarn
p	Proton
n	Nötron
d	Döteryum
t	Trityum
g, □	gama
3He	He 3 çekirdeği
cm	Santimetre
Sn	Saniye
eV	Elektron volt

MeV	Mega elektron volt
GeV	Giga elektron volt
TeV	Tera elektron volt
keV	Kilo elektron volt
fm	Femtometre

Kısaltmalar	**Açıklama**
PACE4	Projection Angular Momentum Coupled Evaporation
HIVAP	Heavy Ion eVAPoration Kode
EXFOR	Exchange Format, Deneysel Veri kütüphanesi
ENDF	Evaluated Nuclear Data Formats
RIPL	Reference Input Parameter Library
NNDC	National Nuclear Data Center

BÖLÜM I

GİRİŞ

Doğada, doğal süreçlerle üretilmesi ya da laboratuvar ortamlarında elde edilmesi mümkün olmayan nötronca zengin çekirdeklerin tesir kesitlerinin nükleer reaksiyon yazılım kodlarıyla üretilebilmesi bu tez çalışmasında ele alınmıştır.

Protonlar ve nötronlar atom çekirdekleri oluşturmak için çok sayıda birleşimle bir araya gelebilirler. Ancak bu birleşimlere ait çekirdeklerin büyük kısmı var olmayabilir. Oluşmaları sağlanabilseydi bile gözlenme ihtimalleri, bozunma hızlarından dolayı hiç olmayacaktı. Bilimsel varsayımlara göre var oldukları söylenebilecek ömre sahip toplam 8.000 çekirdek olacağı önerilmektedir. Bu çekirdeklerin doğadaki en bilinen 300'ü kararlıdır. Çeşitli bozunma süreçlerine uğrayan, radyoaktif ve kararlı olmayan 1.600 kadar çekirdeğin var olduğu bilinmektedir. Bu sayılara göre sentezlenmeyi bekleyen 6.000 kadar daha çekirdek olduğu söylenebilir.

Periyodik tablonun, kabaca proton ve nötron sayıları eşit, ilk 20 elementi ya da bunlar gibi en hafif elementler en fazla ve tam olarak çalışılan çekirdeklerdir. Çekirdeklerin proton ve nötron oranı eşitlikten yani kararlılıktan ne kadar uzaklaşırsa, ömrü o kadar kısalır. Kararlılıktan uzak iki yaka vardır: Proton sızma bölgesi ve nötron sızma bölgesi. Kararlılıktan uzak olanlar ise protonca zengin ve nötronca zengin çekirdekler olarak bilinir ve egzotik çekirdek olarak anılırlar.

Egzotik çekirdeklerin nötronca zengin üyeleri, bugün yeryüzünde bilinen doğal elementler arasında görülmemektedir. Kararlı çekirdeklerin hızlandırılmış proton, nötron ya da daha ağır çekirdeklerle çarpıştırılmasıyla laboratuvarlarda oluşturulabilmektedir. Üretilmeleri ve incelenmeleri, oldukça düşük ürün tesir kesitleri ve aynı hedefte istenmeyen başka parçacıklar meydana gelmesi nedeniyle son derece zordur. Saniye ve belki daha kısa ömürleri, deneysel araştırma kurmayı ve gerçekleştirmeyi güç kıldığı için egzotik bir çekirdek hakkında elde edilebilecek tüm bilgilerin, üretim ve parçalanma arasında geçen kısa süre içinde toplanması gereklidir. Bilgisayar ve teknolojik gelişmeler, bu çekirdeklerin özelliklerinin incelenmesine izin veren koşullarda bir dizi egzotik çekirdek üretmeyi mümkün kılar hale getirmiştir. Bu

tez çalışmasında nötronca zengin çekirdek tesir kesitleri üretilmiş, literartürden ve EXFOR nükleer veri tabanından seçilmiş on sekiz reaksiyon, literatürde sıklıkla kullanılan füzyon buharlaşma kodları olan PACE4 ve HIVAP ile istatistik kodlar TALYS ve EMPIRE nükleer reaksiyon kodlarıyla yeniden incelenmiştir. Belirlenen reaksiyonların buharlaşma kanalı nötron, proton, döteryum, trityum, helyum-3 ve alfa olmasına dikkat edilmiştir. Alfa parçacığının nötron ve proton sayısından daha fazla olan salımlar parçalanma süreçlerini kapsayacağı için tercih edilmemiştir.

Kararlılık çizgisinin nötron eksenine doğru bükülmesi nedeniyle, kararlı çekirdeklerin füzyon reaksiyonlarında, yalnızca ağır elementlerin proton bakımından zengin izotopları üretilebilmektedir. Bu gerekçeyle; füzyon buharlaşma temelli nükleer reaksiyon kodlarıyla nötronca zengin çekirdeklerin tesir kesitlerini üretmek tez çalışmasının motivasyonunu oluşturmuştur. Bu çalışmanın literatüre yapması beklenen bir başka katkının; bu kodlar için başlangıç seviyesinde bir kullanım belgesi olması amacını da taşımaktadır.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde genel bir başlangıç ve çalışmanın motivasyon sebebi anlatılmıştır. İkinci bölümde teorik temellerden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde tez çalışmasında işletilen yöntem ve yararlanılan araçlar hakkında kapsamlı bir anlatım yapılmıştır. Dördüncü bölümde, belirlenen on sekiz reaksiyon hakkında genel bilgilendirme verilmiştir. Beşinci bölümde, işletilen reaksiyonların tesir kesiti verileri ve sonuçları tartışılmıştır. Altıncı bölümde, tesir kesiti sonuçları ve bu sonuçlara göre reaksiyon kodlarının verimi ve literatüre katkısı yorumlanmıştır.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

2.1 Nötron

Atom çekirdeğinin içindeki nötronların, nötr yüklü parçacıkların varlığı, 1920'de Ernest Rutherford tarafından önerilmiş ve 1935'te Nobel ödülünü alan James Chadwick tarafından 1932'de deneysel olarak kanıtlanmıştır. Atomlardan yaklaşık olarak 10.000 kat daha küçük boyutlara sahiptir. Çekirdekler ve atom içindeki korumalı konumlarına rağmen, çok detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu araştırmalar, maddenin temel bileşenlerinin davranışına ilişkin zengin bilgilere ulaşılmasını sağlamıştır. (Williams, 1991; Marion, 1981).

Atom numarası Z olan bir atomun çekirdeği, Z atomik elektronların yükünü dengelemek için tam olarak Z proton içermelidir. Ancak kimyasal kütle belirlemeleri temelinde, örneğin bir oksijen atomunun kütlesinin (Z = 8), bir hidrojen atomunun kütlesinden 16 kat daha büyük olduğu bilinmektedir. Böylece, bir oksijen çekirdeğindeki 8 proton, bu çekirdeğin kütlesinin yalnızca yarısına katkıda bulunur. Oksijen çekirdeğinin diğer yarısı nedir? Chadwick'in nötron keşfi ile atom kütlelerine ilişkin önemli soru da cevap bulmuştur. Oksijen çekirdeği tam olarak Z = 8 proton içerir ve kalan kütleye 8 nötron katkıda bulunur. Tüm çekirdekler (hidrojen hariç) nötronlar ve protonlar içerir. Proton ve nötron temel olarak elektriksel özelliklerinde farklılık gösterir: proton bir birimlik pozitif elektrik yükü taşır ve nötron elektriksel olarak nötrdür. İki tür parçacık topluca nükleon olarak adlandırılır. Proton sayısı çekirdeğin elektrik yükünü belirlediğinden, çekirdeği çevreleyen elektron bulutunun konfigürasyonunu ve dolayısıyla atomun kimyasal özelliklerini de kontrol eder. Bu nedenle tek başına proton sayısı elementlerin kimliğini belirler (Marion, 1981; Cerny ve Poskanzer, 1978).

Bir atom üç tür parçacıktan oluşur. Işık hızının %10'u kadar hızla atomun çekirdeği çevresinde hareket eden elektron vardır. Hareketi gezegenlerin yörünge hareketini hatırlatan dinamik ve uyarılmış bir harekettir. Atom çekirdeğinde yerleşik olan, çekici yükünün gücüyle elektronu yörüngede tutan, büyük parçacık olan proton ise diğer bir

parçacıktır. Elektron ve proton, ikisi atomun şekillerini, kimyasını ve dinamiklerini belirler. Proton pozitif yüklüdür, elektron negatif yüklüdür, protonla aynı yüke sahiptir. Kalan üçüncü parçacık olan nötrondur ve kuarklardan oluşan bir parçacıktır (Smith, 2010; Url-1, 2018; Url-2, 2018)

Evrende, nötronlar bol miktarda bulunur ve tüm görünür maddenin yarısından fazlasını oluştururlar. Nötron'u anlamak için atomdan (10^{-10} m) 100.000 kat daha küçük bir uzunluk ölçeğine (10^{-15} m) bakmak gerekir. Bu ölçek bir "femtometredir", ancak parçacık ve nükleer fizik topluluğunda genellikle "fm" (1 fm = 10^{-15} m) kısaltmasıyla "fermi" olarak anılır. Nötronlar ve pozitif yüklü paydaşları olan protonlar, tipik atom çekirdeğinde bir arada bulunurlar ki; bu, atom kütlesinin yüzde 99.9'unu oluşturur. Aynı boyut ve kütleye sahiptirler. Protonların kütlesi yaklaşık 938 MeV, nötronların yaklaşık 940 MeV ve elektronların ise yaklaşık 0.511 MeV'dir. Nükleonların çapı 1.7 fm'dir. (Smith, 2010; Url-1, 2018; Url-2, 2018;).

Nötronlar ve protonlar, güçlü kuvvete maruz kalan, birbirleriyle etkileşen atom altı parçacıklar olan hadronlar ve üç kuarktan oluştuklarından dolayı baryonlar olarak sınıflandırılırlar. Nötron, e −⅓ yük değerine sahip iki aşağı yönlü kuark (d-kuarkı) ve e +⅔ yük değerine sahip yukarı yönlü bir kuarktan (u-kuarkı) oluşan kompozit bir parçacıktır. Nötron net bir elektrik yüküne sahip olmadığı için, elektrik kuvvetlerden etkilenmez, ancak nötronun içinde hafif bir elektrik yükü dağılımı vardır. Bu, nötronun sıfır olmayan manyetik momenti (dipol momenti) ile sonuçlanır. Bu nedenle nötron, elektromanyetik etkileşim yoluyla da etkileşime girer, ancak bu etkileşim protonun etkileşiminden çok daha zayıf olur ve atomların iyonlaşmasına neden olmazlar. (Url-1, 2018; Url-2, 2018).

İki temel etkileşim arasındaki rekabet, nükleer olarak kararlı olmayı belirlemektedir. Tüm ana etkileşim süreçlerine, maddede enerjik yüklü parçacıkların göründüğü çeşitli tezahürlerin bir sonucu olarak nükleer kuvvetler neden olur. Bunlar nötronlar tarafından üretilen, enerjilerini esas olarak iyonlaşma nedeniyle maddeye ileten yüklü parçacıklardır. Diğer taraftan, protonlar, pozitif yükleri nedeniyle birbirlerini elektrik kuvveti ile iterler. Bu nedenle, çekirdek içindeki nötronlar, protonları dengeleyici olması amacıyla bir çeşit nükleer yapıştırıcı gibi davranırlar. (Url-1, 2018; Url-2, 2018; Obodovsky, 2019).

En basit atom olan hidrojene bakılacak olursa; bir elektron ve bir protondan oluşur. Hidrojenden sonra en basit atom Helyum-3'tür (3He). İki elektron, iki proton ve bir nötrondan oluşur. Eğer o nötronlar ortadan kaldırılırsa atom parçalanır. Nötronlar, çekirdeklerde bir nükleer çimento rolü oynar ve ayrıca protonları birbirinden ayırma görevi görür. Protonlar arasındaki elektrostatik itme, kararlı, uzun ömürlü bir Helyum-2 atomu için çok güçlüdür. Ancak nötronlar mevcut olduğunda, daha ağır atomlar ve elementlerden söz etmek mümkün hale gelir. Daha büyük çekirdekler daha büyük bir nötron yüzdesi içerir. Nötronlar, hidrojenin ötesinde elementlerin gerekli bir parçasıdır, ancak yine de protonun donuk kuzeni gibi görünürler. Nötronlar bir tür nükleer çimento sağlasa da çok fazla sayıda nötronun protonları ayırdığı ve istikrarsızlığa yol açtığı da unutulmamalıdır (Obodovskiy, 2019; Smith, 2010).

Nükleer kuvvetin kısa mesafelerdeki gücü nedeniyle, nükleonların nükleer bağlanma enerjisi (bir atom çekirdeğini bileşen parçalarına ayırmak için gereken enerji), atomlardaki elektromanyetik enerji bağlayıcı elektronlardan yedi kat daha büyüktür. Nükleer reaksiyonlar (nükleer fisyon veya nükleer füzyon gibi) bu nedenle kimyasal reaksiyonların enerji yoğunluğundan 10.000.000 kez daha fazla ve üzerinde bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Nötronların davranış ve özelliklerinin bilinmesi, nükleer enerjinin üretilmesi için esastır. Nötronun 1932'de keşfedilmesinden kısa bir süre sonra, nötronların bir nükleer zincir reaksiyonu oluşturmak için hareket edebileceğinin anlaşılması da uzun sürmedi. Nükleer fisyon 1938'de keşfedildiği zaman bir fisyon reaksiyonu serbest nötron ürettiğinde, bu nötronların her birinin bir zincir reaksiyonu olarak bilinen bir kaskad sisteminde daha fazla fisyon reaksiyonuna neden olabileceği açık biçimde anlaşılmıştır (Prasad ve Singh, 2018; Url-1, 2018; Url-2, 2018).

Nötronlar çeşitli şekillerde üretilebilir ve dolaylı olarak iyonlaştırıcı radyasyon için önemli bir kaynaktır. Nükleer reaktörler, nötron jeneratörleri ve parçacık hızlandırıcıları, izotopik nötron kaynakları ve kendiliğinden fisyon kaynakları olmak üzere birkaç farklı nötron kaynağı söylenebilir (Poston, 2003; Kolbaşı, 2014).

Günlük hayatta karşılaştığımız, sık rastlanan doğa olaylarından olan, şimşek çakması gibi olaylar sonucu nötron açığa çıkmaktadır. Dünyamıza gelen kozmik ışınlar dünyamızın atmosferinde veya yeryüzünde serbest haldeki nötronların oluşumuna neden olabilir, nötron üreteçleri gibi davranabilirler. Bir nötron kaynağı, nükleer fisyon

ve nükleer füzyon reaksiyonları ile nötron yayan herhangi bir cihazdır. Nükleer reaktörler en fazla nötron üreten kaynaklardır. Uranyum fisyonu en yaygın olanıdır. Fisyonun birincil ürünü, fisyon spektrumu olarak tanımlanan bir enerji dağılımına sahip hızlı nötronlardır. Bunlar haricinde daha belirgin bir şekilde nötron üreteci karakteri sergileyen yegâne cisimler, bir yıldızın kendi üstüne çökerek oluşturduğu çok ama çok yoğun nötron ışınımı yapan gökcisimleri olan nötron yıldızları ve pulsarlardır. Nötron kaynaklarının birçok uygulaması vardır, araştırma, mühendislik, ilaç, petrol arama, biyoloji, kimya ve nükleer enerji alanlarında kullanılabilirler (Url-1, 2018; Meriç, 2018; Poston, 2003).

2.2 Nötronların Özellikleri

- Büyüklük : ~ 0,8 x 10^{-15}m ya da 0,8 fermidir
- Kütle : 939.565 MeV / c^2'dir.
- Yarı ömürleri : 611 sn, serbest bir nötron için ortalama
- Nötronlar nötr parçacıklar, net elektrik yükleri yoktur. Elektrik yükünün olmaması, nötronun ilginç ve önemli bir parçacık olmasını sağlar.
- Nötronlar ½ spin parçacıklarıdır.
- Nötronların sıfır olmayan manyetik momentleri vardır.
- Serbest nötronlar (bir çekirdeğin dışında) kararsızdır ve beta bozunması ile bozunurlar. Nötronun bozunumu zayıf etkileşimi içerir ve bir kuark dönüşümü ile ilişkilidir (bir aşağı kuark, bir yukarı kuark dönüştürülür).
- Dünyadaki her yerde serbest nötronların doğal bir nötron geçmişi vardır ve yüksek enerjili kozmik ışınların Dünya'nın atmosferinin parçacıklarıyla çarpıştığı atmosferde üretilen müonlardan kaynaklanır.
- Ancak nötronlar, hızlandırıcı ışınlardaki yüksek enerjili parçacıkların başlattığı nükleer reaksiyonlarda üretilebilirler.
- Bir madde parçasının içinden geçerken bir nötron, herhangi bir iyonlaşma üretmez. Nötronlar maddeyi sadece dolaylı olarak iyonlaştırırlar.
- Nötronlar herhangi bir etkileşim olmadan uzun mesafeler boyunca havada hareket edebilirler. Nötron radyasyonu son derece etkilidir.

- Bir nötronun bir çekirdek tarafından yakalanması, genellikle bir radyoaktif izotop oluşumuyla sonuçlanır. (Ağır çekirdek olması durumunda sonuç fisyon olabilir.) Nötronlar nükleer fisyonu tetikler.
- Fisyon işlemi serbest nötronlar üretir.
- Termal veya soğuk nötronlar, atomik aralıklara benzer dalga boylarına sahiptir. Bir maddenin atomik ve / veya manyetik yapısını belirlemek için nötron difraksiyon deneylerinde kullanılabilirler.
- Nötronlar, sıradan radyoaktif bozunma olaylarında yayılmazlar ve elektriksel olarak nötr parçacıklar oldukları için nötronlar, elektronlar ve çekirdekler gibi makineler ile hızlandırılamaz.
- Bir nötron bir maddeye çarptığında, atomik elektronlarla etkileşime girmez (bu yalnızca yüklü parçacıklarda olur).
- Bunun yanında yüklü parçacıklara kıyasla avantajları Coulomb bariyeriyle karşılaşmamaları nedeniyle çekirdeklere rahatça ulaşabilmeleridir.
- Nötronlar doğrudan iyonlaşmaz ve genellikle tespit edilmeden önce yüklü parçacıklara dönüştürülmeleri gerekir.

Genel olarak nötronlar, enerjilerine göre birkaç kategoriye ayrılır:

- Ultra soğuk nötronlar, ~10^{-6} eV enerjili nötronlardır.
- Soğuk nötronlar, ~10^{-3} eV enerjili nötronlardır.
- Termal ya da soğuk nötronlar, madde ile termal dengede olan ve özel durumlarda Maxwellian hız dağılımına sahip olanlardır. E=kT ~0.025 eV enerjili nötronlar.
- Ara (epitermal) nötronlar, -0.5–10 keV enerji aralığındaki nötronlardır. Bu nötronlar, rezonans veya epitermal nötronlar olarak da adlandırılabilir.
- Hızlı nötronlar, 10 keV ila 10 MeV enerji aralığında olanlardır. Bu enerji aralığında nötronlar, elastik çarpışmalar (yani bilardo topu tipi çarpışmalar) yoluyla maddeyle etkileşime girer.
- Rölativistik nötronlar, enerjisi 10 MeV ve üzerinde olan nötronlardır.

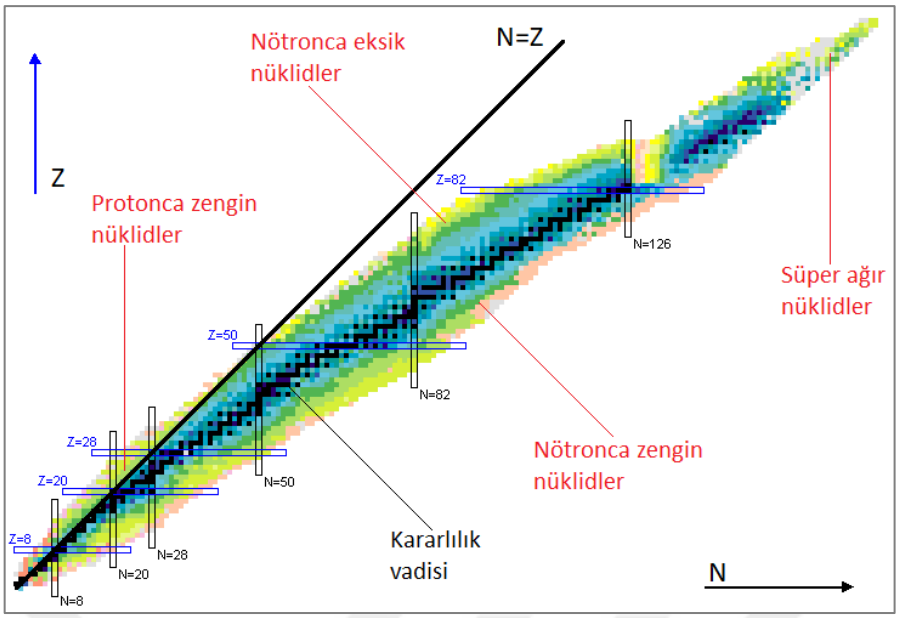
2.3 Nötronca Zengin Çekirdekler

Atom, elektronlarla çevrili, nötron ve protonları içeren bir özden veya çekirdekten oluşur. Protonlar, yüksüz atomlarda elektronların negatif yükü ile dengelenen pozitif bir yüke sahiptir. Nötronlar, protonlarla yaklaşık olarak aynı kütleye sahiptir, ancak herhangi bir elektrik yükü yoktur. Nötronlar ne için gereklidir? Doğa neden nötronlara ihtiyaç duymuştur?

Bir nötron ve bir proton birlikte bir bağlı sistem oluşturur ama iki proton (veya iki nötron) birbirine bağlı değildir. Doğadaki en güçlü kuvvet olan nükleer kuvvetin gizemi işte böyledir ve nükleer bilimdeki ana hedeflerden biri olarak tam olarak anlaşılması devam etmektedir. Yüksüz olan nötronlar, daha ağır izotoplar oluşturmak için ve Coulomb itme ile karşılaşmadan, fazla çaba harcamaksızın pozitif yüklü bir çekirdeğe eklenebilir. Doğa, birçok nötronun doğal bir bölgesi olan süpernovaların merkezinde, etrafımızdaki altın, platin ve uranyum gibi ağır elementlerin çoğunu yaratmak için muhtemelen bu yolu seçmiştir.

Nüklid haritasında (Şekil 2.1) kararlılık bölgesi sınırlarında yer alan çekirdeklerin deneysel çalışmaları, fizik araştırmalarının ön sıralarında yer almaktadır. En egzotik, kuralları çiğneyen çekirdek türlerinden bazıları, protonlara kıyasla alışılmadık derecede yüksek sayıda nötrona sahip çekirdeklere nötronca zengin çekirdekler adı verilir. Nötron bakımından zengin çekirdekler kararsızdır ve hızla diğer daha geleneksel veya kararlı çekirdeklere bozunurlar. Sonuç olarak, laboratuvarda oluşturulmaları gerekir.

Yeni teoriler ve modeller halen geliştirilmekte ve uygulamaya alınmaktadır. Nötronca zengin, protonca zengin ile nötronca eksik çekirdeklerin ki bunlara egzotik çekirdekler de denir, yapılarına ve reaksiyonlarına ait teoriler son yıllarda deneysel çalışmalarla üretilen verilerin çeşitlenmesi ve bolluğu sayesinde artmıştır. Egzotik nötronca zengin çekirdekler çeşitli nedenlerle ilgi çekicidir. Örneğin, Dünya'da doğal olarak bulunmasalar da, evrenin evrimi sırasında daha erken zamanlarda var olmuşlardır ve yıldızların yaşam döngüsünde yani yıldız nükleosentezi süresince sürekli olarak üretilip tüketilirler. Nötronca zengin radyoaktif izotoplar, nükleer fiziğin en ilginç zorluklarından biri olan süper ağır çekirdekleri sentezlemek için mermi olarak da kullanılabilir (Rodriguez-Vieitez, 2007).



Şekil 2.1. Nüklid haritası (Url-3, 2021)

Nötronca zengin çekirdekler, astrofizik çalışmalarında r-sürecini anlamak için de büyük önem taşır. Kozmoloji ve astrofizikteki teorik modelleri geliştirmek ve dolayısıyla evrendeki maddenin sentezini anlamak için bu çekirdeklerin yapısı ve reaksiyon olasılıkları hakkında bir bilgiye ihtiyaç vardır. Egzotik çekirdekler hakkındaki veriler, nihayetinde bir dizi uygulamaya katkıda bulunacak teorik nükleer reaksiyon modellerini geliştirmek için de yararlıdır. Bazı mühendislik uygulamaları, daha verimli ve çoğalmaya dirençli olacak gelişmiş nükleer reaktör tasarımları, atık dönüşümü, güvenlik amacıyla radyoaktif malzemelerin tespiti veya tıbbi açıdan ilgi çekici kararsız izotopların üretimini içerir. Örnek olarak, nükleer atık dönüşümü çok sayıda ara kısa ömürlü nötron açısından zengin izotoplar üretir ve bu işlemin modellenmesi, daha doğru reaksiyon verilerinden büyük ölçüde faydalanabilir (Rodriguez-Vieitez, 2007).

Geçen birkaç on yılda deneysel nükleer fizik tesisleri, yalnızca kararlı mermi demetleri ve hedefler içeren nükleer reaksiyonları işletmek için tasarlandığından çok daha fazla nötronca zengin çekirdek üretmek ve incelemek bu nedenle mümkün olamadı (Rodriguez-Vieitez, 2007).

Nükleer yapı açısından bakıldığında, nötronca zengin çekirdekler yeni ve değerli bilgiler sağlar çünkü yakın zamana kadar nükleer yapı modelleri yalnızca kararlılığa yakın verilere karşı test edilmekteydi. Nötron bakımından zengin çekirdeklerdeki nötron

kabukları ve haleler gibi yeni fenomenlerin son deneysel gözlemi, kararlılığa yakın iyi işleyen geleneksel nükleer modellerin, büyük proton-nötron asimetrileri olan bölgelere kolayca yakınsanamayacağını göstermektedir (Rodriguez-Vieitez, 2007).

Laboratuvar ortamında veya yıldızlarda sayısız türde nükleer reaksiyon meydana gelmektedir. Nükleer reaksiyon terimi, çekirdeği içeren çok çeşitli etkileşimlerden herhangi birini tanımlamak için çok geniş bir şekilde kullanılır. Reaksiyonlara çekirdeği oluşturan parçacıklar olan protonlar ve nötronlar dahil olurlar. Nötron ve proton yakalayan reaksiyonlar, demir (^{56}Fe) elementinden daha ağır elementlerin üretilmesini sağlarlar. Bu reaksiyonlar üç temel süreçle izah edilebilmektedir (Meriç, 2021; Bertulani ve Hussein, 2015; Pfützner vd., 2011; Lattimer, 2010; Nieto, 2007; Benlliure vd., 2003; Litvinov, 2003; Feltus, 2003):

a) p-süreci (proton yakalama): Bu süreçte, hafif çekirdekler proton yakalarlar ve süreç sonunda protonca-zengin çekirdekler üretilmiş olur.

b) s-süreci (yavaş nötron yakalama): Bu süreç evrende gözlenen bir nükleer sentez sürecidir ve doğada veya laboratuvar ortamında gerçekleşmesi mümkün değildir. Orta kütleli kararlı çekirdeklerdir. Bu süreçte, nüklid haritasının kararlılık vadisi olarak tabir edilen bölgesine yakın çekirdekler üretilir. Süreç yavaş nötronların yakalanmasıyla meydana gelir ve evrende AGB türü yıldızlarda meydana gelmektedir. S-süreci, ikincil bir süreçtir. Bunun anlamı söz konusu nükleer sentezin oluşması için bir şekilde ağır element çekirdeğine dönüşmüş olan ağır izotopların varlığı ön şarttır.

c) r-süreci (hızlı nötron yakalama) : Bu süreç bir nükleer sentez sürecinin adıdır ve doğada veya bir laboratuvar ortamında gerçekleşmesi mümkün değildir. Bu süreçte, nötronca zengin ağır kütleli ve çok daha radyoaktif çekirdekler öncelikli olarak üretilir. Bu süreç evrende, süpernovaların çekirdeklerinde meydana gelir ve demirden ağır elementlerin yarısının oluşumundan sorumludur. Süreç, ağır çekirdekler tarafından artarda hızlı nötronların yakalanmasını zorunlu kılar.

2.4 Nükleer Reaksiyonlar

Nükleer fizik çalışmalarının esasını nükleer reaksiyonlar oluşturur. Nükleer reaksiyonlar, bir elementin başka bir elemente dönüştüğü, ortaya bir başka bir element veya ürünün çıktığı olayları ifade eder. Rudherford ve nükleer fizik çalışan diğer bilim adamları, sadece çekirdekte kendiliğinden meydana gelen değişimleri değil bunların yanı sıra, dış etkilerle çekirdekleri değiştirmenin yollarım da incelemenin gerekliliğini ortaya koydular. Yeni bir çekirdeğin oluşumu ya iki farklı çekirdeğin (mermi ve hedef) füzyonu veya çarpışması ya da nükleonların (fragmantasyon, parçalanma, fisyon yoluyla ya hedeften ya da mermi görevi gören) çekirdekten uzaklaştırılmasına sebep olan reaksiyon ile mümkün olur. Gözlenen ilk nükleer reaksiyon, Rutherford'un 1919 yılında azotu alfa parçacıkları ile bombardıman ettiğinde ortaya çıkan protonları gözlediği reaksiyondu (Bertulani vd., 2015; Pfützner , vd., 2011; Lattimer, 2010; Nieto, 2007; Benlliure vd., 2003; Litvinov, 2003; Williams, 1991). Bu reaksiyon $^{4}_{2}He + ^{14}_{7}N \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{3}_{1}H$ ile gösterilir.

Nükleer reaksiyonların çalışılması iki şey gerektirir:

l. Seçilen bir çekirdekten oluşan hedefi bombardıman ederken kullanılabilecek yüksek-hızlı mermi parçacıklarının kontrollü kaynaklarının geliştirilmesi.
2. Hızlı parçacıkların davranışlarını anlama ve onları saptamada kullanılacak yöntemlerin geliştirilmesi.

Birinci maddede kullanılan terimlerin de tanımlanması yararlı olacaktır: (i) Gelen parçacık, herhangi bir çekirdek, nükleer veya atom altı parçacık, verilen uygun bir kinetik enerjide nükleer değişimlere sebep olabilir veya çekirdekleri incelemede kullanılabilir. İlk deneylerde gelen parçacıklar için protonlar ve alfa parçacıkları kullanılmıştı. Son gelişmelerle beraber gelen parçacıkların kullanımına ağır iyonlar da (yani Z>3) dâhil olmuştur. (ii) Yüksek Hız, yeterli veya uygun kinetik enerjiyi belirtmekte kullanılır. Yüklü parçacıklar için Coulomb bariyerini aşabilmesi için yeterli enerjiyi sağlayacak hız miktarı olduğu söylenebilir. Fakat alfa bozunumunu dikkate alarak, bariyeri aşamayan parçacıkların kuantum mekanik olarak çekirdeğe hâlâ girebileceği ve nükleer değişimlere neden olabileceği söylenebilir. Böylece, gelen yüklü parçacıkların hedef çekirdeğin Z'sine bağlı olarak 1 MeV veya yukarısında enerjilere

ihtiyacı olduğu söylenebilir. Bu kısıtlama yüksüz parçacıklara uygulanmaz. Örneğin nötronlar bir bariyere sahip değildirler ve hatta termal enerjili nötronlar bile nükleer reaksiyonlara sebep olabilirler. (iii) Kontrollü, bu terim gelen parçacıkların onları kullanmak isteyen deneycilerin kontrolü altında bir enerji ve yöne sahip olması anlamına gelir.

Bu olanakları sağlayan, hızlandırıcı ve yüklü parçacık demetlerinin teknolojisidir. Eğer gelen parçacık yüklü ise bugünkü teknolojiler enerjisi iyi ayarlanmış demetler sağlayabilir. Protonlar için mümkün maksimum laboratuvar enerjileri 1932 yılında 7* 10^5 eV (= 700 keV) değerinden 1986 yılında yaklaşık 10^{12} ev (= 1TeV) değerlerine, zamanla üstel olarak erişmiştir. Kullanılabilir parçacık demetleri proton ve alfa parçacıklarından başlayıp neredeyse herhangi bir elementin iyonuna kadar genişlemiştir (Williams, 1991).

2.5 Nükleer Reaksiyon Çeşitleri

Nükleer reaksiyonlar, bir mermi parçacığının hedef çekirdek ile etkileşime girdikleri durumlara göre şu şekilde sınıflandırılabilirler: (i) Saçılma, gelen parçacığın ya da merminin hedef parçacık ile çarpışması ve gelen parçacığın ürünler arasında bulunması durumudur. (ii) Esnek saçılma, gelen mermi ve hedef parçacıklar çarpışmada değişmiyorsa ve başka parçacıkların ortaya çıkmaması durumudur. Esnek saçılma gözlenmesi, nükleer reaksiyonlarda yüzey katmanı analizinde oldukça önemlidir. (iii) Esnek olmayan saçılma, eğer mermi parçacığın enerjisi, hedef çekirdeğin Coulomb enerjisini aşabilecek kadar güçlü ise hedef parçacığın uyarılmış hâle geçmesi, parçalanması ya da başka parçacıkların üretilmesi. Bu durumdaki uyarılmış ürün, bir gama ışıması yaparak reaksiyon önceki durumuna dönmeye meyillidir (Williams, 1991).

Bir nükleer reaksiyon çarpışan parçacıklar arasında nükleer bileşenlerin yeniden düzenlenmesiyle gerçekleşmektedir. Bu tanımlar nükleer altı parçacıklar arasındaki reaksiyonlar ele alındığı zaman genişletilecek ve düzenlenecektir. Basit çarpışmalar için kullanışlı sembolik bir gösterim vardır (Williams, 1991). Bir nükleer reaksiyonu temsil eden gösterim $m + H \rightarrow ç + Ü$ ile yazılır. Reaksiyonun kısa gösterimi ise $H(m,ç)Ü$ dir.

Bu gösterimlerde H hedef çekirdeği, m gelen ya da mermi parçacığı temsil eder. Mermi olarak; nötron (n), proton (p), döteryum (d veya 2H), trityum (t veya 3 H), gama/foton g veya f), helyon (h veya 3He) ve alfa (a) ya da kütlesi (A) 4'^den büyük olan yani ağır çekirdekler seçilebilir. Nükleer reaksiyonların ürünleri olan ç ve Ü ise gama ışınları, bazı hafif parçacıklar (n, p, d, t, 3He, α) gibi reaksiyon kanalı ile daha ağır "artık çekirdek"'lerden oluşur. Bu nedenle mermi, hedef ve ürünler $n + {}^{6}Li = {}^{7}Li + \gamma$ ya da ${}^{6}Li(n,\gamma){}^{7}Li$ veya ^{235}U(n,2n)^{234}U gibi yazım biçimleriyle belirtilerek nükleer reaksiyon tanımlanabilir:

Bu durumlarda, artık çekirdek başka bir kararlı izotoptur; bununla birlikte, bazen kararsızdır ve bir miktar "yarı ömür" ile diğer ürünlere bozunur. Örneğin, ^{27}Al üzerindeki (n,gama) reaksiyonu, yarı ömrü 2.25 dakikalık negatif bir beta parçacığı yayarak ^{28}Si'ye bozunan ^{28}Al üretir.

Değerlendirilen nükleer reaksiyon verilerinin çeşitli kitaplıkları normalde reaksiyonları tanımlamak için bazı standart tanımlayıcılar kullanır. Örnek olarak, ENDF sistemi (n,gama; reaksiyonu için MT=102 ve (n,2n) reaksiyonu için MT=16 kullanır.

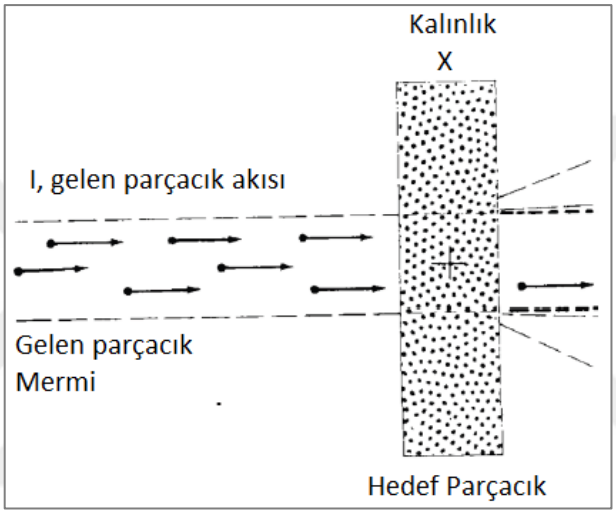
2.6 Nükleer Reaksiyon Kavramları

Nükleer reaksiyon süreçlerinin daha kolay kavranabilmesi ve bu süreçlerin doğru analiz edilebilmesi için bazı kavramların varlığı kaçınılmazdır. Nükleer reaksiyonlar, üzerinde çalışılması ve anlaşılması gereken, deneyle gözlenebilen olaylardır. Aynı zamanda diğer alanlarda da bilgimizi arttırmaya yardımcı olurlar.

Nükleer radyasyon ve madde arasındaki etkileşime "nükleer reaksiyon" denir (gama ışınları foto-atomik reaksiyonlar yoluyla bir atomun elektronlarıyla da etkileşime girebilir). Nükleer reaksiyonlar, gelen radyasyonun türü, nükleer hedef, reaksiyon ürünleri, "tesir kesiti" olarak adlandırılan reaksiyonun gerçekleşeceği ve reaksiyon ürünlerinin enerji ve açılarındaki dağılımlar olasılık belirtilerek tanımlanır.

2.6.1 Tesir kesiti

Parçacıklar, çekirdekler veya atomlar arasındaki çarpışmalar deneysel fiziğin esas parçalarıdır. Alfa parçacıklarının atomlarla çarpışmasının incelenmesinden çekirdeğin keşfedilmesi, bunu vurgular. Esasında, bir atomun veya atom altı parçacığın başka bir hedef parçacıkla çarpışması amaçlanmaz, bundan ziyade demet olarak adlandırılan gelen parçacıkların, hedef parçacıkların bulunduğu uzayın bir bölgesinde meydana gelecek olan karşılaşmada yaşanacak rastgele çarpışmalara güvenilir (Williams, 1991).



Şekil 2.2. Tesir kesiti şematik gösterimi

Hedef çekirdeğe gelen bir ışın demetindeki parçacıkların hangi kısmı belirli bir nükleer reaksiyona katılır? Sorunun cevabı: Mikroskobik fizikte "kesinlikler" tahmin edilmez, "olasılıklar" tahmin edilebilir. Bir merminin bir hedef çekirdeğe "vurması" (yani, ondan saçılması veya parçalanması gibi onunla etkileşime girmesi) olasılığı "tesir kesit" ile tanımlanabilir. Belirli bir parçacık için bir çekirdek üzerine olası farklı işlemler ya da reaksiyon kanalları farklı tesir kesitlerine sahiptir. Tesir kesitleri, çeşitli reaksiyon değişkenlerine bağlıdır. Tesir kesit ölçümleri, bir nükleer fizik laboratuvar deneyinde yapılan en önemli (ve en yaygın?) ölçümlerden bazılarıdır.

Tesir kesiti, iki parçacık arasında bir çarpışma meydana gelme olasılığını gösteren, nicel bir ölçü ile belirlenmesi ihtiyacını karşılayan terimdir. Bu nicelikler; çarpışan parçacıkların doğası olan enerji, yük, kütle numarası gibi özellikler ve aralarındaki kuvvetle ilişkilidir. Bununla beraber gelen parçacık ile hedef arasındaki etkileşim ve

sonrasında oluşacak ürünler hakkında bilgi sağlıyor olmasından dolayı nükleer süreçlerin dahil olduğu pek çok uygulama ve alanda önemli bir veridir. Tesir kesitinin değeri ve davranışı temel fizikle sıkı sıkıya bağlıdır ve bunların yorumu önemli bir beceridir (Krane, 1988; Williams, 1991).

Hn tane hedef çekirdek içeren bir Y yüzey alanına ve X kalınlığına sahip bir hedefe gelen I şiddetindeki parçacık demetini temsil eden görsel Şekil 2.2'dir. Mermi parçacıkları, levhadaki hedef çekirdekler ile etkileşime geçtiklerinde ya saçılma ya hem saçılma hem soğurulma ya da soğrulma olaylarına maruz kalabilirler. Etkileşim sonrasında çıkan parçacıkların sayısı S olsun. Bu durumda Nükleer reaksiyona ait tesir kesiti □ = Y / I*Hn eşitliği ile hesaplanır.

Gelen parçacıklar hedef çekirdeklerle etkileştiklerinde, tek bir tür nükleer reaksiyon meydana gelmesi gerekmez. Birden fazla türde reaksiyon meydana gelmiş olması durumunda her tür için tesir kesiti çoğunlukla farklı olacaktır ve bunlara kısmi tesir kesitleri denir ve toplam tesir kesiti bunların toplamına eşit olacaktır.

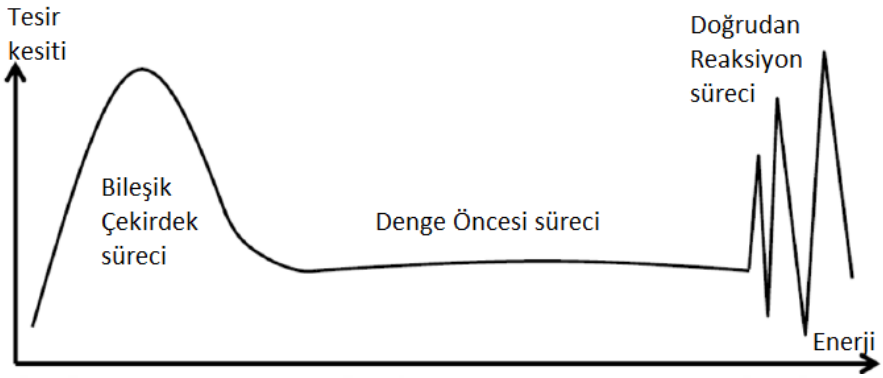
Tesir kesiti neden önemlidir? (i) teori ve deney arasındaki buluşma alanıdır, (ii) Kuantum mekaniğini kullanan nükleer teori, belirli koşullar altında belirli bir nükleer sürecin meydana gelme olasılığını tahmin etmek için kullanılır (ör. gelme enerjisi, gözlem açısı, vb.), (iii) bu tahminin nicel ölçüsü, sürecin kesitidir. Yani, nükleer teori, bir sürecin özgün kesitini tahmin etmek için kullanılır, (iv) teorik tahmin ve ölçüm arasındaki karşılaştırma, temel teorinin önemini değerlendirmek için kullanılır. Bu son madde işareti (yukarıda) "bilim yapmanın" özünü anlatmaktadır.

Bir nükleer reaksiyonun meydana gelme olasılığı, bir alan birimidir, 10^{-24} cm^2'ye eşit olan "barn" birimleriyle ölçülür. Bir hedef malzeme bir dizi küçük disk olarak görselleştirilebilir. Daha büyük diskleri vurmak kolay olacaktır (büyük kesit, büyük reaksiyon olasılığı) ve daha küçük diskleri vurmak zor olacaktır.

2.7 Nükleer Reaksiyon Mekanizmaları

Nükleer reaksiyon, en az bir nüklidin diğerine dönüşümünü içerir. Aksine, etkileşimden sonra herhangi bir dönüşüm yoksa süreç nükleer reaksiyondan ziyade nükleer saçılma

olarak bilinir. Nükleer reaksiyonların iyi bilinen örnekleri “füzyon” ve “fisyon”’dur. Füzyon reaksiyonları için en iyi bilinen örnek yıldızlardır. İnsan kontrollü reaksiyonların en ünlüsü nükleer reaktörlerde meydana gelen fisyondur.



Şekil 2.3. Reaksiyon mekanizmaları, modelleri şematik gösterimi

Nükleer reaksiyon mekanizmaları; en yaygın şekilde reaksiyon sürecinin gerçekleşme zamanına göre direkt (doğrudan) reaksiyonlar, bileşik çekirdek reaksiyonlar ve denge–öncesi reaksiyonlar olarak üç sınıfta incelenebilirler (Şekil 2.3). (i) Doğrudan reaksiyonlar, mermi ile hedef arasındaki etkileşim 10^{-21} - 10^{-22} sn gerçekleşen “hızlı” çarpışmalardır. Bu süre; mermi parçacığın, hedef çekirdeği geçmesi için gereken yaklaşık zamandır. Doğrudan reaksiyonların sınıfları; “elastik ve elastik olmayan saçılma”, “yakalama reaksiyonları”, “transfer reaksiyonları”, “parçalanma reaksiyonları” ve “nakavt reaksiyonlarıdır”. Doğrudan reaksiyonlarda sadece birkaç serbestlik derecesi uyarılırken diğer serbestlik dereceleri etkin bir şekilde pasif kalır. (ii) Bileşik çekirdek reaksiyonlarında ise; mermi parçacığın hedef tarafından soğurulması ve parçacık yayınlanmaya başlanmadan önce istatistiksel dengeye ulaşması, “yavaş” çarpışmalardır ve 10^{-12} – 10^{-20} sn sürede gerçekleştiği kabul edilir.

“Tamamlanmış” ve “tamamlanmamış” füzyon reaksiyonların beklendiği süreçtir. Bileşik çekirdek reaksiyonları birçok serbestlik derecesine sahip uyarıları içerir ve bu reaksiyonlar genellikle merminin düşük enerjiye sahip olması durumunda meydana gelir. (iii) Mermi parçacık ile etkileşim sonucunda, istatistiki dengeye ulaşmadan parçacık yayınlanmasının gerçekleştiği durum ise; denge–öncesi nükleer reaksiyonlardır. Bu süreç, direkt ve bileşik çekirdek reaksiyonlarının arasındaki zaman

ölçeğinde gerçekleşir. Yarı klasik modeller olan “eksiton” ve “hibrid” modeller bu süreçte işletilir.

2.7.1 Doğrudan reaksiyonlar

Elastik saçılma, bir merminin ve bir hedefin temel hallerinde kaldığı ve reaksiyon sırasında açığa çıkan enerjinin olmadığı “en basit reaksiyon”dur. Çarpışmadaki parçacıklar sadece hareket yönlerini ve belki dönme yönünü değiştirir. Öte yandan, mermi ve hedef çekirdek karmaşıksa, karşılıklı uyarma olarak bilinen uyarılmış durumlarda bırakılabilirler. Çekirdeklerin gelen parçacıkları nasıl saptırdığını gözlemleyerek çekirdeğin boyutu ve yapısı hakkında bilgi edinilebilir. Bir merminin veya hedefin uyarılmış durumda bırakıldığı bir reaksiyon, esnek olmayan saçılma olarak bilinir. Elastik saçılmadan farklı olarak, bu tür bir reaksiyonda enerji, hedef çekirdek ile gelen parçacık arasında aktarılır. Yüklü veya nötr parçacıkların çekirdek tarafından yakalandığı reaksiyonlar yakalama reaksiyonları olarak bilinir ve bunlara gama ışınlarının emisyonu eşlik eder. Dönüşümlere yol açan başka bir reaksiyon sınıfı transfer reaksiyonlarıdır. Hedef ve geçen partikül arasında bir veya daha fazla nükleonun transfer edildiği reaksiyon tipine partikül transfer reaksiyonları denir.

2.7.2 Füzyon buharlaşma reaksiyonları

Füzyon-buharlaşma reaksiyonları ağır elementlerin üretilmesinde tercih edilir ve reaksiyon gösterimi *m + H → Ç* → ç + Ü* → ç + Ü +* □□□□Bu tür reaksiyonlarda ağır iyon olan bir mermi (m), bileşik bir çekirdek oluşturmak için yine ağır bir çekirdek olan hedef (H) ile çarpışır. Bileşik çekirdek uyarılmış haldedir (Ç*) ve çekirdeği uyarılmış durumda bırakan buharlaşma (ç) süreci ile enerji kaybeder ve bozunur (Ü*). Gama ışıması ile uyarılır. Nötronlar gibi hafif reaksiyon kanalları buharlaşır (ç) ve bu şekilde yeni bir çekirdek üretilir (Ü).

Bileşik Ç* çekirdeğinin oluşumu mermi gelme enerjisine (E), açısal momentuma (l) ve giriş kanalına bağlı olacaktır. Oluşum başarılı olmazsa, ön bileşik sistem m + H, yarı fisyon olarak bilinen hedef benzeri ve mermi benzeri parçalara bölünecektir. Bileşik çekirdek, nötronlar ve gama ışınları gibi parçacıkların buharlaşması yoluyla enerji kaybedebilir. Nötronların buharlaşması, Coulomb bariyerinden etkilenmediği için

protonlara ve partiküllere göre tercih edilir. Sonuç olarak, esas olarak nötron eksikliği olan izotoplar üretilir. Bu şekilde uyarma enerjisi, buharlaşan parçacığın ayırma enerjisi ve kinetik enerjisi tarafından azaltılır.

BÖLÜM III

MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasının motivasyonunu; nötronca zengin çekirdeklerin ya da diğer tabiriyle egzotik çekirdeklerin tesir kesitlerini teorik hesaplama araçları olan nükleer reaksiyon bilgisayar kodları ile çalışmak oluşturmaktadır. Bu kodlara örnek olarak; GNASH, ALICE, STAPRE, CASCADE, EMPIRE, PACE4, HIVAP ve TALYS gibi çok bilinen ve kullanılan kodlar verilebilir.

Bu çalışmada EMPIRE, PACE4, HIVAP ve TALYS kodları; literatürde sıklıkla bahsi geçen ve çok farklı uygulamalar için kullanılmaları, bu tez çalışmanın motivasyonunu teşkil eden hesaplamaları gerçekleştirebilecek olmaları, nihai olarak literatüre sundukları geniş katkı ve kabul gören sonuçlar üretebilme yeteneklerine sahip olmaları nedeniyle tercih edilmiştir Tesir kesiti hesaplamalarında elde edilen sonuçlar, EXFOR nükleer veri tabanından alınan deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır (Young vd., 1993; Blann, 1993; Uhl ve Strohmaier, 1976; Pühlhofer, 1977; Herman, 2007; Gavron, 1980; Koning vd., 2015; EXFOR, 2017).

3.1 Nükleer Reaksiyon Kodları Hakkında

Nötronca zengin çekirdeklere ait reaksiyonları doğada gözleme olanağı yoktur ve standart laboratuvar işlemleriyle çalışmak çok zordur ya da imkânsızdır. Daha gelişmiş laboratuvar ortamı ya da özel donanımlı, çok yüksek enerji üretebilen, yüksek teknolojiye sahip özgün kurgular gerekmektedir. Böyle ortamlarda bile söz konusu donanımların ya da kurguların fiziksel olarak yetersiz kaldığı da görülmektedir. Özellikle ülkemizde karmaşık düzende henüz böyle bir laboratuvar ortamı olmadığı dikkate alındığında, bu tez çalışmasının motivasyonunu teşkil eden bu türden reaksiyonların laboratuvar deneylerini yapmak imkânsız hale gelmektedir. Yurt dışı laboratuvarlarında ise bu imkânı bulmak, hem sayılarının az hem de maddi anlamda zorlayıcı olmaları nedeniyle uzun vadede mümkün olmaktadır.

Fiziksel deney şartlarının zorluğu, zaman kısıtları ve maliyetleri dikkate alındığında deneylerden önce ve sonra teorik hesaplarla oluşacak tesir kesitlerinin modellerin ön

gördüğü ile tutarlı olmaları değerlendirilerek incelenmesi zaman kaybının engellemesine, kısıtlı deney bütçesinin ek masraflardan korunmasına yardımcı olacaktır. Bir deney planlanırken mermi enerjisi, mermi enerji akımı ve istenen çalışmalar için hangi mermi ve hedef türlerinin en uygun olduğunun bilinmesi gerekir. Üretilmesi istenen iyon için tesir kesiti, mermi enerjisine bağlıdır. Gerekli mermi akımı, sırasıyla kullanılan mermi ve hedefin türüne bağlı olan istenen ürünün tesir kesitleriyle ilişkilidir. Bir deneyde hangi ışın enerjisi, hangi ışın akımı ve hangi türün kullanılması gerektiği soruları, teorik tesir kesitlerinin iyi bilinmesiyle belirlenebilir. Bu teorik tesir kesiti değerleri de bu maksatla geliştirilmiş teorik model hesapları ile belirlenir. Bahsedilen teorik hesaplamaların yapılabilmesi konusunda bilgisayar programlarının rolü çok büyüktür. Bu programlar sayesinde analitik çözümün zor ya da imkânsız olduğu matematik problemlerinin çözümü yapılabilmektedir. Bunlar sadece akademik amaçlar için değil, aynı zamanda dünya çapında var olan nükleer veri kütüphanelerinin oluşturulması için de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Yiğit, 2018; Yiğit vd, 2017; Gandhi vd., 2017; Koning vd., 2015; Uyar vd., 2013).

Bununla beraber deneylerle ulaşılan sonuçların kodlarla elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmasının yapılıp hata oranlarını ya da analizlerinin doğruluğunu belirleyebilmek ve böylece teorinin sınamasını gerçekleştirmek daha olası kılınmıştır. Daha sonra bu veriler kullanılarak yapılmamış deneylerde daha yüksek dereceden enerjili parçacıkların gönderilmesiyle oluşacak yeni çekirdeklerin tesir kesiti hesaplarının deney öncesinde yapılması uygulamada hız sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında hem ülkemizde hem de dünyada bu alanda çalışan bilim gruplarınca gerçekleştirilen deneysel ve teorik reaksiyonlar yeniden denenmiştir.

3.2 EMPIRE: Nükleer Reaksiyon Kodu

İlk EMPIRE kodu 1980 yılında kullanıma sunuldu. Kökeni itibariyle Hauser-Feshbach teorisine ve denge öncesi etkileri dikkate alan klasik hibrid modeline dayanmaktadır. İlk sürümden sonraki sürümü ise tümüyle yenilikler içeren EMPIRE-2'dir. Bu çalışmada da kullanılan sürümünde, önceki geliştirmelerin aksine, farklı bir programlama anlayışıyla yeniden yazılım yapılmıştır (kodun ana yapısı değişmeksizin birçok yeni özellik eklenmiştir). Bu sayede yenilenen kodun daha esnek ve genel olması sağlanmıştır. Reaksiyon modellerine bağlı olarak; yayınlanma spektrumu, açıya bağlı yayınlanma

spektrumu, toplam ve parçacık/reaksiyon temelli tesir kesiti, açıya bağlı çift katlı tesir kesiti, esnek ve esnek olmayan saçılma tesir kesiti, soğurma ve uyarılma enerjileri düzeltilmelerinin dikkate alınarak geri tepme yayınlanması ve kesikli düzeylerin popülasyonu gibi hesaplamaların yapılması mümkün hale gelmiştir. Kod; nötron, proton, foton, döteryum, trityum, alfa, 3He ile hafif ve ağır iyonlar mermi olarak seçilebilmektedir. Mermi parçacıklar için enerji aralığı, kullanılacak reaksiyon modelinin izinli aralığında seçilecek parçacığa bağlı olarak rezonans bölgesinden (keV) başlayıp birkaç yüz MeV'e kadar değişebilmektedir (Herman vd. 2013).

EMPIRE ilk zamanlarda Fortran programlama dili ile geliştirilmiş ve UNIX/LINUX işletim sisteminde çalıştırılırken daha sonra Windows işletim sistemlerinde kullanılabilecek, kurulum gerektirmeyen taşınabilir bir sürümü de geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan EMPIRE-3.2 sürümü Malta adıyla anılmaktadır ve 2011 yılında kullanıma sunulmuş olan Rivoli sürümünden sonra geliştirilmiştir. Her ne kadar ara bir sürüm olsa da, bu sürüm: (i) deneysel verileri otomatik olarak ayarlamayı sağlayan hazır fisyon nötron tayfları (prompt fission neutron spectra – PFNS), (ii) PFNS'nin grafik çizimi, mu-bar ve nu-bar, (iii) bileşik, elastik ve elastik olmayan mekanizmalar için izotropik olmayan açısal dağılımlar, (iv) Engelbrecht-Weidenmüller dönüşüm simülasyonu, (v) ENDF-6 biçimine sahip dosyaları işletmeye yarayan yeni on alt yordam gibi birçok önemli geliştirmeyle desteklenmiştir:

EMPIRE kodu, nükleer reaksiyon hesaplamalarında, farklı geliştiriciler tarafından yazılmış ve alt betikler haline getirilerek uyarlanmış olan çeşitli reaksiyon model kodlarının kullanılmasıyla işlemektedir (Çizelge 3.1).

Bu modellerin kullanımına, kullanıcının hazırladığı girdi dosyası ile karar verilmekte ve farklı modellere ait hesaplamaları modüler yapısındaki alt kodları kullanarak yapmaktadır. Bu sürümde bir araya getirilmiş olan diğer kodların sürüm içerisinde kullanılabilmesini sağlayan düzenlemeler girdi ya da çıktı parametrelerini sağlayan ara yüzlerle ilgilidir (Çizelge 3.2), orijinal kaynak kodun üzerinde herhangi bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 3.1. EMPIRE'a dahil edilmiş kodlar

KOD	YERİNE GETİRDİĞİ İŞLEV
ECIS06, OPTMAN	Doğrudan reaksiyonlar genelleştirilmiş optik model çiftlenimli kanallar ve bozulmuş–dalga Born yaklaşımı (DWBA) ile açıklanır
CCFUS	Ağır iyon (HI) füzyon tesir kesiti hesaplamaya yarayan basitleştirilmiş bileşik-kanallar
ORION, TRISTAN	Deformasyon bağımlı çok adımlı direk reaksiyon modeli ile düzeltilir
DDHMS	Denge öncesi bozunum için hibrid Monte Carlo simülasyonu
PCROSS, NVWY	Denge öncesi mekanizma Eksiton model ile açıklanır
BARMOM	Fisyon bariyerleri ve eylemsizlik momenti

Çizelge 3.2. Sonuçlar için bağımsız olarak işletilen araçlara ait kodlar

ARAÇ	YERİNE GETİRDİĞİ İŞLEV
EMPEND	EMPIRE sonuçlarını ENDF-6 formatına dönüştürmektedir
ENDRES	Mevcut rezonans parametrelerini, EMPEND ile elde edilmiş ENDF-6 formatındaki dosyalarına ekler.
X4TOC4	EXFOR'dan elde edilen deneysel verilerin bilgisayar hesaplamasına ait CA formatına dönüştürür.
C4SORT	Deneysel verileri bilgisayar hesaplamalı C4 formatında sıralar.
FIXUP	Artık kesitleri yeniden kullanılabilir hale getirmek için kullanılır.
LEGEND	Farklı format gösterimlerindeki ENDF verilerinden elde edilen çizelge düzenindeki doğrusal Interpol edilebilir açısal dağılımları yeniden oluşturur.
LSTTAB	PLOTTAB formatındaki ENDF ve EXFOR verilerini çizelge haline getirir
SIXTAB	ENDF dosyası olan MF6'yı Law 7 gösterimine dönüştürür.
PLOTC4	EMPIRE sonuçlarıyla EXFOR verileri arasında yapılan kıyaslamayı çizer.
CHECKR	ENDF-6 formatındaki dosyanın format kontrolünü yerine getirir
FIZKON	ENDF-6 formatındaki dosyanın fiziki durum kontrolünü yerine getirir
PSYCHE	ENDF-6 formatındaki dosyanın fiziki durumunu daha fazla ayrıntıyla kontrolünü yerine getirir
LINEAR	ENDF dosyası olan MF-3'ü (kesitler) doğrusal-doğrusal interpole edilebilir yapıya dönüştürür
PLTLST	ENDF dosyasındaki niceliklerle kıyaslanabilmesi için EXFOR veri tabanındaki veri türlerinin listesini oluşturur
RECENT	doğrusal interpole olabilen yapı içine ENDF dosyasındaki kesitleri dahil eden rezonans yeniden oluşturur.
SIGMAI	ENDF dosyasındaki nötron yüklü kesitleri doppler genişlemesini uygular
STANEF	farklı format gösterimlerindeki ENDF verilerinden elde edilen çizelge
Zvvddx	ZVView paketi ile açısal dağılımlar, tayflar ve çift diferensiyel kesitlerin çizimlerinin yapılmasını sağlar
c4zvd	ZVView çizim paketi

Çizelge 3.2. (devam) Sonuçlar için bağımsız olarak işletilen araçlara ait kodlar

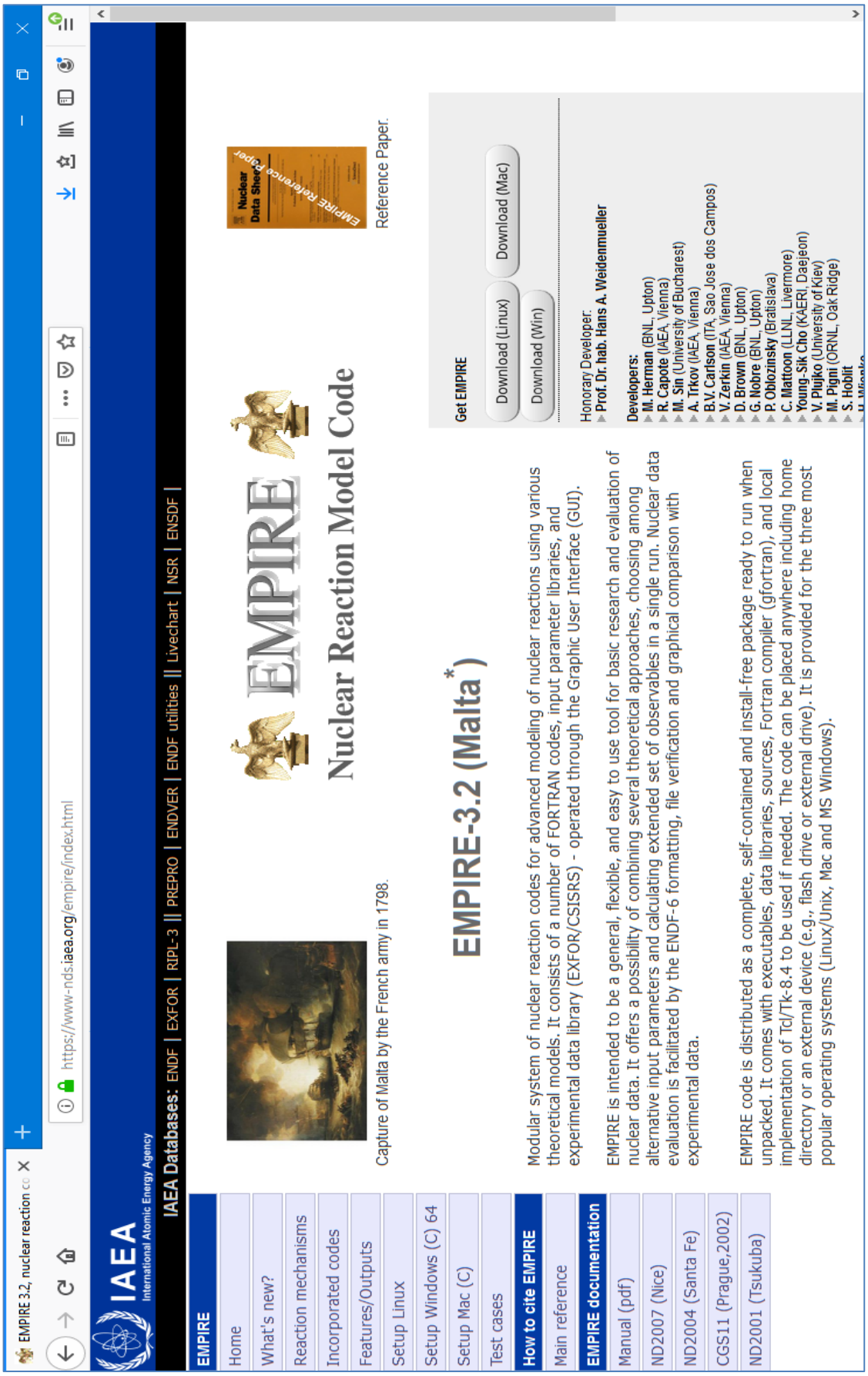
Calc-Cov	Monte Carlo yardımıyla kesit kovaryanslarının hesaplanabilmesine imkan veren kodlar ve betiklerdir
cs2zvd	ENDF-6 formatında olmaksızın doğrudan EMPIRE çıktıları kullanılarak kesitlerin zvd çizimlerinin yapılmasını sağlar
endf33zvd	kovaryansların üç boyutlu zvd çizimlerinin yapılmasını sağlar
IO	ENDF-6 dosyalarının okunması ve yazılmasını sağlayan f90 modül takımı
KALMAN	kovaryansları üreten ve deneysel verileri uyarlayan kod
KERCEN	kernel yaklaşım yöntemi kullanılarak rezonans bölgesinde kovaryanslar üretebilmek için bağımsız bir kod gibi işleyen C++ kodu
MRGMAT	farklı malzemeleri tek bir ENDF-6 dosyasına birleştirmek için kullanılan kod
PLTSENMAT	model parametrelerine kesit duyarlılığının zvd çiziminin yapılmasını sağlar
RESONANCE	Nötron Rezonanslarına ait Atlas'tan verileri ayıklamak ve kovaryanslar barındıran ENDF-6 formatındaki rezonans dosyasını oluşturmak için gerekli rezonans modülü
STAN	STANEF betiği için modern f90 değişimi

3.2.1 Temin edilmesi

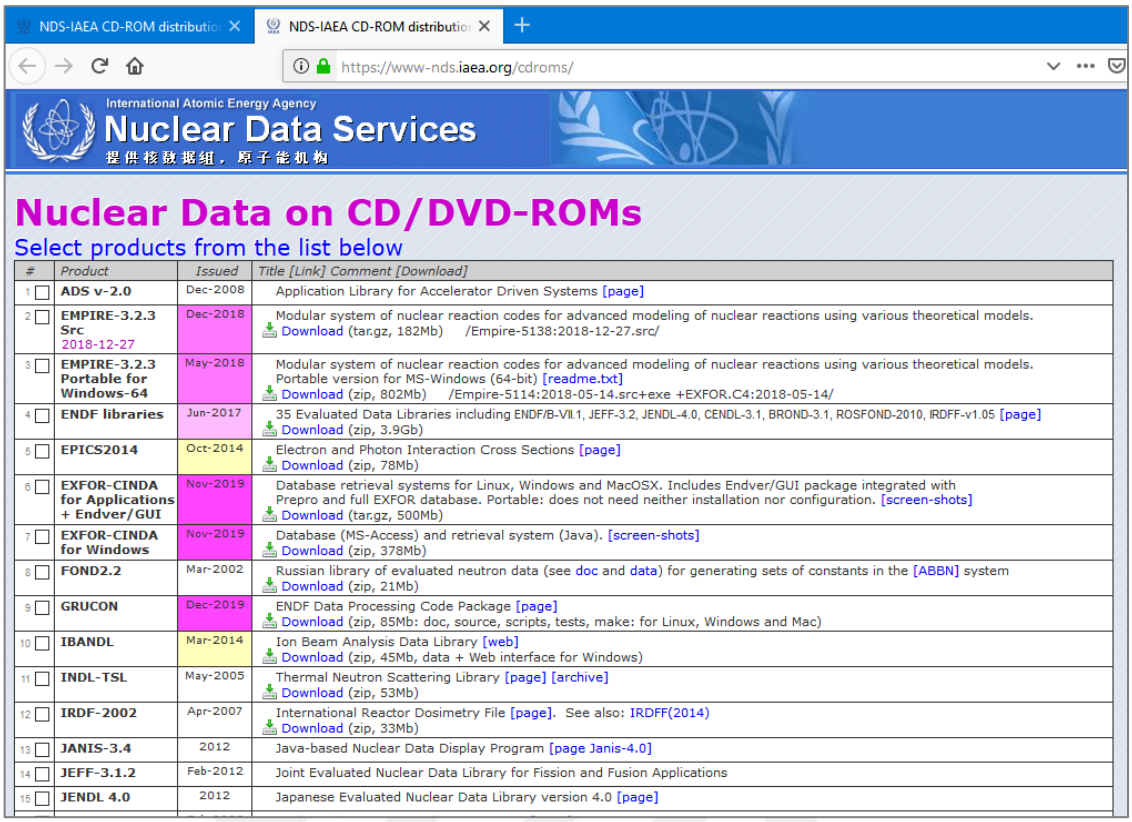
EMPIRE uygulamasını temin etmek için https://www-nds.iaea.org/empire/index.html web alanına erişmek gereklidir (Şekil 3.1). Kullanıcı, bu alana eriştikten sonra ekranın sağ tarafında bulunan "*Get EMPIRE*" sekmesinde görünen "*Download*" düğmelerinden birini kullanarak indirme web alanına yönlendirilir (Şekil 3.2).

Kullanıcılar, gerekirse, bir web tarayıcısından https://www-nds.iaea.org/cdroms/ yazarak da doğrudan indirme alanına erişebilirler. Bu yer, aynı zamanda, ihtiyaç duyulan ENDF, RIPL (Capote vd., 2009), EXFOR gibi veri tabanı kütüphanelerine de erişilebilen alandır. Hangi sürüme ya da veri tabanına ihtiyaç varsa indirme tablosunda kayıt satırında görünen "*Download*" bağlantısına tıklanır.

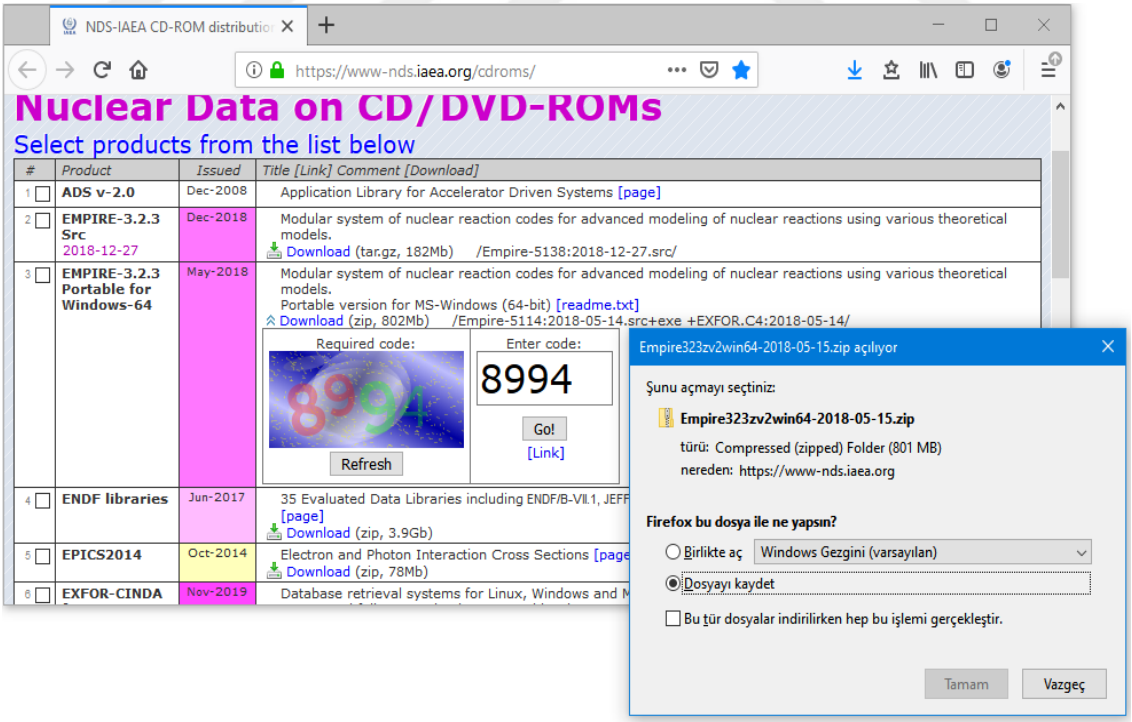
Ardından indirme bağlantısının görünmesi için ve kullanıcının bir robot olmadığının tespiti için bir "*pin*" numarası girilmesi kullanıcıdan beklenir. Pin numarası doğru girildiğinde indirme bağlantısı görünecektir. O bağlantı tıklandığında ise indirme penceresi açılacaktır (Şekil 3.3).



Şekil 3.1. EMPIRE ana web alanı

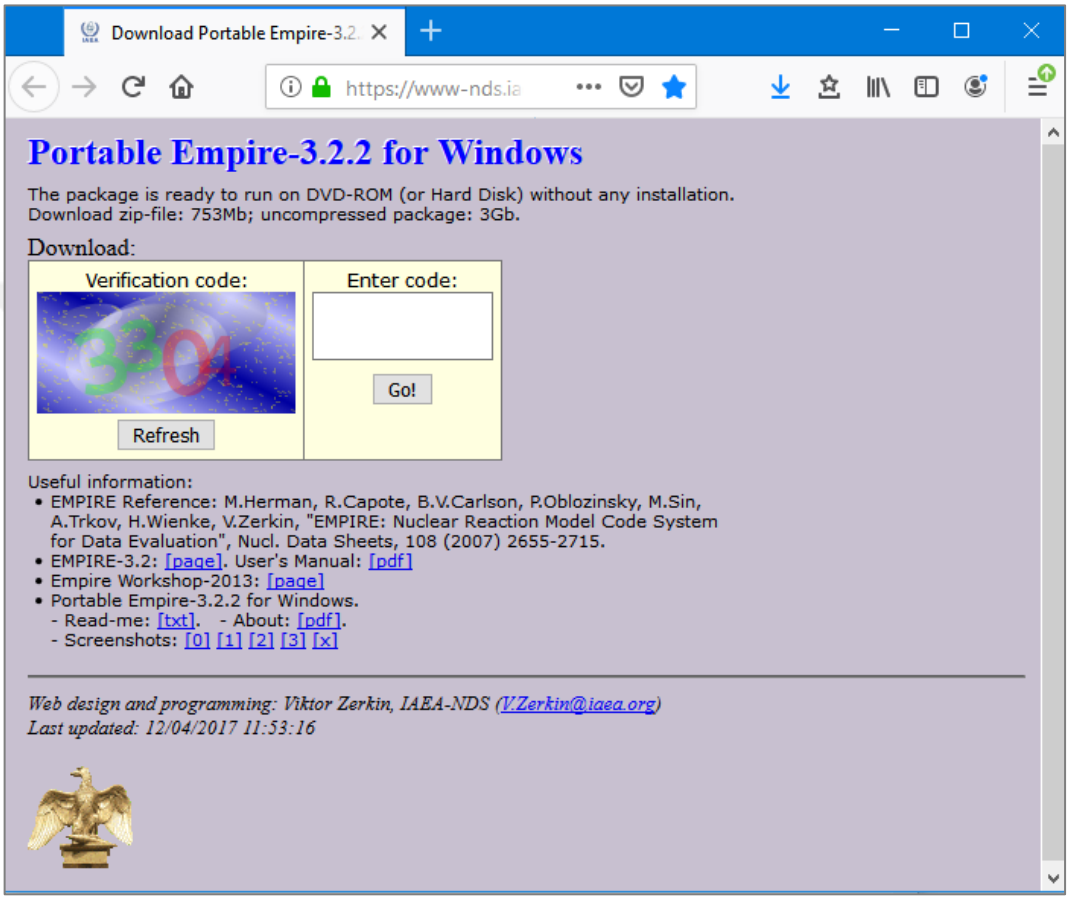


Şekil 3.2. EMPIRE kodu kurulum paketleri web alanı



Şekil 3.3. EMPIRE Windows OS sürümü için indirme web alanı

Bir önceki sürüm olan EMPIRE-3.2.2 MALTA portable Windows OS sürümü sayfasına da erişilerek indirilebilir (Şekil 3.4). Bu sürüme neden atıf yapıldığına ise uygulamanın kullanılmasında karşılaşılan sorunlarda değinilecektir. İndirme web alanı adresi https://www-nds.iaea.org/index-meetingcrp/EmpireWorkshop2013/downloadEmpire_322win.htm



Şekil 3.4. EMPIRE-3.2.2 Windows OS portable sürümü web alanı sayfası.

3.2.2 Windows portable sürümü

3.2.2.1 Kurulum

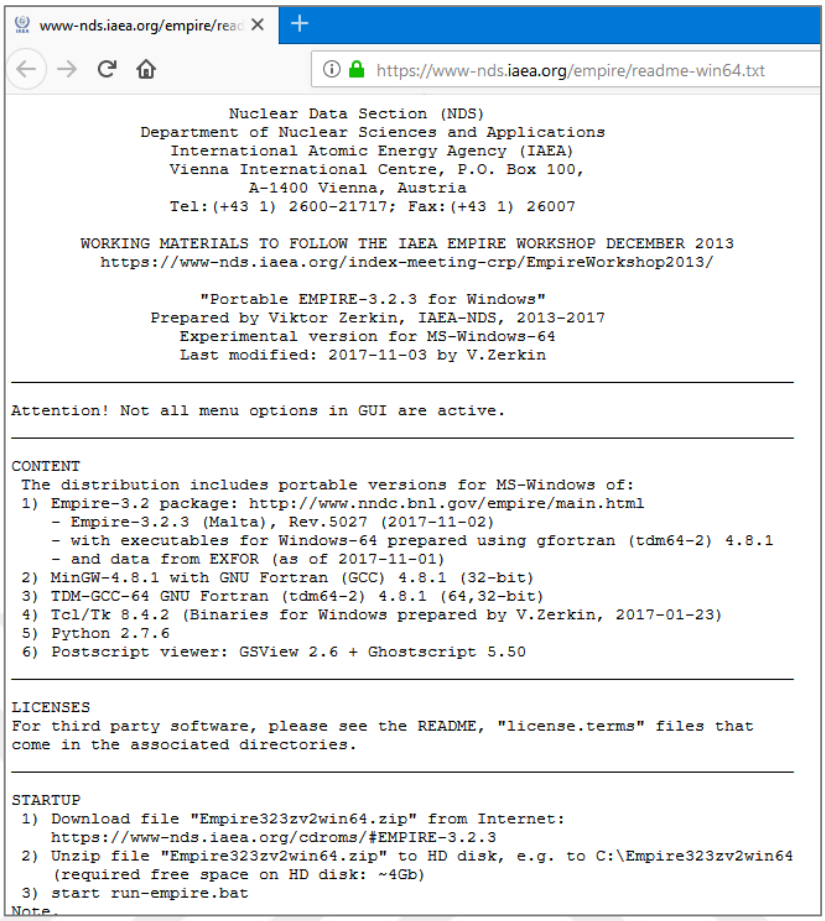
EMPIRE kodu, en popüler üç işletim sistemi için sağlanmıştır (Linux / Unix, Mac ve MS Windows). Paketten çıkarıldığında çalışmaya hazır, eksiksiz, bağımsız ve kurulum gerektirmeyen bir paket olarak dağıtılır. Gerektiğinde kullanılmak üzere çalıştırılabilir dosyalar, veri kitaplıkları, kaynaklar, Fortran derleyicisi (gfortran) ve yerel Tcl/Tk

uygulaması ile birlikte gelir. Kod, ana dizin veya harici bir cihaz (ör. Flash sürücü veya harici sürücü) dahil herhangi bir yere yerleştirilebilir.

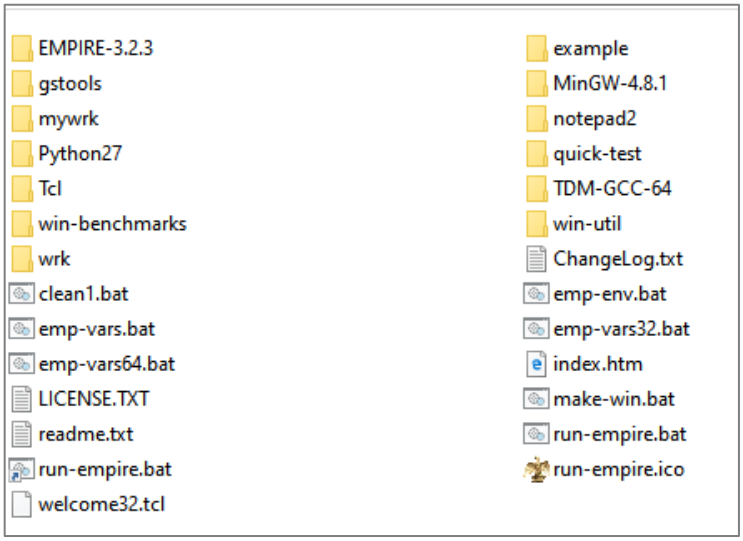
Uygulamanın "*Windows Portable*" sürümü Şekil 3.2'de ve Şekil 3.3'de anlatıldığı yolla kullanıcı tarafından bilgisayara indirilir. Dosyanın adı "*Empire323zv2win64-2018-05-15.zip*" dir ve boyutu 820 MB'dir, dosyanın açık hali ise 4 GB kadardır. Kullanıcılar sıkıştırılmış dosyayı istedikleri bir dizinde Şekil 3.5'de ve altta tarif edilen işlem adımlarını izleyerek açabilirler.

```
STARTUP
 1) Download file "Empire323zv2win64.zip" from
internet:
    https://www-nds.iaea.org/cdroms/#EMPIRE-3.2.3
 2) Unzip file "Empire323zv2win64.zip" to HD disk, e.g.
to C:\Empire323zv2win64
    (required free sPACE4 on HD disk: ~4 Gb)
 3) start run-empire.bat
Note.
 No installation is needed; no configuration.
 All software is pre-configured and ready to run.
 This package can be run from a DVD-ROM
(D:\Empire323zv2win64\run-empire.bat).
 However, it is strongly recommended to run EMPIRE from
the hard disk.
Important!
 Please, do NOT use blank (sPACE4) symbol neither in
your directory names nor in your files and project
names.
```

Herhangi bir web tarayıcı programından https://www-nds.iaea.org/empire/readme-win64.txt girilerek de kurulum yönergesine erişilebilir.



Şekil 3.5. EMPIRE Windows OS için kurulum yönergesi web alanı sayfası.



Şekil 3.6. Sıkıştırılmış hali açıldıktan sonraki dizin içeriği

3.2.2.2 Çalıştırılması

Sıkıştırılmış haldeki dosya Şekil 3.6'da görünen dizinler ve dosyalar olarak açılır. Windows portable sürümü için herhangi bir kurulum ya da yapılandırma gerekli değildir. EMPIRE dizini içinde görünen "*run-empire.bat*" dosyasını çift tık ile çalıştırmak yeterlidir.

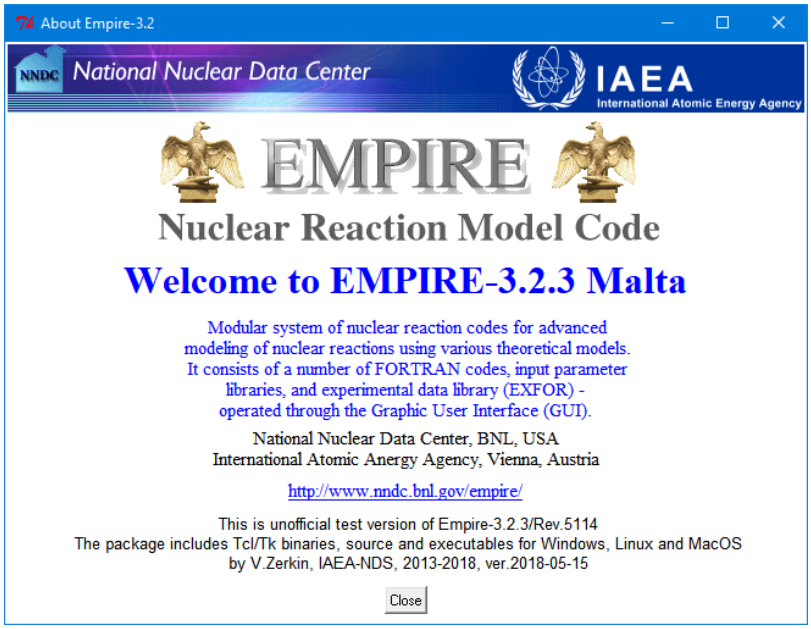
```
SETUP
 1) By default, working directory is defined as c:\wrk
    In order to change this, start run-empire.bat with one parameter,
e.g.
        C:\Empire323zv2win64\run-empire.bat f:\wrk
    or edit run-empire.bat replacing "c:\wrk" by "f:\wrk"
 2) When running first time, script run-empire.bat will copy file
    EMPIRE-3.2.3-5114\test-cases\pd105.inp to working directory.
    This file can be used as input file for testing setup of Empire
package.
 3) If you wish to setup Empire running from your Desktop:
        a) click: Computer -> C: -> Empire323zv2win64
        b) right-click on run-empire.bat -->
        c) Send to: Desktop (create shortcut)
        d) Change icon on the created shortcut to
Empire323zv2win64\empire.ico
```

EMPIRE başlarken "C:\" dizini altında "*wrk*" isimli bir çalışma dizini oluşturulur. Reaksiyonlar için gerekli "*input*" dosyalarını bu dizin içerisine kayıt ederek kullanmak kolaylık sağlar. Kullanıcı, "C:\wrk" dizini yerine başka bir çalışma dizin adresini ayarlamak isterse "*run-empire.bat*" dosyasına düzenleme yapması gerekir. Bir metin düzenleme uygulaması ile betik belgesi açılır, "*C:\wrk*" olarak görünen bilgi satırında değişiklik yapılır. Örneğin: "*D:\Reaksiyonlar*" ya da "*D:\wrk*" gibi.

EMPIRE başlatılmasında terminal komut ekranı ve program bilgilerinin verildiği ekran olan başlangıç ekranları görünecektir (Şekil 3.7; Şekil 3.8). Terminal penceresi herhangi bir tuşa basılarak kapatılabilir. Tanıtım ekranı ise hiçbir şey yapılmadığı takdirde birkaç saniye içerisinde kendiliğinden kapanacaktır ya da "*Close*" düğmesine tıklanarak da kapatılır.

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
     +-------------------------------------------------+
     I                  Empire-3.2.3                   I
     I               adopted for Windows               I
     I          and prepared to run from DVD-ROM       I
     I         by Viktor Zerkin, V.Zerkin@iaea.org     I
     I                                                 I
     I                WORKING MATERIALS                I
     I       UNDER DEVELOPMENT, NOT FOR DISTRIBUTION   I
     I                                                 I
     I                Nuclear Data Section             I
     I         International Atomic Energy Agency      I
     I                 Vienna, 2013-2018               I
     +-------------------------------------------------+
This distribution includes portable versions for Windows of:
     1) Empire-3.2 package (with executables)
     2) GNU Fortran (GCC) 4.8.1
     3) Tcl/Tk 8.4.2
     4) Python2.7.6
     5) Postscipt viewer GSView-2.6/gs5.50
     6) GNU Fortran (tdm64-2) 4.8.1
     No installation is nedeed.
     All software is pre-configured and ready to run.

par0=["X:\EMPIRE5114\run-empire.bat"]
par1=[]

X:\EMPIRE5114>dir "\."  1>NUL

X:\EMPIRE5114>set idir=d0

X:\EMPIRE5114>if "d0" == "d0" set  workingDir=

X:\EMPIRE5114>set project=pd105

X:\EMPIRE5114>if "" == "" set workingDir=c:\wrk

X:\EMPIRE5114>if not "d0" == "d0" set  workingDir=

X:\EMPIRE5114>if "k" == "\" set workingDir=c:\wr

X:\EMPIRE5114>if not "" == "" set project=

X:\EMPIRE5114>if "pd105" == "" set project=pd105

X:\EMPIRE5114>if not exist c:\wrk mkdir c:\wrk

X:\EMPIRE5114>cd /d c:\wrk

c:\wrk>if not exist .Xrunrc (
echo pd105 1>.Xrunrc
 echo Notepad2 1>>.Xrunrc
 echo c:/wrk 1>>.Xrunrc
```

Şekil 3.7. EMPIRE dizini içinde “run-empire.bat” betiğinin çalıştırılması.

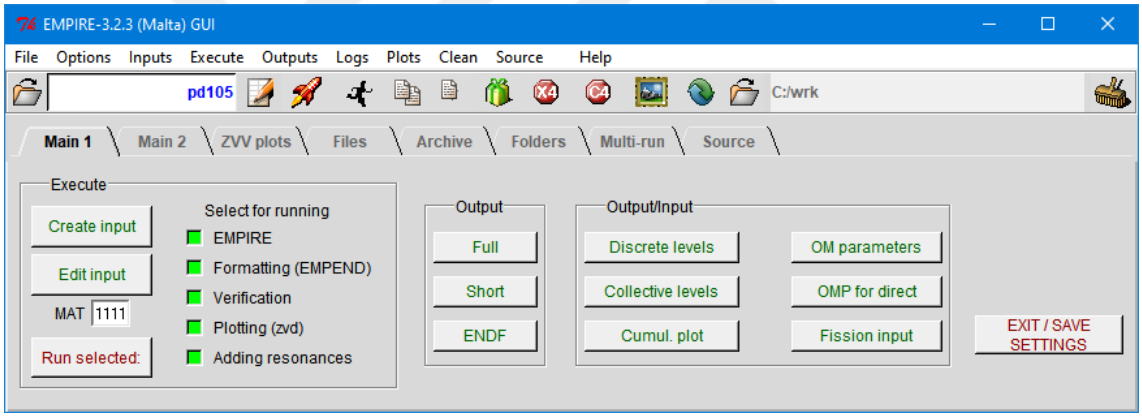


Şekil 3.8. EMPIRE açılış ekranı.

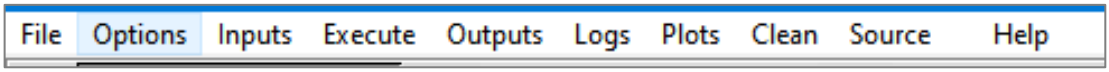
Kullanıcı, her seferinde EMPIRE dizinine erişerek uygulamayı başlatmak istemeyebilir. Bunun yerine "*run-empire.bat*" dosyasının kısayolu masa üstüne şu adımlarla eklenebilir: (i) Dosya simgesi üzerine fare imleci getirilir, (ii) fare sağ tuşu tıklanır, (iii) menüden kısayol oluştur tıklanır, (iv) oluşan kısayol masa üstüne kes-yapıştır ile taşınır. Bu sayede daha hızlı biçimde de EMPIRE başlatılma imkanı olur.

3.2.2.3 Grafik kullanıcı arayüzü (GUI) ekranı

EMPIRE, Tcl ile geliştirilmiş grafik kullanıcı ara yüzüne (GUI) sahiptir (Şekil 3.9). Tcl / Tk eklentisinin, uygulamanın çalıştırılacağı bilgisayarda kurulu olmasını gerektirir. Tcl betik dili ve ilgili grafik araç seti (Tk), herhangi bir işletim sistemi için rahatlıkla bulunabilir ve kurulabilir eklentilerdir. Grafik ara yüz, uygulamayı kullanmayı kolaylaştıran bir yapıda tasarlanmıştır (Şekil 3.10).



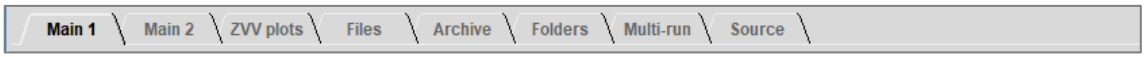
Şekil 3.9. EMPIRE grafik kullanıcı arayüzü (GUI) ekranı ve "Main 1" paneli.



Şekil 3.10. EMPIRE GUI ekranı menü satırı

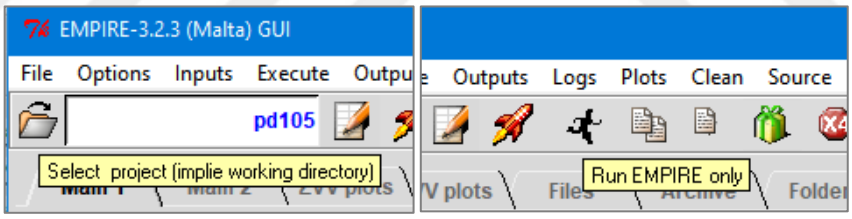
Şekil 3.11. EMPIRE GUI ekranı komut düğmeleri satırı.

İşletilecek ya da işletilmiş olan bir projeye ait girdi ya da sonuçlara hızlı erişim sağlayan düğmeler Şekil 3.11'de gösterilmiştir. En soldaki simge (1) "input" dosyasını seçmek içindir. (2) Seçilen proje adı, (3) girdi dosyasını düzenleme, (4) tam kapsamlı çalıştırma, (5) sadece EMPIRE'ı çalıştırma, (6) uzun çıktı dosyası açma, (7) kısa çıktı dosyası açma, (8) ENDF biçimli dosyayı açma, (9) ve (10) EXFOR çıktılarını, (11) PLTC4 çizimlerini görme, (11) (12) dosyaları yenileme, (13) (14) proje çalışma dizinini değiştirmek, (15) çalışma ekranını temizlemek.



Şekil 3.12. EMPIRE GUI ekranı sekmeler satırı.

Tcl ile tasarlanmış olan ara yüz üzerinde yine tcl tasarımının sağladığı bir kolaylık daha vardır. Kullanıcılar, ekran üzerindeki işlevler hakkında bir bilgi ya da yardım ihtiyacı hissettiklerinde ilgili düğme ya da alanın üzerine fare imlecini getirmeleri ve bir süre beklemeleri yeterli olacaktır. Sarı renkli bir bilgi şeridi açılacak ve kullanılacak olan işlev hakkında kısa bir açıklama görünecektir (Şekil 3.13).



a b

Şekil 3.13. Fare imleci bir nesne üzerinde iken görünür olan sarı şeritler (a) ve (b)

Arayüz ekranında yer alan düğmelerin renklerinin de anlamları vardır. (i) Yeşil; herhangi bir zamanda basıldığında bir olumsuzluk olmayacağı anlamına gelir. (ii) Kırmızı, daha önce veya manuel olarak düzenlenen bazı verilerin veya dosyaların kaybedilebileceğini (üzerine yazılması) uyarır. Genel olarak, editör çağrılarını içeren tüm düğmeler yeşilken, kodların yürütülmesini veya dosyaların silinmesini içeren düğmeler kırmızıdır. Dosyalar arasında da benzer bir ayrım vardır; manuel olarak düzenlenmesi muhtemel olanlar için kırmızı, kodu yeniden oluşturması kolay olanlar için yeşil veya turuncudur.

3.2.2.4 Kullanılması

EMPIRE kodu, çalışılmak istenen reaksiyona ait girdilerin ve seçilecek nükleer reaksiyon mekanizmasının özelliklerinin belirtildiği metin tabanlı bir girdi (input) dosyasına ihtiyaç duymaktadır ve sahip olduğu grafiksel kullanıcı ara yüzü sayesinde arşivleme, dosyalama, grafikleme ve sonuç dosyalarına kolay erişim gibi imkânlar sunar.

Girdi dosyasının belirli bir formatı vardır ve o kurallara göre hazırlanmalıdır. Dosya içindeki her parametrenin ya da işleme alınmayacak bilginin başlayacağı, yazılacağı bölüm vardır. Bu yapı bir fortran dili formatına göre tasarlanmıştır. FORMAT (A6,G10.5,4I5) (Şekil 3.14).

Dosya içerisinde sadece bilgi amaçlı yer alacak olan satırlar ya da kısımlar *, # ya da ! işaretleri ile başlamalıdır. Bu işaretlerin başladığı satırlar ya da kısımlar hesaplamalarda dikkate alınmayacaktır. @ işareti ile başlayan bir satır varsa, bu bilgi başlık anlamına gelir ve reaksiyon işletildiğinde bilgi ekranında görünür ama hesaplamalarda dikkate alınmaz.

```
11 ******************************************************************************
12 *   Optional input starts here, FREE format, lines starting with *,#,! are comments
13 *-----!---------!----!----!----!-----!
14 @ TITLE: This is a default EMPIRE-3.2.3 input
```

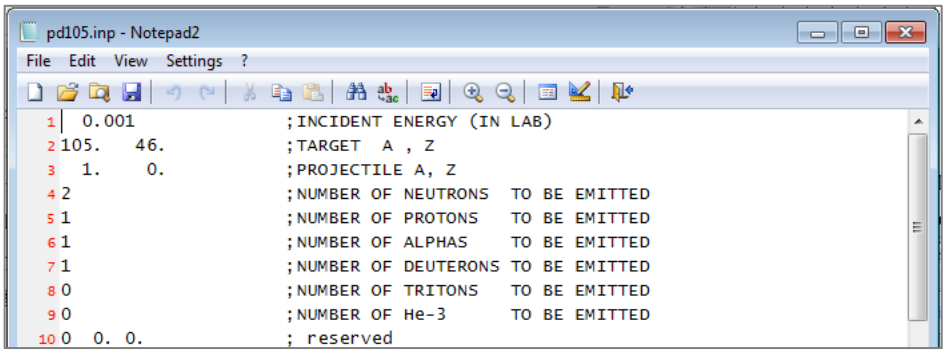
Şekil 3.14. Input dosya formatı. "!" işareti, parametre adı ve içereceği değerin başlayacağı sütunu belirtir

Input adı verilen ve *"inp"* uzantısına sahip girdi dosyası iki temel bölümden oluşmaktadır: 'Zorunlu Girdi' bölümü ve 'İsteğe Bağlı Girdi' bölümü.

3.2.2.5 Zorunlu girdi bölümü

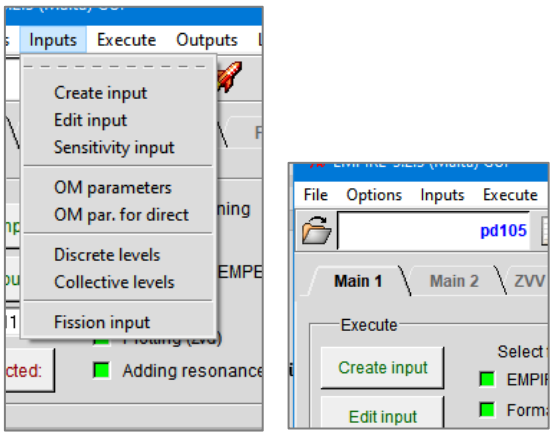
Girdi dosyasında mutlaka olması gereken (Mandatory) bölümdür (Şekil 3.15). Bir input dosyası oluşturmak için birkaç seçenek vardır: (i) Ana ekranda Şekil 3.9'da gösterilen menü satırından "*Input*" menüsünde ya da "*Main 1*" sekmesinde yer alan "*Create Input*" düğmesine (Şekil 3.16) tıklamak, (ii) EMPIRE dizininde "*example*" isimli

dizinde yer alan örnek dosyalardan birini açıp, içinde değişiklikler yapmak ve farklı bir isimle kayıt etmek



Şekil 3.15. Input (inp uzantılı) dosyası zorunlu girdi bölümü

Zorunlu girdi satırları: (Satır 1) Reaksiyon enerjisinin MeV biriminde tanımlandığı kısım. (Satır 2) Hedef parçacığın atom numarası ve proton sayısı. (Satır 3) Mermi parçacığın atom numarası ve proton sayısı. (Satır 4) Salınması beklenen nötron sayısı. (Satır 5) Salınması beklenen proton sayısı. (Satır 6) Salınması beklenen alfa sayısı. (Satır 7) Salınması beklenen döteron sayısı. (Satır 8) Salınması beklenen triton sayısı. (Satır 9) Salınması beklenen 3He sayısı. (Satır 10) Gelecekte ihtiyaç duyulduğunda eklenecek olan yeni parametreler. Bu bölümde her karakterin bulunması gereken yer bellidir ve bunlara sadık kalınarak girişler elle yapılmalıdır. Bu sağlanmadığı takdirde program işlemeyecek ve değişken hatası verecektir. Eğer serbest bir metin ya da yorum yazılması gerektiğinde ';' işareti kullanılır. Yazılacak olan metinler noktalı virgül işaretinden sonra yazılabilir.



a b

Şekil 3.16. Input Menüsü (a) ve "Main 1" sekmesi (b) "Create Input" işlevi

3.2.2.6 İsteğe bağlı girdi bölümü

Zorunlu girdi bölümünü, varsayılan model parametrelerinde değişiklik yapılmasına izin veren, “İsteğe Bağlı Girdi” bölümü izler (Şekil 3.17).

```
*-----!---------!----!----!----!----!
@ TITLE: This is a default EMPIRE-3.1.1 input
IOUT       3.
NEX      080.                    Number of points in the outgoing energy grid
ENDF       0.                    No ENDF formatting by default (much faster runs)
RECOIL     0.                    No recoils are calculated. Sizeable speed-up if no E
*KALMAN    1.                    Sensitivity calculation requested
***
* HAUSER-FESHBACH INPUT
*
FITLEV     0.                    FITLEV>0 is recommended for 1st run to compare vs NL
LEVDEN     0.                    EMPIRE NLD (EGSM RIPL-3) as default
*LEVDEN     1.                   Refitted GSM model (Ignatyuk) NLD (future option)
*LEVDEN     2.                   Refitted Gilbert & Cameron NLD (future option)
*LEVDEN     3.                   RIPL-3 HFB parity dependent NLD
*LEVDEN     4.                   EMPIRE 2.18 Gilbert & Cameron NLD
*ATILNO    1.05   Z0   A0        Level density parameter of nucleus(Z0,A0) increased
HRTW       3.                    Width fluctuations considered up to 3 MeV (for neutr
*TUNE      0.90   Z0    A0    0  Gamma width  of nucleus(Z0,A0) decreeased by 10%
GSTRFN     1.                    Default gamma ray strength function (Plujko MLO RIPL-
***
* OPTICAL MODEL INPUT
*
* for A <= 220
*OMPOT   2405.       1            OMP for the inverse neutron channel  - Koning & Dela
*OMPOT   5405.       2            OMP for the inverse proton channel   - Koning & Dela
* for A > 220
*OMPOT   2408.       1            OMP for the inverse neutron channel  - Actinides
*OMPOT   5408.       2            OMP for the inverse neutron channel  - Actinides
* Other particles
*OMPOT   9600.       3            OMP for the inverse alpha channel    - Avrigeanu et
*OMPOT   6200.       4            OMP for the inverse deuteron channel - Haixia et al
*OMPOT   7100.       5            OMP for the inverse triton channel   - Becchetti & G
*OMPOT   8100.       6            OMP for the inverse He-3 channel     - Becchetti & G
*
* for A <= 220
*DIRECT     0.                    Spherical optical model by default for A>220
* for A > 220
*DIRECT     1.                    CC TLS for the incident channel + DWBA (uncoupled)
*
*DIRECT     2.                    CC TLS for the incident and outgoing channel + DWBA
*DIRECT     3.                    DWBA calculation for all collective levels
*DIRPOT  2408.                    OMP for the scattering on collective levels if DIREC
***
* Prequilibrium models
*
MSD        0.                     Quantum statistical Multi-Step-Direct model
MSC        0.                     Quantum statistical Multi-Step-Compound model
PCROSS    1.5                     Exciton model with default 1.5 MFP parameter
HMS        0.                     Monte Carlo Hybrid (DDHMS)preequilibrium model
*GTILNO    1.1    Z0    A0    1   Single particle LD for neutron PE emission increased
GO
@ Running title may be given in any line starting with @
```

Şekil 3.17. “İsteğe Bağlı Girdi” bölümü.

İsteğe Bağlı Girdi’ bölümü; ‘@’ simgesi, başında bulunduğu satırın, çıktı dosyalarında kullanılacak olan ve projeyi belirten bir başlık olduğunu gösterir. Bu başlık hesaplamalarda kullanılmaz. *, # veya ! simgeleriyle başlayan satırlar yorum içerirler ve kod tarafından dikkate alınmaz.

Bu bölüm; (i) “@” simgesi ile başlayan, herhangi bir sırayla girilen ve parametre girdilerinin sonunu belirten, (ii) ‘GO’ bilgi satırı ile kapatılan rasgele sayıda kayıttan oluşan bölümdür.

@ ile başlayan başlık tanımlama satırından hemen sonra reaksiyon hesaplama ve çıktı tanımlamalarının yapıldığı “*Calculation Control*” ve “*Output Control*” olarak isimlendirilen kısım başlar (Şekil 3.18). Bu bölümde, her ne kadar isteğe bağlı değişken girişleri olsa da bilinmesi gereken önemli parametreler vardır:

```
13 ************************************************************************************************************
14 @ TITLE: This is a default EMPIRE-3.2.3 input
15 IOUT       3.
16 NEX      080.                          ! Number of points in the outgoing energy grid
17 ENDF       0.                          ! No ENDF formatting by default (much faster runs)
18 RECOIL     0.                          ! No recoils are calculated. Sizeable speed-up if no ENDF file is required
19 *KALMAN    1.                          ! Sensitivity calculation requested
20 ***
```

Şekil 3.18. İsteğe bağlı bölüm. “Calculation Control” ve “Output Control” satırları

Bu parametreler varsayılan olarak açılmaktadır. İşletilecek olan reaksiyonun özelliğine göre bu değişkenleri belirlemek gerekmektedir. Kullanılması halinde işlevleri şöyledir:

IOUT parametresi: İşlem sonunda üretilecek olan çıktı dosyalarının ne kadar çok veriyi içerip içermeyeceğine karar verir. Varsayılan ve standart değer 1’dir ve en kapsamlı çıktı için olan rakam 6’ya kadar bir değer verilebilir. “*Create Input*” ile açılan “*default.inp*” dosyasında gelen değer ise 3’tür. Bu parametre yazılmaz ise varsayılan veri 1’dir.

NEX parametresi: Çıkan enerjiye ait nokta sayısıdır. Varsayılan veri değeri 080’dir. Mermi parçacığı ağır bir iyon ile reaksiyon işletilecekse bu değer, örneğin, 100 olmalıdır. Mermi parçacığı hafif iyon ise (proton, nötron gibi) o takdirde bu değer farklı girilir; örneğin 060.

ENDF parametresi: Kontrol çıktılarının ENDF (Evaluated Nuclear Data Formats) biçimli hale getirilmesi içindir. Bu parametre kullanılmadığında varsayılan değer 0’dır. Eğer çıktının formatının düzenlenmesi isteniyorsa 1 girilir.

EMPIRE kodunun birincil tasarım amaçlarından biri, nükleer veri değerlendirmesini desteklemek için teorik hesaplamalar yapmaktır. Değerlendirilen nükleer reaksiyon verilerinin, veri dosyaları için uluslararası kabul görmüş biçimi ENDF-6'dır. Format kuralları, ‘Kesit Değerlendirme Çalışma Grubu’ (CSEWG) adına, ‘ABD Ulusal Nükleer Veri Merkezi’ (NNDC) tarafından tanımlanır. ENDF, öncelikle ilgili bozunma verileri, fisyon-ürün verimi verileri, nötron ısıl saçılımı verileri, foto-atomik etkileşim verileri ve diğerleri için nötron reaksiyonu verileri için tasarlanmıştır. ENDF-6 ayrıca fotonlar ve yüklü parçacıklar tarafından indüklenen nükleer reaksiyonlar için verilerin eklenmesine izin verir.

RECOIL parametresi: Aksi tesir kontrol hesaplamaları. Alabileceği değerler 0 ya da 1 dir. ENDF değeri 0 verildi ise aksi tesirler bağımsız biçimde hesaplanmaz.

```
20 ***
21 * HAUSER-FESHBACH INPUT
22 *
23 FITLEV     0.                          ! FITLEV>0 is recomme
24 LEVDEN     0.                          ! EMPIRE NLD (EGSM RI
25 *LEVDEN     1.                          ! Refitted GSM model
26 *LEVDEN     2.                          ! Refitted Gilbert &
27 *LEVDEN     3.                          ! RIPL-3 HFB parity
28 *LEVDEN     4.                          ! EMPIRE 2.18 Gilber
29 *ATILNO    1.05   Z0   A0               ! Level density param
30 WFCORR     1.                          ! Width fluctuation m
31 *WFCORR     2.                          ! Width fluctuation
32 *WFCORR     3.                          ! Width fluctuation
33 *WFCORR     4.                          ! Width fluctuation
34 ETLJ       8.                          ! ETLJ defines the ma
35 *CNANGD    1.                          ! Calculates proper (
36 *                                      !    Requires WF corr
37 *                                      ! WF corrections are
38 *HRTW       8.                          ! Obsolete: Use WFCO
39 *TUNE      0.90   Z0    A0    0         ! Gamma width  of nuc
40 GSTRFN     1.                          ! Default gamma ray s
41 ***
42 * OPTICAL MODEL INPUT
```

Şekil 3.19. Hauser-Feshbach model parametre satırları.

Default.inp dosyasında, “*Calculation Control*” ve “*Output Control*” bölümünden sonra Çizelge 3.1’de verilen ve EMPIRE kodunu teşkil eden nükleer reaksiyon modellerine ait parametre tanımlama bölümü başlar (Şekil 3.19, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21).

```
41 ***
42 * OPTICAL MODEL INPUT
43 *
44 * for A <= 220
45 *OMPOT   2405.       1                  ! OMP for the inverse
46 *OMPOT   5405.       2                  ! OMP for the inverse
47 * for A > 220
48 *OMPOT   2408.       1                  ! OMP for the inverse
49 *OMPOT   5408.       2                  ! OMP for the inverse
50 * Other particles
51 *OMPOT   9600.       3                  ! OMP for the inverse
52 *OMPOT   6200.       4                  ! OMP for the inverse
53 *OMPOT   7100.       5                  ! OMP for the inverse
54 *OMPOT   8100.       6                  ! OMP for the inverse
55 *
56 * for A <= 220
57 *DIRECT     0.                          ! Spherical optical m
58 * for A > 220
59 *DIRECT     1.                          ! CC TLs for the inci
60 *
61 *DIRECT     2.                          ! CC TLs for the inci
62 *DIRECT     3.                          ! DWBA calculation fo
63 *DIRPOT  2408.                          ! OMP for the scatter
64 ***
65 * Prequilibrium models
```

Şekil 3.20. Optik model parametre satırları.

```
64 ***
65 * Prequilibrium models
66 *
67 MSD        0.                          ! Quantum statistical Mu
68 MSC        0.                          ! Quantum statistical Mu
69 PCROSS    1.5                          ! Exciton model with def
70 HMS        0.                          ! Monte Carlo Hybrid (DD
71 *GTILNO    1.1    Z0    A0    1        ! Single particle LD for
72 *
73 *GAMPRN    1.                          ! Output n,xng cross sec
74 GO
```

Şekil 3.21. Denge öncesi model parametre satırları.

“GO” yazan satır, isteğe bağlı parametre girişlerinin girişin tamamlandığı anlamına gelir. Reaksiyon için tek bir enerji değil de bir enerji aralığı kullanılacaksa GO ile başlayan satırdan sonraki kısım başlar. Zorunlu girdi bölümünün ilk satırında belirtilen gelme enerjisinden sonra hesaplama yapılacak diğer enerji adımları bu kısımda belirtilir. Tanımlanacak enerji adımlarının bir sayısı yoktur, sınırsızdır. Reaksiyonun gerektirdiği aralık neyse o kadar sayıda enerji girdi satırı yazılabilir (Şekil 3.22).

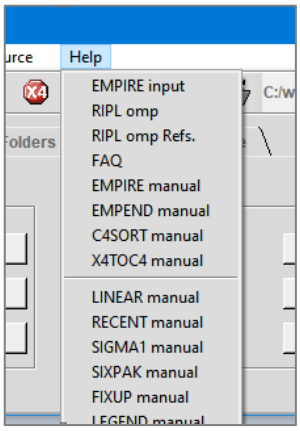
```
@ Running title may be given in any line starting with @
0.002
0.005
0.007
0.01
0.02
0.05
0.07
0.1
0.2
0.3
0.4
```

...

```
14.
15.
16.
17.
18.
19.
20.
-1.
*
```

Şekil 3.22. Birden fazla gelme enerjisi varsa alt alta yazılarak bu bölüme girilir

Parametre tanımlama işleminin bittiğini ve artık reaksiyonun çalıştırılmaya hazır olunduğunu belirten, input dosyasının kapatıldığını ifade eden "-1" parametresi yazılır. Eğer dosyada herhangi bir yerde bu bilgi kullanılmışsa input dosyasında parametre giriş süreci bitirilmiş anlamına gelir. Ardından yazılacak hiçbir şey kod tarafından dikkate alınmayacaktır.



Şekil 3.23. Help menüsü

Parametrelerin ve değişken değerlerinin tam listesine "*Help*" menüsünde "*EMPIRE manual*" satırı seçilerek erişilebilir (Şekil 3.23).

EMPIRE nükleer reaksiyon kodunun Windows OS sürümü haricinde Linux OS ortamında da sürümü vardır. Kullanıcı Linux OS ortamına aşina ise bu ortamdaki uygulamayı da kurması ve kullanması için izlenecek olan adımlar sonraki kısımda anlatılmıştır.

3.2.3 EMPIRE Linux sürümü

EMPIRE Linux sürümünün temin edilmesi, kurulması ve çalıştırılmasından bu kısımda bahsedilecektir. Uygulamanın web alanında verilmiş olan kurulum akışına göre herhangi bir Linux sürümünün işe yarayacağı anlaşılabilir. Ancak Linux hakkında yeterli tecrübesi olmayan kullanıcılar için bu akış zorlayıcı bir hal almaktadır. Nitekim hem yabancı hem de yerli internet forumlarında bununla ilgili sorular sorulduğu da görülmektedir.

3.2.3.1 Linux OS sürümü temin edilmesi ve kurulması

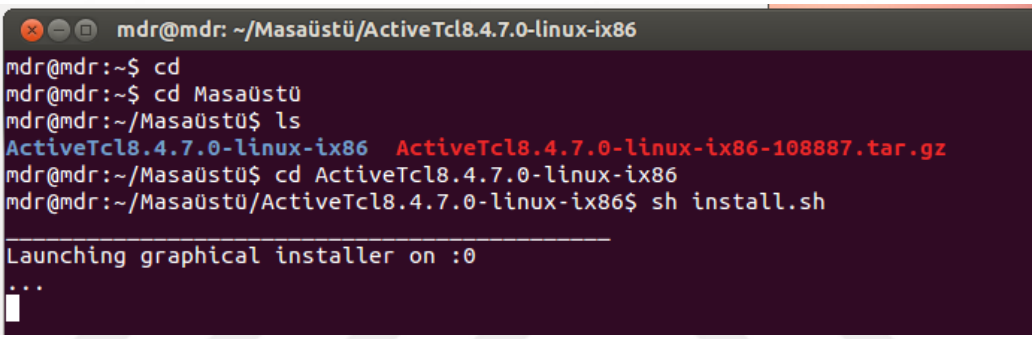
Yeni başlayan bir kullanıcı için bu zorlayıcı ve zaman alan sürecin en hızlı ve kolay biçimde geçilmesi yine bu kısımda hedeflenmiştir. Bunu sağlayabilmek için bilinen ve sıklıkla tercih edilen Linux sürümlerinin denenmiştir. EMPIRE web alanında verilen kurulum akışına göre daha kolay ve hızlı sonuç elde edilen Linux sürümlerinin "Ubuntu 12.04" (http://releases.ubuntu.com/12.04/ubuntu-12.04.5-desktop-i386.iso) ile "OpenSuse 13.2" sürümü olduğu anlaşılmıştır. (https://ftp5.gwdg.de/pub/opensuse/discontinued/distribution/13.2/iso/openSUSE-13.2-KDE-Live-i686.iso)

İki şekilde Linux'u yüklemek ve kullanmak mümkündür: (i) Bilgisayarın sabit diskine aynı bir bölümleme altına kurmak ya da (ii) sanal makine olarak kurmak. Bu çalışmada Oracle Virtual Box 6.0.14 (kurulum için bakınız https://shiftdelete.net/sanal-makine-nasil-olusturulur-11326) sürümünde Ubuntu ve OpenSuse sanal bölümleri oluşturulmuş ve kullanılmıştır.

3.2.3.2 EMPIRE Linux kurulumu

Linux kurulumu yapıldıktan sonra EMPIRE kurulumu için bazı ön ayarlamalar yapılmalıdır. Linux ortamında kullanılacak yazılımların çalıştırılabilmesi için önce derlenmesi gereklidir. EMPIRE programı fortran dilinde yazıldığından öncelikle bir fortran derleyicisinin hazır olması gereklidir. En sık kullanılan derleyici ise "gfortran"'dır. Ayrıca kullanıcı ara yüzün çalışması için Python derleyici ve Tcl/tk GUI çalıştırıcı paketinin kurulması gereklidir. Tüm işlem adımları altta verilmiştir:

1) Bir terminal (uçbirim) ekranı başlatılır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Terminal ekranı

2) Ubuntu kullanılıyorsa altta verilen komutlar sırayla çalıştırılır.

i) `python -V` : python kurulu ise sürüm bilgisi verilir, değilse alttaki komut işletilir.

```
>sudo apt-get install python
```

ii) `gfortran -V` : gfortran kuruluysa sürüm bilgisi alınır, yoksa alttaki komut işletilir.

```
>sudo apt-get install gfortran (ya da gcc-fortran)
```

iii) `make -V` : make kurulu ise sürüm bilgisi verilir, değilse alttaki komut işletilir.

```
>sudo apt-get install make
```

3) OpenSuse kullanılıyorsa altta verilen komutlar çalıştırılır.

```
>sudo zypper install python

>sudo zypper install gcc-fortran

>sudo zypper install make
```

4) Tcl/Tk paketleri yerine ActiveTcl uygulaması kurulur. Bu çalışmada "ActiveTcl8.4.7.0-linux-ix86-108887.tar.gz" paketi kullanılmıştır. ActiveTcl kurulumu için şu işlemler yapılmalıdır:

i) Dosya Yöneticisi (File Manager) ile `/home` dizini altında ActiveTcl isimli dizin oluşturulur.

ii) ActiveTcl8.4.7.0-linux-ix86-108887.tar.gz paketi masaüstünde ya da indirilenler dizini içinde açılır. Açılan dizinin adı "ActiveTcl8.4.7.0-linux-ix86" olmuştur,

iii) Terminal (Uçbirim) ekranı başlatılır ve ActiveTcl8.4.7.0-linux-ix86 dizinine erişilir,

```
cd                                (enter basılır)
cd Masaüstü (Desktop)             (enter basılır)
cd ActiveTcl8.4.7.0-linux-ix86    (enter basılır)
sh install.sh                     (enter basılır)
```

iv) Son komut sonrasında Şekil 3.25'de görülen pencere açılır ve pencerede görünen Next düğmesine tıklanır,

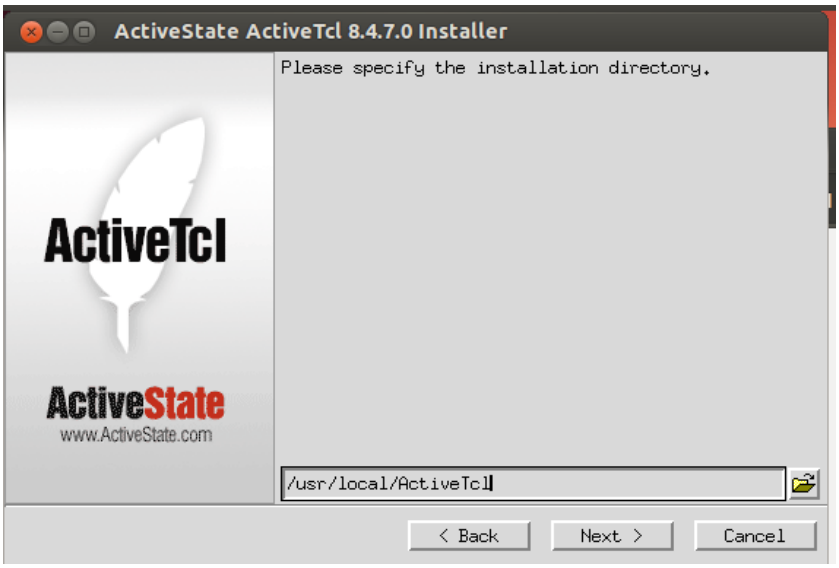
Şekil 3.25. ActiveTcl kurulum başlangıç ekranı

v) `I accept` ... düğmesi işaretlenir ve .Next tıklanır (Şekil 3.26),

Şekil 3.26. ActiveTcl kurulum ekranı

vi) Kurulum için home dizini altında oluşturulan ActiveTcl dizini seçilir (Şekil 3.27).

Bu işlem sonrasında `/home/mdr/ActiveTcl` olarak görünür. Bu çalışmada kullanıcı home dizin adı mdr olduğu için böyle görünmektedir. Kullanıcılarda bu isim farklılık gösterebilir (Şekil 3.28).



Şekil 3.27. ActiveTcl kurulum dizini ayarlama ekranı

Şekil 3.28. ActiveTcl kurulum ekranı başlangıcı

Bu ve bundan sonra, Finish düğmesi görününceye kadar tüm ekranlarda Next tıklanır. En son ekranda Finish düğmesi tıklanarak ActiveTcl kurulumu tamamlanır (Şekil 3.29).

Şekil 3.29. ActiveTcl kurulum tamamlanma ekranı sonu

Bu aşamaya kadar gerekli paketlerin kurulumu tamamlanmış oldu. EMPIRE kullanımı için kurulumlara ait genel erişim ayarlamalarının yapılmasına ihtiyaç vardır.

3.2.3.3 Son ayarlamalar

Bunun için ".bashrc" isimli dosyada düzenleme gerekmektedir. Bu dosya gizlidir yani geçerli ayarlarla kullanıcıya görünür değildir, erişmek için şu adımlar uygulanır:

i) Dosya yöneticisinden /home dizinine erişilir,

ii) Görünüm ayarlarından Gizli dosyaları göster işaretlenir

iii) Görünür hale gelen dosya simgesine çift tıklanır ve bir metin editörü ile açılması sağlanır

iv) Dosyanın en son satırına imleç tıklanır ve alttaki satırlar sırayla eklenir.

```
export gfortran=/usr/bin/gfortran
PATH="$PATH:/home/mdr/empire/scripts:home/mdr/ActiveTcl/bin"
EMPIREDIR="/home/mdr/empire"
export EMPIREDIR PATH
```

v) Ekleme işlemi bittikten sonra kaydedilir. Ardından eklenen bu satırların geçerli hale gelmesi için alttaki komut terminal (uçbirim) ekranı açılarak yazılır, enter basılır.

```
source .bashrc
```

Sırada EMPIRE Linux sürümünün indirilmesi ve kurulması vardır.

i) Kısım 0'de anlatıldığı ve Şekil 3.3'de gösterildiği gibi "*EMPIRE-3.2.3-2018-12-27.tar.gz*" isimli paket indirilir,

ii) Dosya yöneticisi içinden sıkıştırılmış dosya aynı dizin içinde açılır,

iii) Açılmış hali /home dizini altına kes-yapıştır ya da sürükle bırak ile taşınır. Dizinin adı "empire" olarak değiştirilir.

iv) Terminal (uçbirim) penceresi açılır ve alttaki komutlar uygulanır:

```
cd
cd empire
make
```

Bu aşamaya kadar olan süreçler anlatıldığı gibi uygulandıysa derlenme işlemi başlayacaktır. Bir müddet devam edecek olan derleme işlemi bitene kadar beklemek gereklidir.

Derleme süreci tamamlandıktan sonra alttaki mesaj görünecektir. Bu, EMPIRE'ın kurulumunun tamamlandığı anlamına gelir (Şekil 3.30).

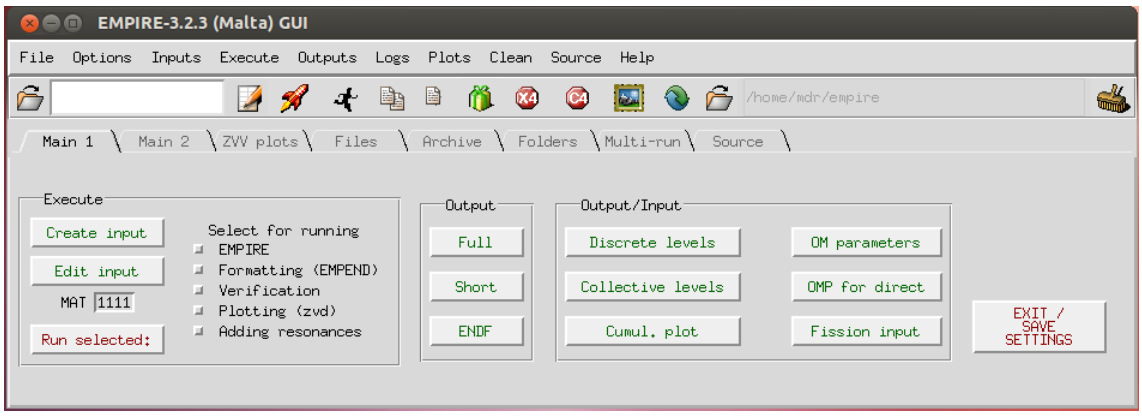
```
mdr@mdr: ~/empire
      COMMON/MATI/AMA(400),MAM
                     1
UYARI: İsimli COMMON blok 'mati' (1)'de aynı boyutta olmalı
gfortran -O2 -std=legacy -ffast-math -cpp -DEMPMODE  -c ABCTpar.f
gfortran -O2 -std=legacy -ffast-math -cpp -DEMPMODE  -c DATETpar.f
gfortran -O2 -std=legacy -ffast-math -cpp   -c -o LU_matrix_inv.o LU_matrix_inv.
F
gfortran -O2 -std=legacy -ffast-math -cpp -DEMPMODE  -c opt2Rmatrix.f
gfortran -O2 -std=legacy -ffast-math -cpp -o optmand OPTMAND.o SHEMSOFD.o disper
s.o KNDITD.o ccrd.o ABCTpar.o DATETpar.o LU_matrix_inv.o opt2Rmatrix.o
make[3]: `/home/mdr/empire/source-optman' dizininden çıkılıyor
make[2]: `/home/mdr/empire/source-optman' dizininden çıkılıyor
cp ../source-optman/optmand .
#make optmand
rm -f .versionnumbers 2> /dev/null
svn info . 2> /dev/null | grep -e 'Revision:' -e 'Last Changed Rev:' > .versionn
umbers
make[1]: *** [all] Hata 1
make[1]: `/home/mdr/empire/source' dizininden çıkılıyor
make: *** [all] Hata 2
mdr@mdr:~/empire$ empire3 &
[1] 5303
mdr@mdr:~/empire$ Empire found in /home/mdr/empire
```

Şekil 3.30. Terminal ekranı ve EMPIRE derleme adımları

Uygulamanın çalıştığını görmek için aynı terminal (uçbirim) ekranında alttaki komut yazılır:

```
> empire3 &
```

Bu komut sonrasında EMPIRE kullanıcı ara yüzü açılacaktır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. EMPIRE Linux kullanıcı ara yüz (GUI) ekranı

Bundan sonra Kısım 0'den itibaren anlatılan süreçler geçerlidir.

3.3 PACE4 Giriş

PACE4 (projeksiyon açısal momentum bağlantılı buharlaşma Monte Carlo kodu) kodu, muhtemelen, en yaygın kullanılan füzyon buharlaşma yazılımıdır. PACE4 programı, bir füzyon buharlaşma reaksiyonunu takiben tüm buharlaşma kanallarının üretim tesir kesitleri için teorik tahmin imkanı sunar. Gavron (1980) tarafından geliştirilmiştir. Fortran ortamındaki ilk sürümü olan PACE4, C++ ile Windows ortamına uyarlanmış ve PACE4 adıyla bir modül halinde LISE++ programına dahil edilmiştir. Bu nedenle önce, kısa bir biçimde LISE++ uygulamasından bahsetmek ve ardından PACE4 hakkında kapsamlı anlatıma geçmek uygun olacaktır.

LISE++ programının konsepti son derece kullanıcı dostudur ve 1980'lerin ortalarında LISE parça ayırıcısı üzerinde gerçekleştirilen ilk deneylerde geliştirilmiştir. Windows, macOS, Linux ortamlarında çalışan LISE++ paketi, ücretsiz bir yazılımdır. LISE ++ adı, C programlama dilinin evriminden (C++) ödünç alınmıştır ve programın artık orijinal "LISE" programındaki gibi sabit bir yapılandırmayla sınırlı olmadığını göstermesi amaçlanmıştır. Program, kararlı izotop demeti ve bir hedef arasında, bazı nükleer reaksiyonlar yoluyla (program birkaç reaksiyonu içermektedir) gelecekteki deneyleri planlamak için uçuş sırasında, ayırıcılar tarafından üretilen radyoaktif iyon demetlerinin yoğunluğunu ve saflığını tahmin ya da simüle etmek için tasarlanmıştır. LISE++ paketi, dünyada bulunan orta enerjili ve yüksek enerjili tesislerin NSCL (A1900 ve S800), FRIB (ARIS, HRS, ISLA, SECAR), GANIL/SPIRAL2 (LISE3 ve S3), GSI/FAIR (FRS ve SuperFRS), RIKEN (RIPS ve BigRIPS) elektrostatik ve/veya manyetik seçimli parça ve geri tepme ayırıcıların çoğu için yapılandırma dosyalarını içerir. Üretim reaksiyon mekanizması Coulomb bariyerinin üzerindeki ışın enerjilerinde deneyleri simüle etmeye izin verdiğinden; mermi parçalanması, füzyon-buharlaşma, füzyon-fisyon, Coulomb fisyonu, abrazyon-fisyon ve iki cisim nükleer reaksiyon modeller bu programa dahil edilmiştir LISE++ programına araç çubuğundaki düğmelerle de erişilebilen, PACE4 gibi modüler “uydu” uygulama araçları da dahil edilmiştir. (Bazin vd., 2002a, Bazin vd., 2002b, Tarasov, 2004; Tarasov 2005; Tarasov ve Bazin, 2004; Tarasov ve Bazin, 2003; Tarasov ve Bazin, 2008; Villari, 2008).

3.3.1 PACE4 tanıtımı

PACE4 (projeksiyon açısal momentum bağlantılı buharlaşma Monte Carlo kodu) kodunun, kolayca elde edilebilir ve bileşik nükleer reaksiyonlar için en güvenilir ve gelecek vaat eden teorik modellerden biri olduğu kanıtlanmıştır. Gavron (1980) tarafından yazılmıştır. Bağlaşım açısal momentum Monte Carlo kodu kullanan Hillman-Eyal buharlaşma kodu JULIAN'ın değiştirilmiş ve gelişmiş bir sürümüdür. Fortran ortamındaki ilk sürümü olan PACE4, C++ ile Windows ortamına uyarlanarak PACE4 adıyla bir modül halinde LISE++ programına dahil edilmiştir (Gavron vd, 1980, Bazin vd., 2002a; Bazin vd., 2002b, Tarasov ve Bazin, 2003; Tarasov ve Bazin, 2008).

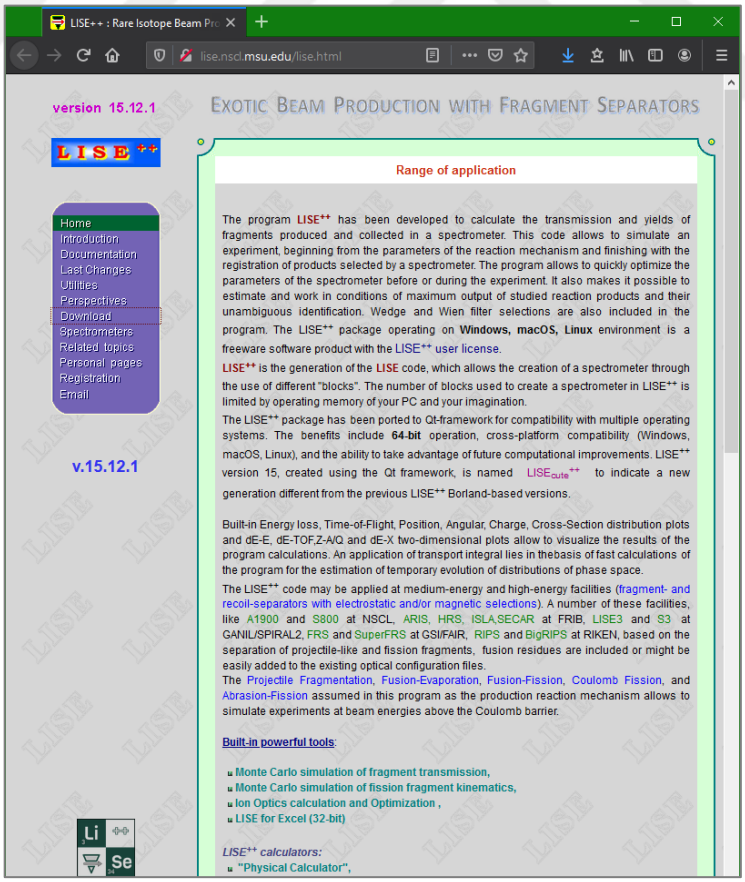
PACE4 kodunun daha gelişmiş sürümü olan ve LISE++ bünyesine PACE4 olarak eklenen kod; Hauser-Feshbach formülasyonunu kullanarak, uyarılmış bir bileşik çekirdeğin (CN) bozunma sırasını basamaklandıran istatistiksel bir yaklaşım olan Monte Carlo yaklaşımı (###) ile yönlendirilir. Monte Carlo hesaplamalarının en temel üstünlüğü, parçacıklar ve gama ışınları ya da parçacıkların açısal dağılımı gibi çeşitli nicelikler arasındaki korelasyonları sağlamasıdır. Sıralı bozunmalar, enerji ve açısal momentum korunum yasaları nedeniyle daha fazla bozunmanın mümkün olmadığı evreye kadar ardışık olarak dikkate alınır. Gelişigüzel bir sayı seçimi, çekirdeğin bozunamayacağı nihai durumu belirler ve süreç, tüm çekirdekler taban durumuna erişene kadar diğer kaskadlar için tekrarlanır. Açısal momentum projeksiyonları, uyarmanın her aşamasında hesaplanır, bu da bileşik çekirdeğin uyarılması sırasında yayılan hafif nükleer parçacıkların açısal dağılımının belirlenmesini sağlar ve açısal momentum korunumu açıkça dikkate alınır.

PACE4 kullanıcı dostu bir koddur: (i) girdi parametrelerinin doğrudan işlenebildiği bir ara yüze sahiptir. Bunun yanında önceki sürümlerinde olduğu gibi "*in*" uzantılı bir dosya da hazırlanabilir, (ii) sonuçların izlenebildiği bir çıktı ekranı ya da "*rtf*" uzantılı bir dosya ile üretilir, (iii) haricen elde edilen, hesaplanan tesir kesitlerinin LISE++ araçları yardımıyla görselleştirilebilmesi, (iv) bağlanma enerjileri için önerilen değerlerin AME2003 veri tabanının hesaplamalarda kullanılabilmesi, (v) kuantum mekanik yaklaşımı kullanan PACE4 modülünün Coulomb bariyeri altında kalan bir füzyon tesir kesitini hesaplama olanağı sunabilmesi, (vi) bileşik çekirdeğin 2.000 MeV maksimum uyarma enerjisinde 1.000.000'e kadar kaskad hesaplayabilmesi,

Ayrıca hafif parçacık (n, p, a) buharlaşması için iletim katsayısı, optik modelin eksiksiz hesaplaması ile de-eksitasyonun ilk basamağında elde edilir. De-eksitasyonun sonraki aşamalarında katsayılar ilk olanlardan ekstrapolasyon ile elde edilir. Dönen bir sıvı damla fisyon bariyer rutini kullanılarak, fisyon bozunma modu eklenmiştir. PACE4 özel yapan niteliklerden biri; buharlaşan parçacıkların enerji ve açısal dağılımları hakkında bilgi verme yeteneğidir. Bu, her bir kaskad boyunca projeksiyon dağılımını izleyerek elde edilir. Açısal momentum projeksiyonları, salınan parçacıkların açısal dağılımının belirlenmesini sağlayan de-eksitasyonun her aşamasında hesaplanır. Bozunma zincirlerinin ve belirli çekirdeklere götüren E-J düzleminin bulunduğu bölgenin belirlenmesine olanak tanıyan geri izleme özelliği dahil edilmiştir.

3.3.2 Temin edilmesi

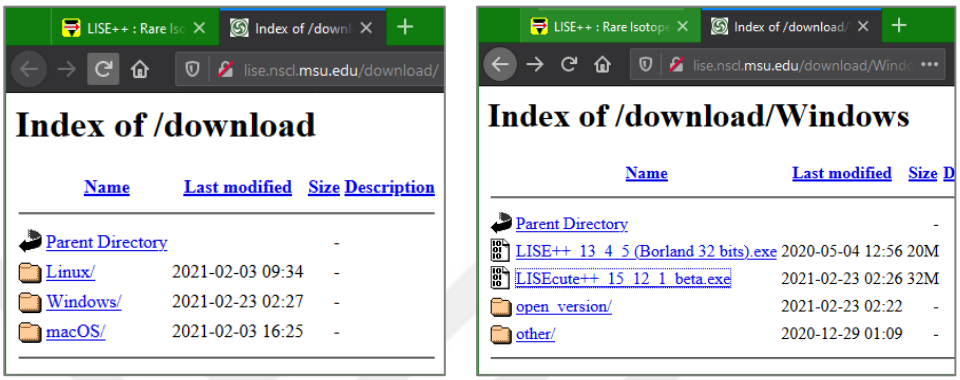
PACE4, LISE++'ın bünyesinde çalışan modüler bir kod olduğundan ilk olarak LISE++ programını temin etmek gereklidir.



Şekil 3.32. LISE++ web alanı

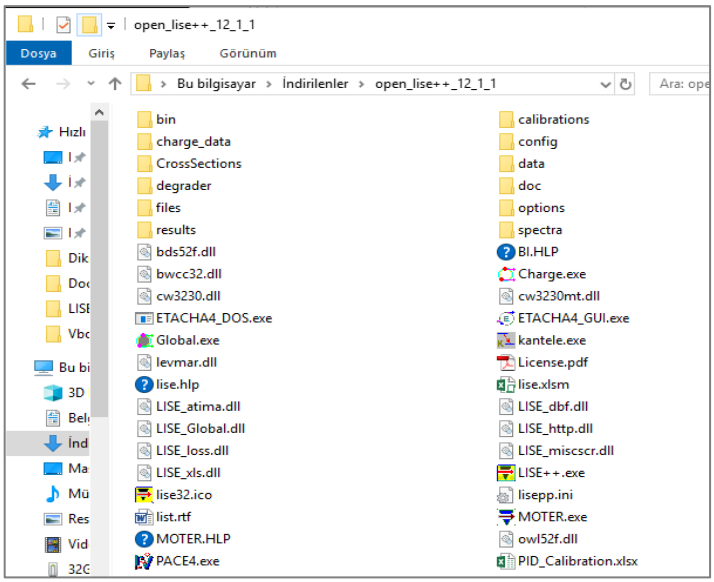
Bunun için http://lise.nscl.msu.edu/lise.html web alanına erişilir (Şekil 3.32). Kullanıcı bu alana eriştikten sonra, ekranın sol kısmında yer alan web içeriğinde "*Download*" bağlantısını kullanarak kurulum dosyasının bilgisayara indirilebileceği web alanına yönlendirilir.

3.3.3 Kurulum



Şekil 3.33. LISE++ programının indirme web alanı

İndirme sayfasında üç işletim sistemine ait bağlantı vardır (Şekil 3.33). Bu tez çalışmasında Windows sürümü kullanılmıştır. Burada ilgili bağlantıya tıklanır ve sayfaya erişilir, "*exe*" uzantılı paket bilgisayara indirilir, çift tıklama ile kurulum başlatılır.



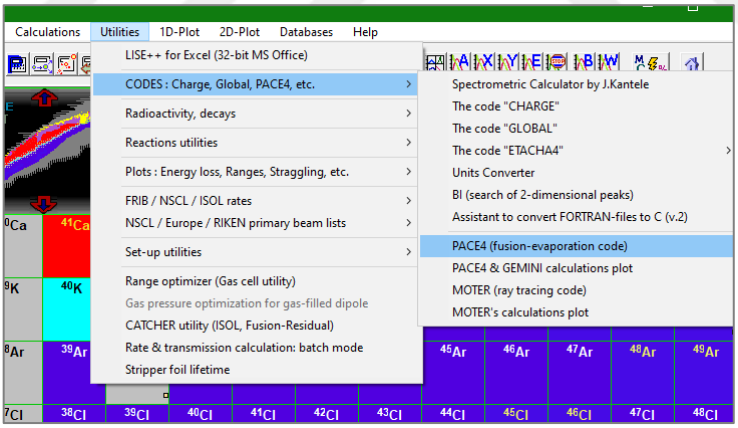
Şekil 3.34. LISE++ sıkıştırılmış paketinin dizin içindeki açılmış içeriği

Kurulum yönergesi izlenerek kurulum tamamlanır. Diğer yol ise "*open_version*" bağlantısı üzerinden kurulum gerektirmeyen "*zip*" uzantılı sıkıştırılmış paket indirilmek ve sıkıştırılmış paketi açmaktır (Şekil 3.34). Programın daha önceki sürümlerine de ulaşmak mümkündür. Şekil 3.33'deki web alanında önce "*other*" bağlantısına, ardından "*previous_versions*" bağlantısına tıklamak yeterlidir.

3.3.4 Çalıştırma

PACE4 üç yolla başlatılır: (i) komut düğmeleri araç çubuğundaki düğmesine tıklanır (Şekil 3.35), (ii) menü araç çubuğundan, "*Utilities → CODES → PACE4*" seçeneğine tıklanır (Şekil 3.36), (iii) LISE++ uygulama dizinine erişilir ve burada üstte görseli verilen komut simgesi bulunur ve çift tıklanır.

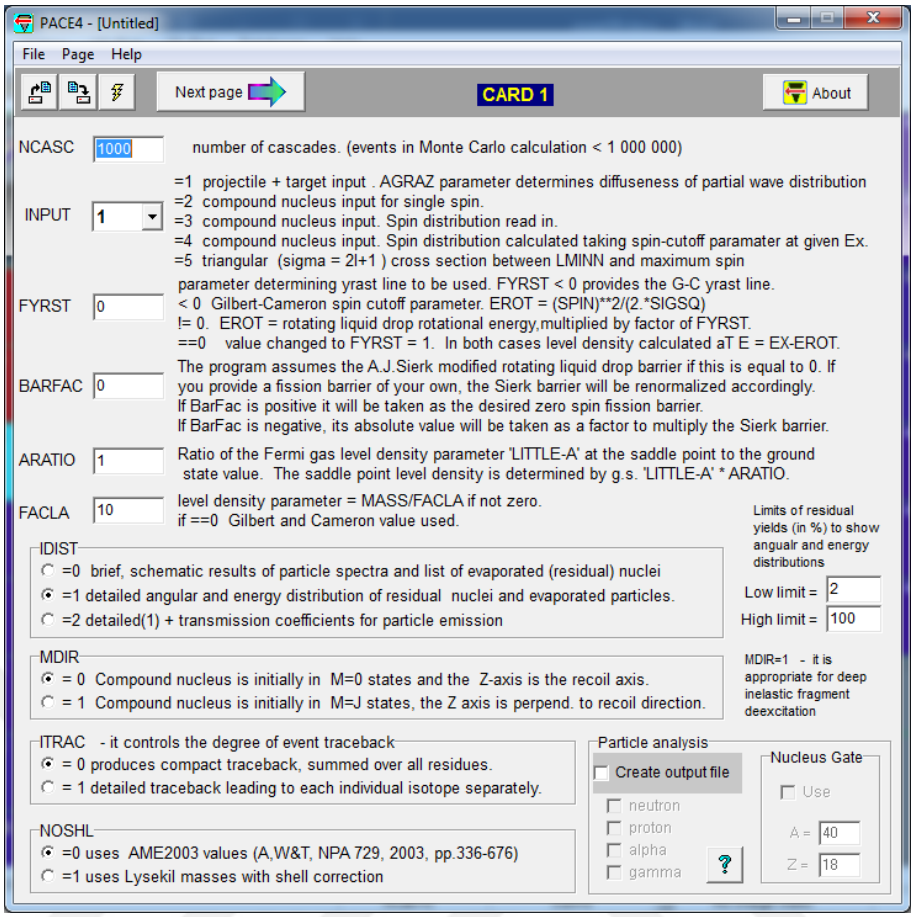
Şekil 3.35. LISE++ programı başlık, menü ve komut düğmeleri araç çubukları



Şekil 3.36. LISE++ programı menü ve komut düğmeleri araç çubukları

3.3.5 Grafik kullanıcı ara yüzü (GUI) ekranı

Kısım 0'de tarif edilen yöntemlerden biriyle PACE4 başlatıldığında "*CARD 1*" isimli programın kullanıcı ara yüzü başlayacaktır (Şekil 3.37).

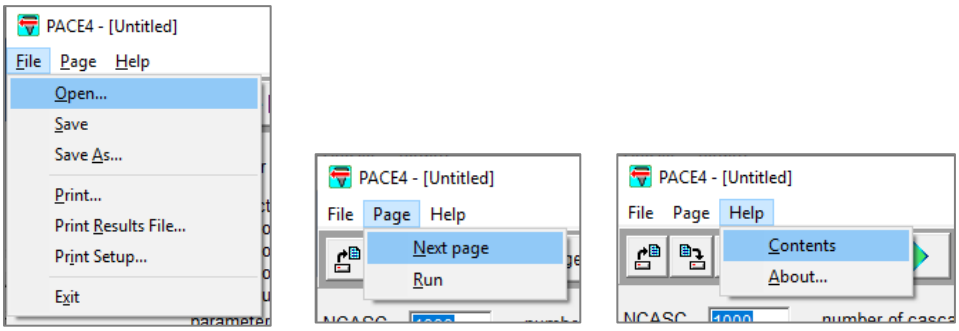


Şekil 3.37. PACE4 kullanıcı ara yüzü.

Bu ilk ekranda bilinmesi gerekenler: (i) başlık çubuğu (Şekil 3.38) ve (ii) menü çubuğu (Şekil 3.39) dur.

Şekil 3.38. PACE4 kullanıcı ara yüzü “Başlık Çubuğu”

Şekil 3.39. PACE4 kullanıcı ara yüzü “Menü Çubuğu”



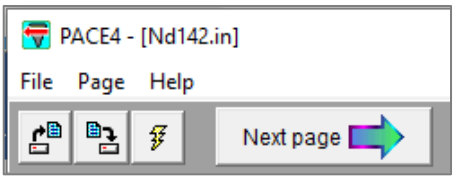
a b c

Şekil 3.40. "*File*" menüsü (a), "*Page*" menüsü (b) ve "*Help*" menüsü komutları (c)

Şekil 3.40'de (a) "*File*" menüsünde "*Open*" komutu, reaksiyon parametrelerini "*in*" uzantılı bir metin dosyası ile PACE4'e eklemek için kullanılır. Reaksiyona ait parametrelerin bir girdi dosyası olarak saklanması gerektiği zaman "*Save*" komutu kullanılır ve girdi dosyası "*in*" uzantılı olarak kaydedilir. Reaksiyona ait girdileri ve çıktıları daha rahat takip edebilmek gerekli ise "*Save As…*" komutu kullanılır.

Şekil 3.41. PACE4 kullanıcı ara yüzü "Komut Düğme Çubuğu"

Örneğin: Kullanıcı, çalışmasına özel reaksiyonu ve sonuçlarını özgün isimle kaydetmek isterse ya "*Save*" ya da "*Save As…*" komutlarıyla ya da komut düğmesi ile reaksiyonu isimlendirmiş olur (Şekil 3.41). Bu yapıldıktan sonra "başlık çubuğunda" özgün isim görünecektir (Şekil 3.42).



Şekil 3.42. Özgün isim verilmiş hali ile başlık çubuğu

3.3.6 Kullanılması

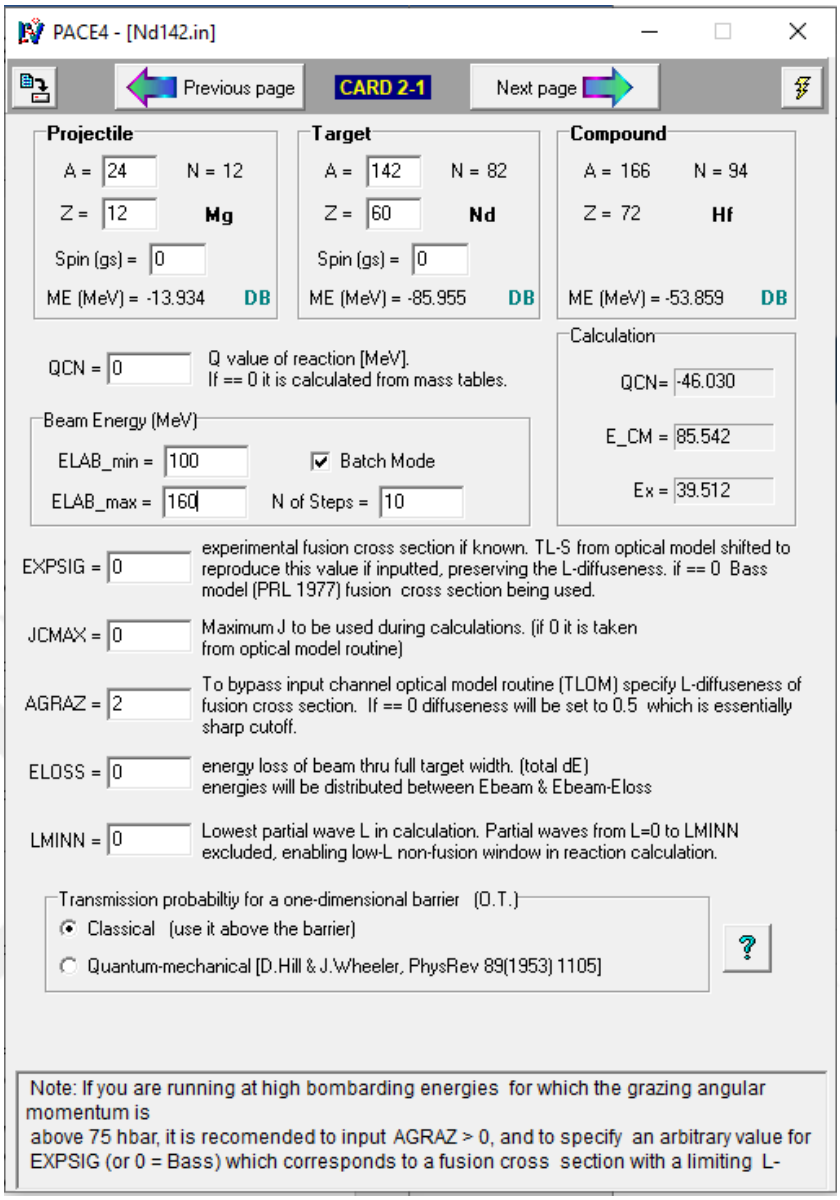
Kod ile bir reaksiyon başlatabilmek için "*CARD 1*" penceresinde, reaksiyona özgün olarak belirlenmiş parametre değerleri verilerek işlem başlatılır. Eğer işletilecek olan

reaksiyon hakkında özgün veri yoksa pencerede hiçbir parametre alanında değişiklik yapılması ihtiyacı da olmayacaktır. Bu pencerede belirtilmesi gerekli alanlar NCASC ve INPUT kutularıdır:

NCASC parametresi: Uygulanacak olan kaskat sayısını (Monte-Carlo hesaplamasındaki olay sayısı) belirtir. Varsayılan olarak 1.000 değerine sahiptir ve bu değer reaksiyonun özelliği ya da gereksinimine göre 1.000.000'dan küçük olacak biçimde istenen sayı verilebilir. Bu sayı ne kadar büyük olursa reaksiyonun sonuçlanma süresi o kadar uzayacaktır. Çünkü bu sayı ana ve yan ürün çarpışmalarının sayısında etkilidir.

INPUT parametresi: Reaksiyon ve ürün çekirdek yapısının tanımlandığı alandır. 1 ile 5 arasında değer alabilir ve varsayılan değer "1"dir. Parametre değeri 1 ise mermi ve hedef verileriyle reaksiyon tanımlanması sağlanır. Parametre değeri 2, 3 veya 4 ise bileşik çekirdek verileriyle reaksiyon tanımlanması sağlanır. Parametre değeri 5 ise üçgensel tanımlama sağlanır.

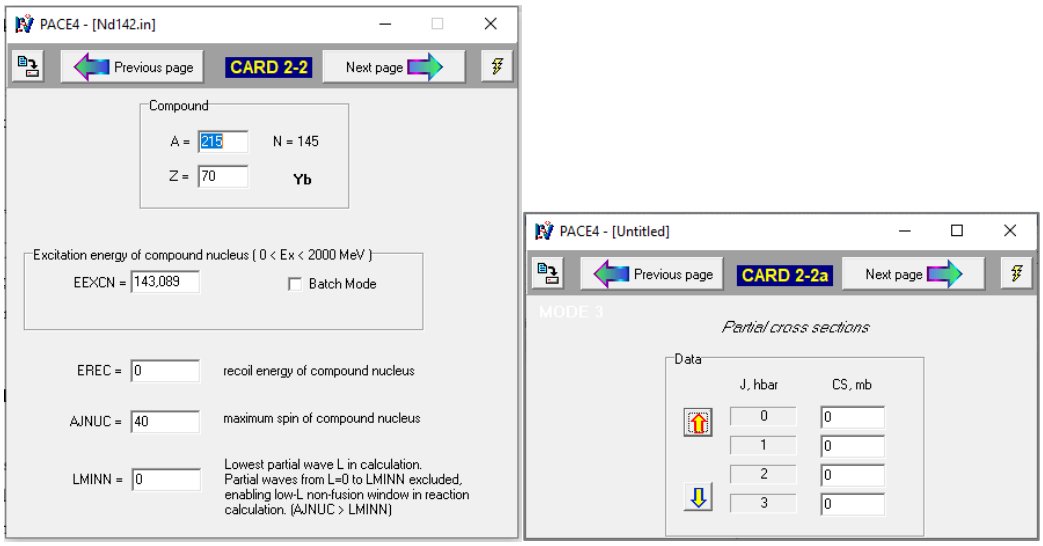
INPUT değeri 1 olarak bırakılırsa bir sonraki adım reaksiyon verilerinin girileceği "*CARD 2-1*" penceresi açılır (Şekil 3.43). INPUT değeri 2, 4 veya 5 verilirse bu sefer "*CARD 2-2*" penceresi açılır.



Şekil 3.43. Reaksiyon parametrelerinin tanımlandığı CARD 2-1 ekranı.

INPUT değeri 3 olarak girildiği zaman önce "*CARD 2-2*" arından "*CARD 2-2a*" açılır (Şekil 3.44a ve Şekil 3.44b).

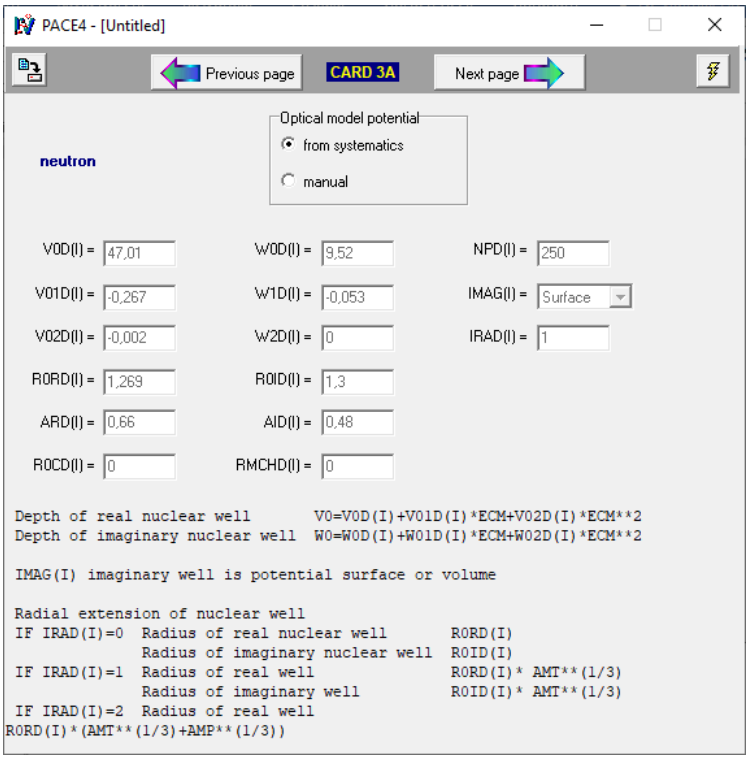
Bu pencere reaksiyona ait temel girdilerin tanımlarının yapıldığı kısımdır. Zorunlu olarak girilmesi gereken üç parametre bölümü vardır: (i) Mermi parçacığın bilgilerinin tanımlandığı bölüm "*Projectile*", (ii) hedef parçacığın tanımlandığı bölüm "*Target*", (iii) olay ya da reaksiyon ya da laboratuvar enerjisinin tanımlandığı bölümdür "*Elab*".



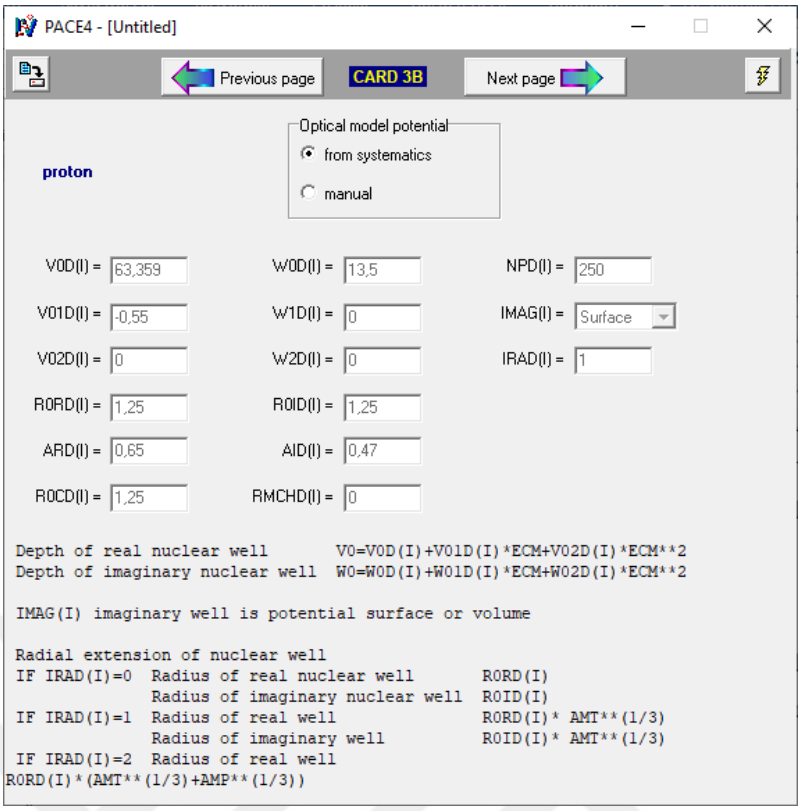
a b

Şekil 3.44. Reaksiyon ürünü "bileşik çekirdek" bilgilerinin girildiği "*CARD 2-2*" (a) ve "*CARD.2-2a*" (b) pencereleri.

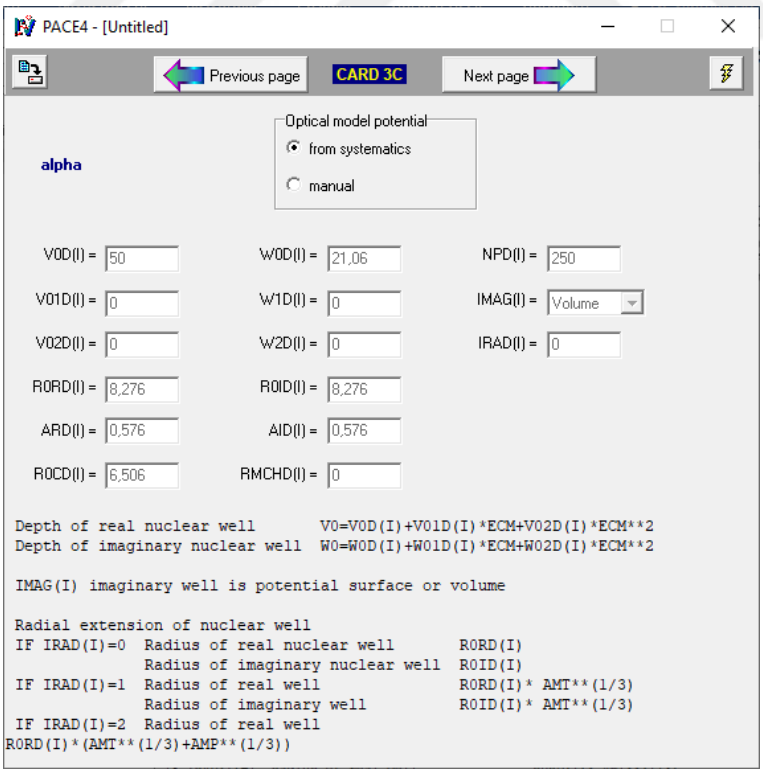
CARD 2-1 ve gerekmesi halinde CARD 2-2 ya da CARD 2-2a pencerelerinde işlemler tamamlandığında, n, p, alfa ve gelen kanal için optik model potansiyel parametrelerin tanımlandığı "*CARD 3A*", "*CARD 3B*", "*CARD 3C*" ve "*CARD 3D*" pencereleri sırayla açılır (Şekil 3.45; Şekil 3.46; Şekil 3.47 ve Şekil 3.48).



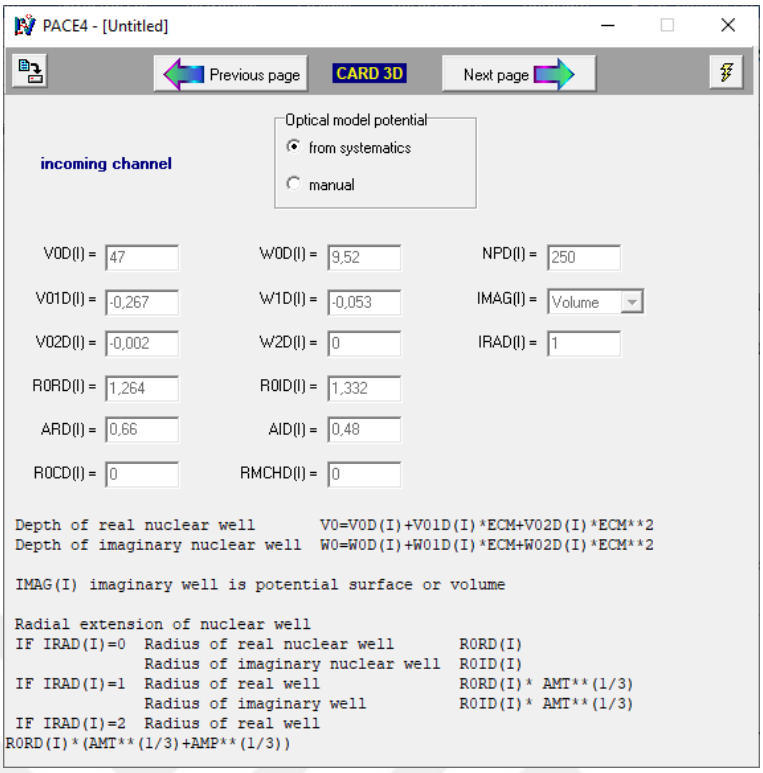
Şekil 3.45. "*CARD 3A*" nötron için optik potansiyel parametre girdi penceresi



Şekil 3.46. "*CARD 3B*" proton için optik potansiyel parametre girdi penceresi



Şekil 3.47. "*CARD 3C*" alfa için optik potansiyel parametre girdi penceresi

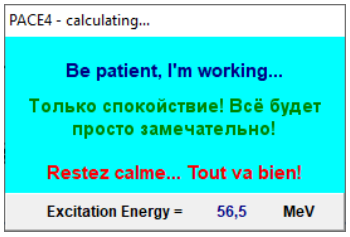


Şekil 3.48. "*CARD 3D*" gelen kanal optik potansiyel parametre girdi penceresi

"Previous page" düğmesi ile önceki ekrana, "Next page" düğmesi ile sonraki ekrana geçilir. "CARD 3D" ekranı reaksiyondan önceki son ekrandır.

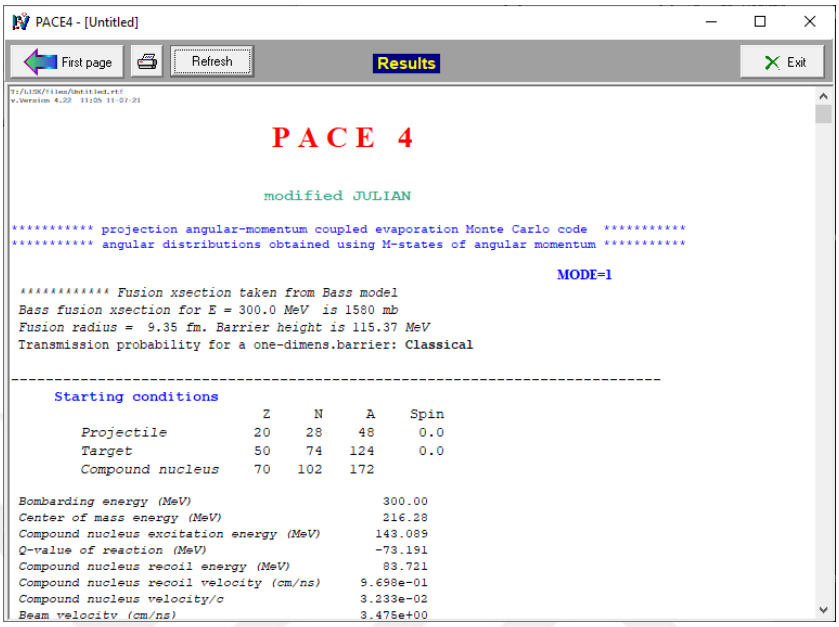
Şekil 3.49. Komut düğmeleri menüsü

Bu ekranda next page düğmesi tıklandığında reaksiyon işletilmeye başlar (Şekil 3.49). Reaksiyon başlatıldığında bir bilgi penceresi görünür olur (Şekil 3.50).



Şekil 3.50. Reaksiyonun işletildiğini gösteren bilgi ekranı

Reaksiyonun işletilmesi tamamlandığında "*Results*" penceresi görünür (Şekil 3.51). Bu pencere içinde reaksiyon ile ilgili ihtiyaç duyulan teorik analiz sonuçlarına ulaşmak mümkündür.



Şekil 3.51. PACE4, reaksiyon sonuçları penceresi

3.4 HIVAP Evaporation Kod

HIVAP, Reisdorf (1981) tarafından yazılmış istatistiksel temelli, buharlaşma reaksiyonları hesaplamalarında kullanılan, modüler ve çok hızlı, analitik bir programdır. Modüler yapı, HIVAP'ı iyileştirme ve geliştirme yönünde ilerlemeye ve örneğin füzyon, seviye yoğunlukları, yrast çizgileri, fisyon bariyerleri, yayılan partiküller için iletim katsayıları vb. ile ilgili çeşitli parçalarını ve nihayetinde istenen çıktıyı değiştirmeye izin verir.

HIVAP kodu, esasında, önceki bir nesil olan GROGI isimli bir kodun değiştirilmiş ve geliştirilmiş halidir. GROGI kodu, yüksek derecede uyarılmış çekirdeklerin de-eksitasyonunu inceleyen, büyük uyarılma enerjilerine ve büyük açısal momentum değerlerine sahip çekirdeklerin araştırılmasında kullanılmak için yazılmıştır. Uyarılmış bileşik çekirdeğin nötron, gama ışını ve yüklü parçacık emisyonu yoluyla istatistiksel olarak de-eksitasyonunu da bu sürece dahil etmekteydi. HIVAP, de-eksitasyon adımına fisyonun dahil edilmesinin yanı sıra seviye yoğunluk hesaplamalarına, etkileşim

bariyerlerine, temel durum kütlelerine ve kabuk etkilerine ve fisyon bariyerlerine yeni anlayışların dahil edilmesi ile GROGI kodunun iyileştirilmiş sürümü olmuştur (Reisdorf, 1981; 1992 ve Reisdorf vd., 1985)..

Belirli bir hedef ve mermi çekirdeği kombinasyonu yani farklı türlerde reaksiyonlar için herhangi bir mermi enerjisiyle bir füzyon-buharlaştırma işleminde üretilen çekirdeklerin üretim kesitlerini hesaplamak amacıyla HIVAP kodu kullanılabilir. HIVAP hesaplamaları için kullanılan nükleer reaksiyon modeli süreci iki aşamaya ayırır: Birincisi, mermi ve hedef çekirdeklerin merkezi bir çarpışmasında bileşik çekirdeğin oluşumudur. İkincisi ise fazla enerjiyi bileşik çekirdekten uzaklaştıran nükleonların, alfa parçacıklarının ve gama ışınlarının buharlaşmasının istatistiksel sürecidir. Belirli bir reaksiyonda üretilebilen çekirdekler için göreli tesir kesitlerini belirleyen ikinci işlemdir. HIVAP kodu, farklı reaksiyon çeşitleri için üretim tesir kesitlerini tahmin etme amacıyla geliştirilmiştir. HIVAP, süper ağır çekirdekleri sentezleme sürecinin bir bileşik çekirdeğe tamamen kaynaştığını ve ardından bileşik çekirdeğin, hafif parçacık salımı ve gama ışınlarının fisyonuyla de-eksite olduğunu varsayan istatistiksel bir buharlaşma kodudur. HIVAP kodu, deneyciye, istenen iyonları azamileştirme adına mermi enerjisini tahmin etmek için bir araç olarak hizmet edebilir (Freeman, 2008).

3.4.1 Temin edilmesi

UNIX/LINUX işletim sistemi tabanlı bir yazılımdır ancak açık kaynak olarak dağıtılmamaktadır. Temin edebilmek için GSI merkezi ile irtibata geçilmesi gerekmektedir.

3.4.2 Kurulması

Uygulamayı Kısım 0'de anlatılan Linux sürümlerinden birinde kurmak mümkündür. Bu çalışmada Linux'un OpenSuse 13.2 sürümü tercih edilmiştir. Uygulamanın kaynak dosyası bilgisayara indirildikten sonra altta belirtilen adımlar izlenir:

```
>Terminal penceresi başlatılır
```

Home dizini altında Hivap isimli yeni bir dizin oluşturulur.

```
>mkdir hivap
```

HIVAP kaynak kodu "*hivap.tar*" dosyası, oluşturulan hivap klasörüne indirilir.

```
>tar -xvf hivap.tar
```

komutu ile kaynak kodu dizin içine açılır.

```
>make
```

komutu ile kaynak kod derlenir. Derleme ile "*hivapn*" başlatma dosyası hazır olur.

3.4.3 Çalıştırma

HIVAP uygulaması da reaksiyonlara ait parametrelerin işlendiği bir girdi (input) dosyasını hazırlamayı gerektirir. HIVAP girdi dosyası tüm girdi parametrelerinin görüldüğü ve yönetilebildiği haliyle daha kullanıcı dostu bir yapıdadır. Input dosyası "*hivapin.dat*" adıyla oluşmuştur. Input dosyası örneği Şekil 3.52 gösterilmiştir.

Input dosyasında gerekli parametreler girildikten sonra kaydedilerek dosya kapatılır. Sonrasında terminal komut satırına alttaki komut yazılarak reaksiyon işletilir:

```
>./hivapn
```

Bu komut sonrasında birkaç dakika içinde işlem tamamlanır. Eğer farklı verilerle yeni bir reaksiyon işletilecekse her seferinde altta verilen komutlar yeniden çalıştırılmalıdır.

```
>make clean
>make
>vi hivapin.dat , vi editör ile parametreler girilir ve kapatılır
>./hivapn
```

```
   S-36 +  U-238 ---> Hs-274    07.03. 2000  08:25
-----------------------------------------------------------------------
  MPROJ=  36  ZPROJ= 16  MTARG= 238  ZTARG= 92
  ISHELL(GS)= 2  ISHELL(SADDLE)= 2  PAIRING= 4  MC= 0  MP= 0
  IBF= 1  FISROT PARAMETERS= 0
  NOFISSION= 0  NONEUTRONS= 0  NOPROTONS= 0  NOALPHAS= 0 NO GAMMAS= 0
  DISC=0  GAMMA PARAMETERS(IGAM)= 1
-----------------------------------------------------------------------
  NEUTRONS= 7  PROTONS= 3
  MASSES LOG UNIT= 9  NUMB= 0  IOVER= 1  INERT= 0  INERF= 0 FINERT= 1
  LIMITS= 1  PRINT= 5  LOGUN= 0  ICOR= 0  ISOMERS= 0 LEVDENS= 3
  IRAST= 0  WKB= 1  ITRANS= 0  JFJI = 1
-----------------------------------------------------------------------
 ANG.MOM. LOSS  NEUTRONS 1  PROTONS 1  ALPHAS 3
-----------------------------------------------------------------------
  IF IGAM NOT ZERO
  EG1WU= 0.01 EG2WU=10     EG1MIN= 1        EG1MAX= 7
  EG2MIN=   1      EG2MAX= 4 JFACT=1
-----------------------------------------------------------------------
  IF  IGAM NOT ZERO
  CGIANT= 0.0    EGIANT= 0     WGIANT=  0        STRIPE= 0    IOPT= 0
-----------------------------------------------------------------------
   LEVELPAR= 1.153 AF/AN= 1.0 BARFAC= 1.0  EDAMP=18 BAR0=  0.
   SHELL0= 0.0 DELT= 0.  QVALUE= 0.
-----------------------------------------------------------------------
     ONLY IF LIMITS NOT ZERO
CUT=.1E-6 FRACT2=.1E-6  ABSMIN=0 PRCN=0 SIGLOW=0 DEL1=0 NOLEP=0 =0 =0
-----------------------------------------------------------------------
 IF INERT NOT ZERO (LOWER PART YRAST LINE)
 ENERGY       SPIN           ENERGY       SPIN     ENERGY    SPIN
-----------------------------------------------------------------------
 E=135  IEXC 0 IFUS=11 LIMBAR= 0 JLOWER 0 JUPPER 0 0 0 0 ENERGY1= 0
 V0=70  r0=0.0000 D=0.75 Q2=1050   CRED=1.0  NOCURV=0 NOPROX=0  IOPT=0
 ITEST=0 sigr=3.0 cutoff=5.0 xth=0.700 APUSH=18.0  FPUSH=0.75  SPUSH=0
-----------------------------------------------------------------
 E=165  IEXC 0 IFUS=11 LIMBAR= 0 JLOWER 0 JUPPER 0 0 0 0 ENERGY1= 0
 V0=70  r0=0.0000 D=0.75 Q2=1050   CRED=1.0  NOCURV=0 NOPROX=0  IOPT=0
 ITEST=0 sigr=3.0 cutoff=5.0 xth=0.700 APUSH=18.0  FPUSH=0.75  SPUSH=0
-----------------------------------------------------------------------
 E=170  IEXC 0 IFUS=11 LIMBAR= 0 JLOWER 0 JUPPER 0 0 0 0 ENERGY1= 0
 V0=70  r0=0.0000 D=0.75 Q2=1050   CRED=1.0  NOCURV=0 NOPROX=0  IOPT=0
 ITEST=0 sigr=3.0 cutoff=5.0 xth=0.700 APUSH=18.0  FPUSH=0.75  SPUSH=0
-----------------------------------------------------------------------
 -1   0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

Şekil 3.52. HIVAP örnek girdi dosyası, hivapin.dat

3.4.4 Çıktılar

Çıktı dosyaları "*dummi*" ismi ile başlar. Reaksiyon sonuçlarını içeren veriler "*dummi6.dat*" isimli çıktı dosyasına yazılmıştır. Bu dosya bir metin düzenleyici ile incelenebilir (Şekil 3.53).

dummi1.dat	DAT Dosyası	0 KB
dummi2.dat	DAT Dosyası	0 KB
dummi3.dat	DAT Dosyası	0 KB
dummi4.dat	DAT Dosyası	0 KB
dummi6.dat	DAT Dosyası	35 KB
dummi7.dat	DAT Dosyası	0 KB
hivapaus.dat	DAT Dosyası	6 KB
hivaperg.dat	DAT Dosyası	8 KB
hivapin.dat	DAT Dosyası	6 KB

Şekil 3.53. HIVAP çıktı dosyaları

Diğer dummi isimli dosyalar, input dosyasındaki parametre ayarları ile ilgilidir. Örneğin hivapin.dat dosyasında LPRINT parametresi 3 ve üzerinde ise çıktı dosyası "*dummi7.dat*" isimli olacaktır.

3.4.5 HIVAP parametre setleri

HIVAP kod parametre verileri için literatürde iki farklı parametre seti olduğu anlaşılmıştır. İlk set, kod geliştiricisi Reisdorf (1992) tarafından ilk zamanlarda önerilen parametre değerlerini içermektedir. Şekil 3.54'de görülen örnek input dosyası bu verileri göstermektedir ve Reisdorf parametreleri olarak anılmaktadır (Çizelge 3.3).

Reisdorf girdi parametrelerinin, özellikle ağır iyon çekirdekleriyle gerçekleştirilen reaksiyonlarda tesir kesiti sonuçlarını daha hassas elde etmek ve deneysel sonuçları daha doğru bir şekilde modellemek için değiştirildiği görülmüştür (Çizelge 3.3). Bu değişiklikler ise Patin parametreleri olarak anılmaktadır (Şekil 3.55), (Patin, 2002)

Çizelge 3.3. HIVAP Parametre setleri ve değerleri

Değişken	**Açıklaması**	**Reisdorf Değeri**	**Patin Değeri**
LEVELPAR	Seviye yoğunluğu için ölçek parametresi	1.153	1.160
AF / AN	Seviye yoğunluğu oranı	1	2
BARFAC	Fisyon bariyeri için ölçek parametresi	1	1.001
EDAMP	Kabuk etkisi düşme enerjisi (MeV)	18.0	18.0
DELT	Nükleer çiftlenim düzeltme enerjisi (MeV)	11.0	11.0
V0	Nükleer potansiyel başlangıç değeri (MeV)	70.0	50.05
R0	Nükleer yarıçap parametresi (fm)	1.12	1.10
D	Nükleer yarıçap parametresindeki donukluk (fm)	0.75	0.5005
Q2	Nükleer kuadropol momenti (fm^2)	1050	0
CRED	Etkileşim bariyeri için ölçek parametresi	1.0	1.0
SIGR0	Etkileşim bariyeri salınımı (% of R0)	3.0	2.5
CUTOFF	Bariyer salınımları için integrasyon sınırı (SIGR0)	5.0	5.0
XTH	Fazladan itme teorisi sınır fisil parametresi	0.7	0.7
APUSH	Fazladan itme teorisinden gelen eğim sabiti	18.0	18.0
FPUSH	Fazladan itme teorisinden gelen açısal moment sabiti	0.75	0.75

```
Ne-20 + Sm-144 --->  Hf-162   Reisdorf parameter set
-----------------------------------------------------------------------
APROJ = 20 ZPROJ = 10 ATARG =144 ZTARG = 62
SHELL(GS) = 2 SHELF(SADDLE) = 2 PAIR= 4 MC = 0 MP = 0 IBF = 1
FISROT PARAMETERS = 0
NOFISSION = 0 NONEUTRONS = 0 NOPROTONS = 0 NOALPHAS = 0 NOGAMMAS = 0
DISC = 0 GAMMAS(IGAM) = 1
-----------------------------------------------------------------------
NEUTRONS = 6 PROTONS = 6
MASSES LOG UNIT = 9 NUMB = 0 IOVER = 1 INERT = 0 INERF = 0 FINERT = 1
LIMITS = 1 PRINT = 5 LOGUN = 0 ICOR = 1 NUMISO = 0 LBDM = 5
IRAST = 0 WKB = 1 ITRANS = 0 JFJI = 1
-----------------------------------------------------------------------
ONLY IF JFJI EQUAL (1)
ANG.MOM. LOSS NEUTRONS 1 PROTONS 1 ALPHAS 3
-----------------------------------------------------------------------
IF IGAM NOT ZERO
EG1WU = 0.01 EG2WU = 10 EG1MIN = 1 EG1MAX = 20
EG2MIN = 1 EG2MAX = 4 JFACT = 1
-----------------------------------------------------------------------
IF IGAM NOT ZERO
CGIANT = 0.0 EGIANT = 80 WGIANT = 5 STRIPE = 0 IOPTG = 0
-----------------------------------------------------------------------
LEVELPAR = 1.153 AF/AN = 1
BARFAC = 1.0 EDAMP = 18.0 BAR0 = 0.0 SHELL0 = 0.0 DELT= 11.0 QVALUE =
0.0
-----------------------------------------------------------------------
ONLY IF LDBM=(5)
LDBM = 1 PREEX = 1 AX = 0 ENH = 0 BETA0 = 0 EDCOLL = 0 UCRIT = 5
-----------------------------------------------------------------------
ONLY IF LIMITS NOT ZERO
CUT = 0.1E-6 FRACT2 = 0.1E-6
ABSMIN = 0 PRCN = 0 SIGLOW = 0 DEL1 = 0 NOLEP = 0 NOLJI = 0 NOLJF =0
-----------------------------------------------------------------------
IF INERT NOT ZERO (LOWER PART YRAST LINE)
ENERGY SPIN ENERGY SPIN ENERGY SPIN
-----------------------------------------------------------------------
E = 70 IEXC = 0 IFUS = 11 LIMBAR = 0
JLOWER = 0 JUPPER = 0 NEWFIS = 0 TSTROT = 0 JFIS = 0 EN = 0
V0 = 70 R0 = 1.12 D = 0.75 Q2 = 1050 CRED = 1.0
NOCURV = 0 NOPROX = 0 IOPT = 0 ITEST = 0
SIGR0 = 3.0 CUTOFF = 5.0 XTH = 0.7 APUSH = 18.0 FPUSH = 0.75
-----------------------------------------------------------------------
E = 75 IEXC = 0 IFUS = 11 LIMBAR = 0
JLOWER = 0 JUPPER = 0 NEWFIS = 0 TSTROT = 0 JFIS = 0 EN = 0
V0 = 70 R0 = 1.12 D = 0.75 Q2 = 1050 CRED = 1.0
NOCURV = 0 NOPROX = 0 IOPT = 0 ITEST = 0
SIGR0 = 3.0 CUTOFF = 5.0 XTH = 0.7 APUSH = 18.0 FPUSH = 0.75
-----------------------------------------------------------------------
-1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

Şekil 3.54. HIVAP Reisdorf parametrelerini içeren input dosyası

```
Ca-48 + Cm-245    Patin Parameters
-----------------------------------------------------------------------
APROJ = 48 ZPROJ = 20 ATARG = 245 ZTARG = 96
SHELL(GS) = 2 SHELF(SADDLE) = 2 PAIR= 4 MC = 0 MP = 0
IBF = 1 FISROT PARAMETERS = 0
NOFISSION = 0 NONEUTRONS = 0 NOPROTONS = 0 NOALPHAS = 0 NOGAMMAS = 0
DISC = 0 GAMMAS(IGAM) = 1
-----------------------------------------------------------------------
NEUTRONS = 6 PROTONS = 1
MASSES LOG UNIT = 9 NUMB = 0 IOVER = 1 INERT = 0 INERF = 0 FINERT = 1
LIMITS = 1 PRINT = 5 LOGUN = 0 ICOR = 1 NUMISO = 0 LBDM = 5
IRAST = 0 WKB = 1 ITRANS = 0 JFJI = 1
-----------------------------------------------------------------------
ONLY IF JFJI EQUAL (1)
ANG.MOM. LOSS NEUTRONS 1 PROTONS 1 ALPHAS 3
-----------------------------------------------------------------------
IF IGAM NOT ZERO
EG1WU = 0.01 EG2WU = 10 EG1MIN = 1 EG1MAX = 20
EG2MIN = 1 EG2MAX = 4 JFACT = 1
-----------------------------------------------------------------------
IF IGAM NOT ZERO
CGIANT = 0.0 EGIANT = 80 WGIANT = 5 STRIPE = 0 IOPTG = 0
-----------------------------------------------------------------------
LEVELPAR = 1.16 AF/AN = 2 BARFAC = 1.001
EDAMP = 18.0 BAR0 = 0.0 SHELL0 = 0.0 DELT= 11.0 QVALUE = 0.0
-----------------------------------------------------------------------
ONLY IF LDBM=(5)
LDBM = 1 PREEX = 1 AX = 0 ENH = 0 BETA0 = 0 EDCOLL = 0 UCRIT = 5
-----------------------------------------------------------------------
ONLY IF LIMITS NOT ZERO
CUT = 0.1E-6 FRACT2 = 0.1E-6
ABSMIN = 0 PRCN = 0 SIGLOW = 0 DEL1 = 0 NOLEP = 0 NOLJI = 0 NOLJF =0
-----------------------------------------------------------------------
IF INERT NOT ZERO (LOWER PART YRAST LINE)
ENERGY SPIN ENERGY SPIN ENERGY SPIN
-----------------------------------------------------------------------
E = 3 IEXC = 1 IFUS = 11 LIMBAR = 0
JLOWER = 0 JUPPER = 0 NEWFIS = 0 TSTROT = 0 JFIS = 0 EN = 0
V0 = 50.05 R0 = 1.10 D = 0.5005 Q2 = 0 CRED = 1.0
NOCURV = 0 NOPROX = 0 IOPT = 0 ITEST = 0
SIGR0 = 2.5 CUTOFF = 5.0 XTH = 0.7 APUSH = 18.0 FPUSH = 0.75
-----------------------------------------------------------------------
E = 6 IEXC = 1 IFUS = 11 LIMBAR = 0
JLOWER = 0 JUPPER = 0 NEWFIS = 0 TSTROT = 0 JFIS = 0 EN = 0
V0 = 50.05 R0 = 1.10 D = 0.5005 Q2 = 0 CRED = 1.0
NOCURV = 0 NOPROX = 0 IOPT = 0 ITEST = 0
SIGR0 = 2.5 CUTOFF = 5.0 XTH = 0.7 APUSH = 18.0 FPUSH = 0.75
-----------------------------------------------------------------------
-1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

Şekil 3.55. HIVAP Patin parametreleri içeren input dosyası

3.5 TALYS Nükleer Reaksiyon Kodu

TALYS nükleer reaksiyonları bilgisayar desteği ile gerçekleştirmeye imkan veren bir yazılımdır. Koning vd. (2015) tarafından, nükleer reaksiyonlarla ilgili tecrübelerin o

sırada ortaya çıkan yeni bilgisayarlardan da yararlanarak bir yazılım vasıtasıyla farklı bir uygulama olarak bir araya getirilmesi fikri ile 1998 yılında başlatılmış ve geliştirilmiştir. O tarihten bu yana tüm TALYS geliştirmeleri NRG (Hollanda Nükleer Araştırma ve Danışmanlık Grubu), CEA (Fransız Alternatif Enerjiler ve Atom Enerjisi Komisyonu) ve Viyana'da konuşlu IAEA'da gerçekleşmiştir. İlk sürümü TALYS 1.0'dır ve son sürümü de TALYS 1.95'dir. UNIX/LINUX işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. Açık kaynak yazılımı olarak ücretsiz erişime sahiptir ve dağıtılmaktadır.

1998 yılında başlayan çalışmaların neticesi olarak, ilk resmi versiyonu TALYS–1.0, Aralık 2007'de kullanıma sunulmuştur. Genel Kamu Lisansı (GPL) altında kullanıcılara ücretsiz olarak dağıtılan TALYS kodunun, her iki yılda bir güncellenmiş sürümü yayınlanmaktadır. İlk sürümünde 1 keV – 200 MeV arasında enerjiye sahip mermi parçacığı (nötron, foton, proton, döteryum (2H), trityum (3H), helyon (3He), alfa (4He) ve gama ışını (foton) kullanılabiliyorken, TALYS 1.8 sürümü ile bu aralık 1 keV – 1 GeV olarak geliştirilmiştir. Hedef için A=5 ile A=339 arasında kütlelerdeki çekirdekler kullanılabilmektedir. Bu niteliklerdeki mermi ve hedef çekirdekler ile optiksel modeller, seviye yoğunluğu modelleri, fisyon reaksiyon modelleri, direkt reaksiyon modelleri, denge ve denge–öncesi reaksiyon modellerini kullanarak teorik hesaplar ve sonuçlar üretilebilmektedir (Koning, 2015).

TALYS'in birbiriyle güçlü bir şekilde bağlantılı iki ana amacı vardır. Birincisi, nükleer reaksiyon deneylerinin analizi için kullanılabilecek bir nükleer fizik aracıdır. Deney ve teori arasındaki etkileşim, parçacıklar ve çekirdekler arasındaki temel etkileşim hakkında fikir verir ve yaptığı hassas ölçümler modelleri sınırlamayı sağlar. Nükleer fizik aşamasından sonra, TALYS'in ikinci işlevi, yani bir nükleer veri aracı olarak gelir: Ya varsayılan bir modda, hiçbir ölçüm olmadığında veya mevcut deneysel verileri kullanarak çeşitli reaksiyon modellerinin ayarlanabilir parametrelerinin ince ayarını yaptıktan sonra, TALYS rezonans bölgesinin ötesinde, kullanıcı tanımlı bir enerji ve açı ızgarası üzerinde tüm açık reaksiyon kanalları için nükleer veri üretebilir. TALYS, astrofiziksel önemi olan Maxwellian ortalamalı reaksiyon hızlarını tahmin etmeye de imkân verir. Astrofizikle ilgili termonükleer oranlar için TALYS tahminleri ayrıntılıdır ve aynı nükleer bileşenler için yaygın olarak kullanılan kodlardan elde edilenlerle kıyaslanabilir.

Gelişmiş optik modeller, bileşik çekirdek, fisyon, seviye yoğunluğu, gama ışını kuvveti ve denge öncesi modeller gibi ana nükleer modeller, bunların tümü ansiklopedik bir veri tabanı tarafından yönetilir. Kodun geçerliliği ve güvenilirliği, hesaplanan sonuçların 1 keV - 1 GeV arasında ölçülen farklı bir dizi veriyle karşılaştırılmasıyla ortaya çıkar. Bu nedenle TALYS, temel nükleer reaksiyon modellerinden nükleer uygulamalar için eksiksiz veri kitaplıklarının oluşturulmasına kadar tüm yolu kapsayan güçlü bir bakış açısı sunar ve aynı nükleer bileşenler için yaygın olarak kullanılan kodlardan elde edilenlerle karşılaştırılır. Esnek ve esnek olmayan toplam kesir kesiti, elastik saçılmada açısal dağılımlar, kesikli seviyelerde açısal dağılımlar, izometrik ve taban durum tesir kesiti, toplam parçacık (n,xn), (n,xp) gibi enerji ve çift diferansiyel tesir kesitleri, tekli ya da çoklu emisyon tesir kesitleri, ürün çekirdeklerinin oluşum tesir kesiti gibi sonuçlar TALYS tarafından üretilebilmektedir.

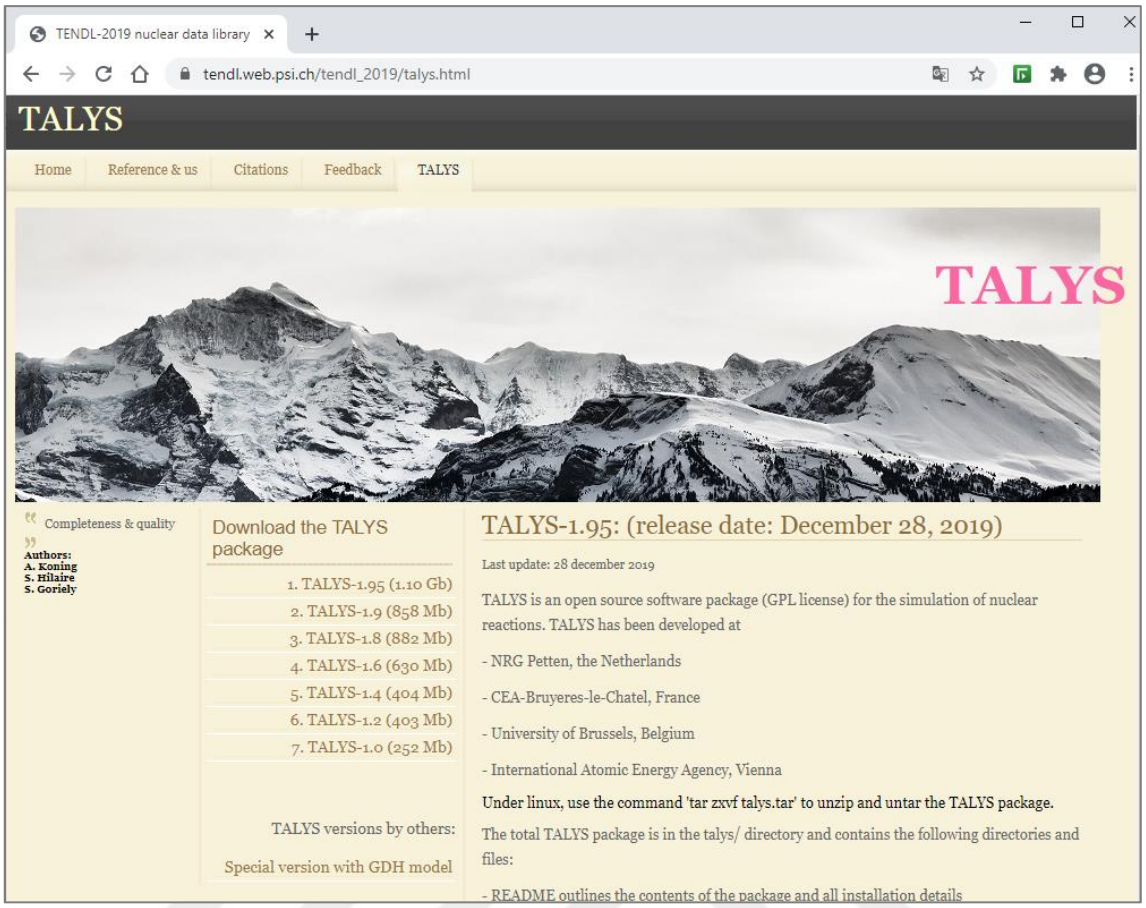
TALYS kodunun sahip olduğu özellikler için:

- Toplam, kısmi, açıya bağlı çift katlı, esnek ve esnek olmayan saçılma, gama ve fisyon yayınlanma ile üretim tesir kesiti hesaplamaları, yayınlanma spektrumu hesaplamaları,

- Medikal radyoizotop üretim hesaplamaları, bolluk oranı analizi, yarı ömür tayini çalışmaları, astrofizik reaksiyon hızları çalışmaları, seviye yoğunluğu parametrelerinin reaksiyonlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi gibi hesaplamalar ve analizlerin yapılması, olarak belirtilebilir.

3.5.1 Temin edilmesi

TALYS uygulamasını temin etmek için https://tendl.web.psi.ch/tendl_2019/talys.html web alanına erişmek gereklidir (Şekil 3.56). Kullanıcı, bu alana eriştikten sonra ekranın sol tarafında bulunan "*Download the TALYS package*" sekmesinde görünen ilk sürüm olan TALYS 1.0 olmak üzere, son sürüm olan TALYS 1.95 sürümüne kadar olan tüm sürümlere erişebilir ve istediğini bilgisayara indirebilir. Burada görünen son sürüm bağlantısına tıklandığında https://tendl.web.psi.ch/tendl_2019/talys/talys.tar adresinden yaklaşık 1,20 GB büyüklüğünde ve "*tar*" uzantılı uygulama dosyası indirilmeye başlar.



Şekil 3.56. TALYS web alanı. Bir web tarayıcısından bu alana erişmek mümkündür.

3.5.2 Kurulması

TALYS, UNIX/LINUX işletim sistemlerinde çalışan, açık kaynak yazılımı olarak ücretsiz erişime sahiptir ve dağıtılmaktadır. Kuruluma dair ayrıntılı bilgi TALYS kullanım kılavuzunda yer almaktadır. Burada, uygulamayı ilk defa deneyimleyecek olan bir kullanıcı için kurulma ait iş ve işlemlere hızlı bir bakış sağlanması hedeflenmiştir.

Uygulamayı Kısım 0'de tarif edilen sürümlerden birinde kurmak mümkündür. Bu çalışmada Linux'un OpenSuse 13.2 sürümü tercih edilmiştir. Bir önceki kısımda bahsedildiği gibi uygulamanın kaynak dosyası bilgisayara indirildikten sonra altta belirtilen adımlar izlenir:

```
>Terminal penceresi başlatılır
```

Uygulama fortran temelli olduğu için derlenmesi gerekmektedir. Bunun için bir fortran derleyici kontrolü yapılmalıdır:

```
>gfortran --version
```

Bu komut ile gfortran derleyicisinin durumu belirlenir. Sürüm bilgisi alınırsa derleyici var demektir. Bir derleyici yoksa kurulması gereklidir:

```
>sudo zypper in gcc-fortran
```

Bu komut opensuse sürümünde uygulama indirmek ve kurmak içindir. Derleyici kurulumu tamamlandıktan sonra indirilen talys uygulama dosyasının sıkıştırılmış halden işlenebilir hale açılması gerekir:

```
>tar zxf talys.tar
```

Sıkıştırılmış dosya bu komutla açılır ve talys dizinine erişilir. Bu dizin içinde talys.setup dosyası bulunur ve bir metin düzenleyici ile açılır. Dosya içinde chmod yazan satırdan "#" simgesi silinir ve dosya kayıt edilir. Artık kurulum başlatılabilir. Terminal penceresinde ve talys dizininde iken:

```
>sh talys.setup
```

komutu işletilir ve kurulum başlatılır. Bu komut ile kod derlenmeye başlar ve bu işlem bir süre devam eder. Kurulumun tamamlandığı bir bildirim ile belirtilir.

```
>rehash
```

Komutu işletilerek kurulum tamamlanır. Ardından kod dizini içinde "*samples*" alt dizinine erişilir:

```
>sh verify
```

Komutu işletilir. Bu işlem bir saat veya biraz daha fazla sürecektir. Terminal ekranı belirli aralıklarla kontrol edilir. İşlemin tamamlandığı, bir mesaj ile belirtilir. Bu durumda kullanıma hazır hale gelmiş olur.

3.5.3 Çalıştırılması

TALYS'i çalıştırmak için mutlaka onun dizininde olmaya gerek yoktur. Ancak çalışma kolaylığı sağlamak amacıyla bir çalışma dizini oluşturmak ve o dizinde devam etmek kolaylık sağlayacaktır. Uygulamayı çalıştırmak için bir terminal penceresi başlatılır.

TALYS kodu da diğer kodlarda olduğu gibi bir reaksiyona ait bilgilerin tanımlandığı, bir girdi dosyasına ihtiyaç duyar. Bunun için adı "input" olan, reaksiyona ait bilgilerin yazıldığı bir metin dosyası hazırlanması gereklidir. Basit bir metin düzenleyici uygulama ile bu girdi dosyasını hazırlamak kolaydır. Örnek girdi dosyası içeriği Şekil 3.57'da verilmiştir:

```
#
# General
#
projectile p
element zr
mass 90
energy 120.
```

Şekil 3.57. En temel TALYS girdi dosyası örneği

Oluşturulan bu girdi dosyası hiçbir uzantı olmadan kayıt edilir. Ardından altta verilen komut ile reaksiyon çalıştırılır:

```
>talys < input
```

3.5.4 Çıktılar

Üstte verilen ve kodu çalıştıran bu komut temel çalıştırma komutudur. Komut işletildiğinde tüm süreç ve çıktıları terminal penceresinde akacaktır. Eğer reaksiyon

sonuçlarının bir metin dosyasında saklanması ve daha sonra da kullanılması istenirse altta verilen komutun işletilmesi gerekir:

```
>talys < input > output &
```

Bu komut sayesinde reaksiyona ait tüm süreçler ve sonuçlar, çalışılan dizin içinde "*output*" isimli bir metin dosyasına kayıt edilir. Sonuçlara ulaşmak için bir metin düzenleyici ile dosyayı açmak yeterlidir.

3.6 Nükleer Reaksiyon Veritabanı

Literatürde deneysel veri kıtlığı olduğunda teorik veriler, ilgili reaksiyonların yararlı tahminlerini sağlayabilir. Bu nedenle, teorik olduğu kadar deneysel verilere de ihtiyaç vardır. EMPIRE ve TALYS gibi kodlarla yapılan teorik nükleer model hesaplamaları, gelişmiş nükleer veri analizi metodolojisi için son derece önemlidir. Teorik verilerin duyarlılığını karşılaştırmak ve değerlendirmesini yapabilmek için deneysel verilere ait EXFOR, ENDF gibi veri kütüphanelerinden alınan verilerle karşılaştırmaları sağlanır.

3.6.1 EXFOR

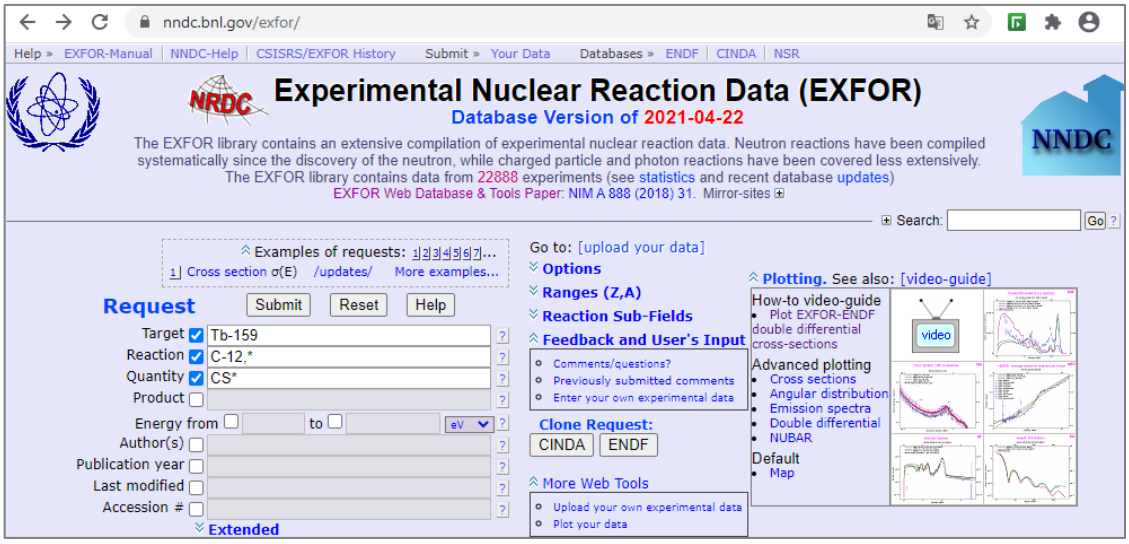
Sistematik olarak toplanan, genişletilen ve geliştirilen deneysel nükleer reaksiyon verilerinin ve ilgili bilgilerin değiş tokuş edilmesi ve alınması için özgün biçime sahip bir veri kitaplığı olan "EXchange FORmat" anlamına gelir. EXFOR, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından koordine edilen Nükleer Reaksiyon Veri Merkezi Ağı (NRDC) vasıtasıyla ortaklaşa yürütülen uluslararası bir veri kütüphanesidir. Düşük ve orta enerjili nükleer reaksiyon fiziği verilerinin zenginliğine erişim sağlayan web sitesi www.nds.iaea.org'dur. Bununla beraber Nükleer Veri Bölümü (NDS) tarafından işletilen ve bir ayna site olan www.nndc.bnl.gov sitesi de mevcuttur.

Nükleer veri değerlendirmesi, uygulama geliştirme ve araştırma faaliyetleri için temel bir destek sağlayan, aylık olarak güncellenen EXFOR veritabanı; gelen nötronlar, yüklü parçacıklar ve fotonlar için deneysel nükleer reaksiyon verilerine sahiptir. Nükleer bilimin başlangıcından bu yana 22.000 deneyin sayısal veri setlerini ve bibliyografik bilgilerini içerir ve pion eşiğine kadar neredeyse tüm nötron kaynaklı reaksiyon

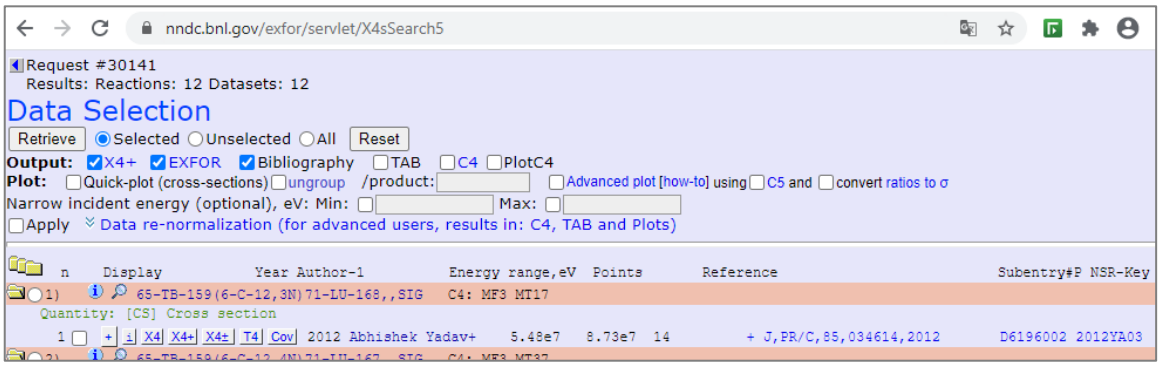
deneysel verilerini kapsar. Kitaplık, yüklü parçacık kaynaklı reaksiyonlar (genel olarak A < 12) ve foton deneyleri için de yeterli veriye sahiptir.

3.6.2 Deneysel verinin EXFOR'dan elde edilmesi

Nükleer reaksiyon kodlarının sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması, nükleer kodun sonuçlarının anlamlı olup olmadığını göstermesi bakımından önemlidir. Bu tez çalışmasında kullanılan deneylere ait veriler (Şekil 3.58), (Şekil 3.59), (Şekil 3.60) da gösterildiği gibi EXFOR veri tabanından elde edilmiştir (https://www.nndc.bnl.gov/exfor/ web sayfasına erişilir).



Şekil 3.58. EXFOR reaksiyon tarama web alanı

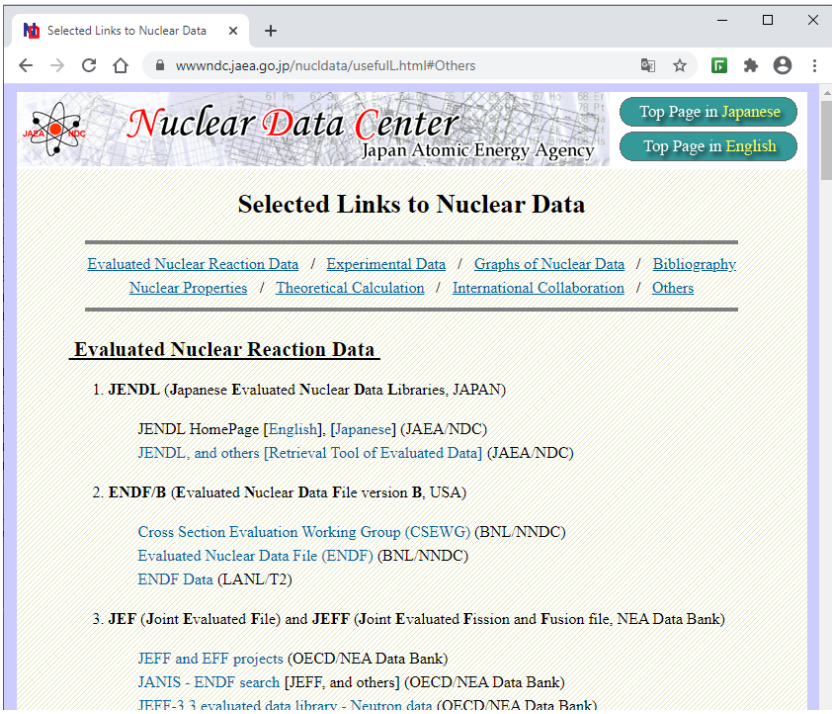


Şekil 3.59. Reaksiyon sonuçları web alanı

```
                # Decay-data: [71-LU-168]
STATUS          (TABLE) Table II of Phys.Rev.C85(2012)034614
                #(TABLE) Data presented by authors
ENDBIB                  6
NOCOMMON
DATA                    4          14          12
                #Legend: 4 x 14 x 12 : data columns * lines * column width
                #EN        Energy of incident projectile, laboratory system   MEV   MeV
                #EN-ERR    Uncertainty in incident projectile energy          MEV   MeV
                #DATA      Cross section                                      MB    millibarns
                           #+ 65-TB-159(6-C-12,3N)71-LU-168,,SIG
                #ERR-T     Total uncertainty (1-Sigma)                        MB    millibarns
                #/Legend
EN              EN-ERR          DATA            ERR-T
MEV             MEV             MB              MB
54.83           0.52            184.5           29.68
58.51           0.50            177.5           24.2
61.37           0.63            118.            15.27
62.63           0.80            94.5            12.85
65.49           0.69            47.5            6.95
67.24           1.17            45.             6.25
69.15           0.85            14.             3.01
72.24           0.76            7.5             1.26
74.97           0.57            2.5             0.29
77.77           0.62            1.              0.15
79.62           0.61            0.5             0.08
82.47           0.82            0.15            0.03
84.44           0.56            0.1             0.02
87.31           0.69            0.01            0.0015
ENDDATA
ENDSUBENT               27
ENDENTRY
```

Şekil 3.60. Deneyin yayınını ve sonuçlarını içeren sayfa

Bu tez çalışmasında yararlanılan veri tabanı EXFOR olmuştur. Başkaca nükleer veri tabanlarına erişim için https://wwwndc.jaea.go.jp/nucldata/usefulL.html#Others web alanı bağlantısı kullanılabilir (Şekil 3.61).



Şekil 3.61. Japonya Atom Enerji Kurumu Nükleer Veri Merkezi web alanı sayfası

BÖLÜM IV

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde; EXFOR nükleer veri tabanından ve literatürden, kütlesi 20-30, 40-50, 51-60, 70-80, 90-100, 101-110, 130-140, 180-190 arasında ve 200'den büyük olan nötronca zengin çekirdek ürün tesir kesiti elde edilmiş 18 adet nükleer reaksiyon belirlenmiştir. Reaksiyon sonunda ortaya çıkan ürünü nötronca zengin çekirdek olan, çıkış kanalı için nötron (n), proton (p), döteryum (d), trityum (t), 3He ve alfa (a) parçacıkları ile ağırlıklı olarak nötron girişli reaksiyonlar tercih edilmiştir. Reaksiyonlara ait bilgiler Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Nükleer reaksiyon kodları ile yeniden çalışılan nükleer reaksiyonlar

Reaksiyon	Enerji Aralığı	Çıkış Kanalı	Ürün	Kaynak
27Al(n)	13,47-14,86	p	27Mg	Filatenkov vd.1997
27Al(a)	52,00-91,60	3p	28Mg	Vysotskiy vd.1989
40Ar(p)	20,00-39,00	2p	39Cl	Nagatsu vd.1999
51V(n)	13,56-14,78	a	48Sc	Filatenkov vd.1997
55Mn(n)	13,47-14,86	a	52V	Filatenkov vd.1997
59Co(n)	13,56-14,78	p	59Fe	Filatenkov vd.1997
70Zn(a)	7,80-46,00	p	73Ga	Levkovski 1990
94Zr(n)	13,56-14,78	a	91Sr	Filatenkov vd.1997
92Zr(n)	13,56-14,78	p	92Y	Filatenkov vd.1997
96Mo(n)	8,92-13,08	p	96Nb	Semkova ve Nolte, 2014
108Pb(n)	13,47-14,86	a	105Ru	Filatenkov vd.1997
115In(n)	13,56-14,78	a	112Ag	Filatenkov vd.1997
138Ba(n)	13,47-14,81	p	138Cs	Filatenkov vd.1997
138Ba(n)	13,47-14,81	a	135Xe	Filatenkov vd.1997
148Nd(n)	13,40-14,87	a	145Ce	Sakane vd.1997
180Hf(n)	13,40-14,87	p	180Lu	Murahira vd.1996
208Pb(11Li)	26,1-39,9	5n	214At	Loveland vd. 2018
249Cf(48Ca)	235-255	3n	294Og	Oganessian vd.2006

Bu deneysel tesir kesiti verileri, bu tez çalışmasının motivasyonuna konu olarak tercih edilen PACE4, TALYS, EMPIRE ve HIVAP nükleer reaksiyon kodları marifetiyle yeniden üretilmiştir.

Nötron bakımından zengin çekirdekler, füzyon, bazı nükleonların yarı elastik veya derin elastik olmayan transferi, parçalanma ve fisyon gibi çeşitli fiziksel işlemlerle üretilebildiği literatürden anlaşılmaktadır. Bununla beraber parçalanma, nötronca zengin birçok çekirdeğin üretilmesine izin veren daha uygun bir reaksiyon mekanizması gibi görünmektedir. Yine literatür araştırmasına göre mermi parçalanması ve özellikle soğuk parçalanma reaksiyonlarında nötronca zengin ağır çekirdeklerin üretimine bir yönelme olduğu anlaşılmaktadır (Nieto, 2007).

Bunlardan bir tanesi Ohnishi vd. (2010) tarafından yapılmış olan ve 238U izotopunun 345 MeV/nükleon gelme enerjili mermi olarak kullanıldığı uçuş içi fisyonuyla üretilen 45 yeni nötron zengini çekirdek izotopun tanımlanması çalışmasıdır.

Zhu vd.(2017) tarafından yapılan çalışmada; 124,136,144Xe izotoplarının mermi olarak kullanıldığı, çoklu nükleon transfer reaksiyonuyla Z = 60-73 olan nötronca zengin çekirdeklerin üretilmesi irdelenmiştir.

Başka bir çalışma ise Benlliure vd (1999) tarafından yapılmıştır: Gelme enerjisi 950 MeV/nükleon olan 197Au izotopunun, bir Be hedefine gönderildiği ve soğuk parçalanma reaksiyonuyla yedi yeni nötronca zengin çekirdek izotopuna dair sonuçlar üretilmiştir.

Pérez-Loureiro vd (2011) tarafından yapılan bir çalışmada ise gelme enerjisi 950 MeV/nükleon olan 132Sn izotopunun, bir Be hedefine çarpıştırılması ile meydana gelen parçalanma reaksiyonu sonucunda nötronca zengin yeni çekirdeklerin üretilmesi incelenmiştir.

BÖLÜM V

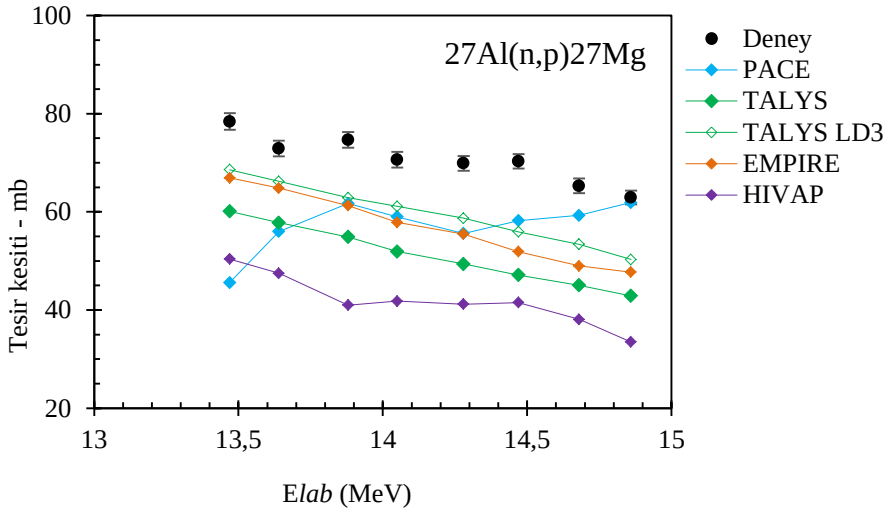
BULGULAR VE TARTIŞMA

27Al(n,p)27Mg Reaksiyonu

Reaksiyon, Filatenkov ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 27Mg izotopu, en yakın kararlı izotopundan 1n fazladır, yarılanma ömrü 9,458 dakikadır. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve E*lab* için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, E*lab* ile veri üretemediği için PACE4 kullanılarak uyarılma enerjisi (E*exc*) belirlendi ve HIVAP verisi elde edildi.

Çizelge 5.1. 27Mg izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) E*lab*. – (E*exc*.)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	TALYS ldmodel 3	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
13,47 - (20,71)	78,4 (1,7)	45,60	60,10	68,58	66,92	50,40
13,64 - (20,88)	72,9 (1,6)	44,50	57,80	66,20	64,83	47,50
13,88 – (21,11)	74,7 (1,6)	51,00	54,90	62,89	61,28	41,00
14,05 – (21,27)	70,6 (1,6)	59,00	51,92	61,11	57,86	41,80
14,28 – (21,50)	69,9 (1,5)	55,60	49,38	58,71	55,48	41,20
14,47 – (21,68)	70,3 (1,5)	58,20	47,12	55,92	51,90	41,50
14,68 – (21,88)	65,3 (1,5)	59,30	45,05	53,39	48,99	38,10
14,86 – (22,06)	62,9 (1,4)	61,90	42,88	50,30	47,70	33,50



Şekil 5.1. 27Mg izotopu tesir kesiti görsel gösterimi

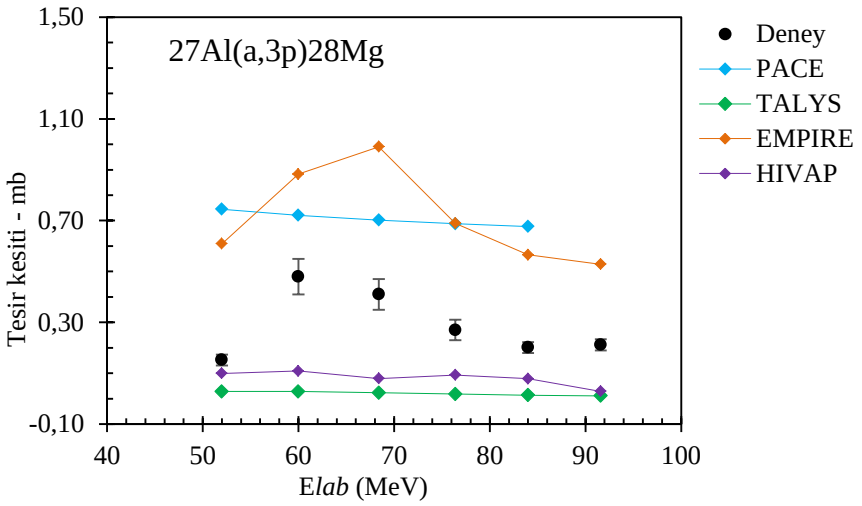
Sonuçlar Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1'de sunulmuştur. (i) TALYS ile iki veri takımı üretilmiştir. Deney verisinden farklı olan ilk veri varsayılan parametrelerle elde edilmiştir. İkinci veri grubu seviye yoğunluğu parametresi ldmodel 3 ile elde edilmiştir ama deney verilerine tam uyum göstermemiştir. (ii) EMPIRE verisi deney verileriyle benzer eğilime sahiptir ancak tam uyum göstermemiştir. (iii) PACE4 verisi için anlamlı bir bulgu önerilmemektedir. (iv) HIVAP ile üretilen veriler deney ile benzer eğime sahip olsa da deney verisinden oldukça altta olduğu görülmektedir.

27Al(a,3p)28Mg Reaksiyonu

Bu reaksiyon; Vysotskiy ve diğerleri (1989) tarafından yapılmış olan çalışmadan seçilmiştir. 28Mg nötronca zengin izotopu, kararlı çekirdeği olan 26Mg izotopundan 2n fazladır. Yarı ömrü 20,915 saattir.

Çizelge 5.2. 28Mg izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji Elab (MeV)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
52,00	0,15 (0,02)	0,75	0,03	0,609	0,10
60,00	0,48 (0,07)	0,72	0,03	0,883	0,11
68,40	0,41 (0,06)	0,70	0,02	0,990	0,08
76,40	0,27 (0,04)	0,69	0,02	0,689	0,09
84,00	0,20 (0,02)	0,68	0,01	0,566	0,08
91,60	0,21 (0,02)		0,01	0,529	0,03



Şekil 5.2. 28Mg izotopu tesir kesiti görsel gösterimi

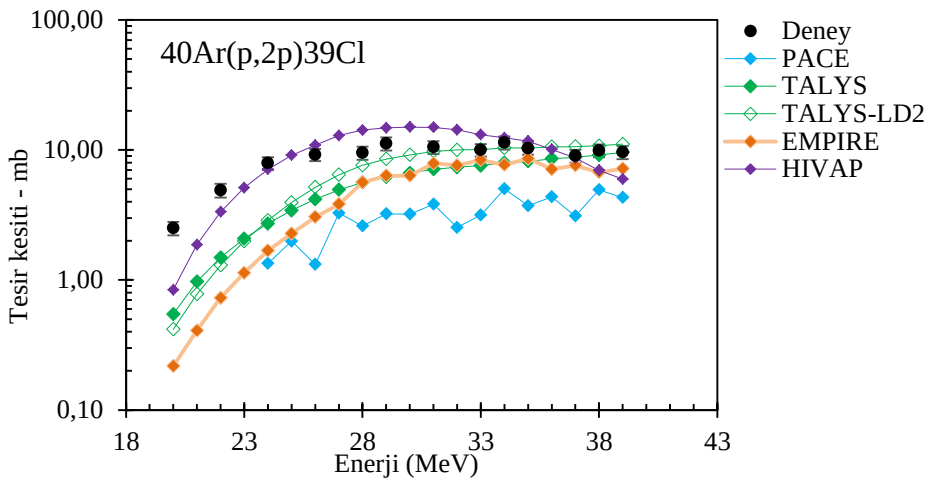
Reaksiyon dört farklı teorik hesaplama kodu ile yeniden çalışılmış ve deney sonuçları ile kıyaslamak için sonuçlar Çizelge 5.2'de ve Şekil 5.2'de sunulmuştur. Şekil 5.2'e göre HIVAP ve EMPIRE teorik kodlarının sonuçları, deney sonuçlarıyla örtüşmektedir. Buna karşılık PACE4 ve TALYS sonuçları daha yüksek tesir kesiti üretmiş gibi görünse de anlamlı bir bulgu önermemektedir.

40Ar(p,2p)39Cl Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Nagatsu ve diğerleri tarafından (1999) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 39Cl izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 37Cl'dan 2n fazladır ve yarılanma ömrü 56,2 dakikadır. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle işletilmiştir.

Çizelge 5.3. 39Cl izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) (E*lab*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	TALYS ldmodel 2	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
20	2,50 (0,30)		0,55	0,42	0,22	0,84
21			0,97	0,78	0,41	1,87
22	4,90 (0,60)		1,49	1,30	0,73	3,34
23			2,08	1,99	1,13	5,12
24	7,90 (0,90)	1,34	2,72	2,88	1,68	7,10
25		1,99	3,42	3,95	2,28	9,11
26	9,20 (1,00)	1,32	4,18	5,17	3,05	10,90
27		3,27	4,94	6,45	3,83	12,90
28	9,50 (1,10)	2,60	5,63	7,61	5,63	14,20
29	11,20 (1,30)	3,23	6,20	8,52	6,34	14,80
30		3,21	6,64	9,17	6,34	15,00
31	10,50 (1,20)	3,83	7,10	9,75	7,89	14,90
32		2,54	7,37	10,00	7,62	14,30
33	10,00 (1,10)	3,16	7,58	10,08	8,36	13,10
34	11,40 (1,30)	5,03	7,98	10,35	7,69	12,40
35	10,30 (1,10)	3,73	8,19	10,35	8,59	11,70
36		4,36	8,56	10,55	7,11	10,10
37	9,00 (1,00)	3,10	8,80	10,62	7,60	8,69
38	9,90 (1,10)	4,94	9,15	10,77	6,74	6,97
39	9,60 (1,10)	4,31	9,58	11,08	7,19	5,98



Şekil 5.3. 39Cl nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

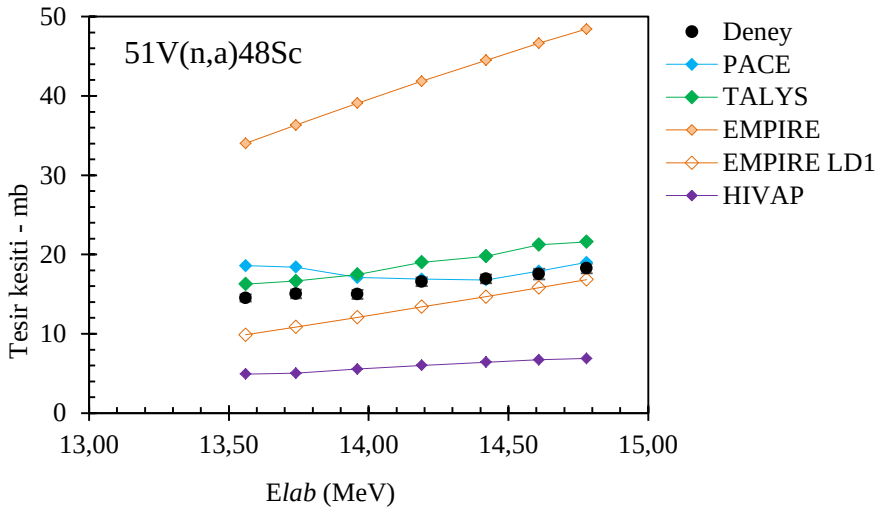
Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.3 ve Şekil 5.3) sunulmuştur: (i) TALYS iki veri takımı üretilmiştir. Deney verisinden çok farklı olan ilk veri grubu varsayılan parametrelerle elde edilmiştir. İkinci veri grubu ise seviye yoğunluğu parametresi olan ldmodel 2 parametresi ile alınmıştır. (ii) EMPIRE tesir kesiti verileri ile TALYS ldmodel 2 verilerinin 28 MeV'den itibaren deney ile yakın bir uyuma sahip olduğu görülmektedir. (iii) PACE4 verisi için anlamlı bir bulgu önerilmemektedir. (iv) HIVAP ile üretilen verilerin deney ile tam uyuma sahip olduğu görülmektedir.

51V(n,a)48Sc Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Filatenkov ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 48Sc izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 45Sc'dan 3n fazladır ve yarılanma ömrü 1,819 gündür. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle işletilmiştir. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.4 ve Şekil 5.4): (i) TALYS ile üretilen verilerin deney ile tam uyuma sahip olduğu görülmektedir. (ii) EMPIRE iki veri takımı üretilmiştir. Deney verisinden çok farklı olan ilk veri grubu varsayılan parametrelerle elde edilmiştir. İkinci veri grubu ise seviye yoğunluğu parametresi olan levden 1 parametresi ile alınmıştır ve deney ile tam bir uyuma sahip olduğu görülmektedir. (iii) PACE4 verisinin, deney verisi ile iyi bir uyuma sahip olduğu görülmektedir. (iv) HIVAP verisi için bir bulgu önerilmemektedir.

Çizelge 5.4. 48Sc izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) *Elab.* – (*Eexc.*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	EMPIRE (mb)	EMPIRE levden 1	HIVAP (mb)
13,56 - (20,61)	14,51 (0,45)	18,6	16,27	34,01	9,88	4,93
13,74 - (20,79)	15,02 (0,55)	18,4	16,65	36,32	7,00	5,04
13,96 – (21,00)	14,98 (0,57)	17,1	17,48	39,08	7,00	5,55
14,19 – (21,23)	16,56 (0,54)	16,9	19,01	41,85	12,30	6,01
14,42 – (21,45)	16,92 (0,56)	16,8	19,79	44,49	12,30	64,1
14,61 – (21,64)	17,53 (0,65)	17,9	21,24	46,65	12,30	6,75
14,78 – (21,81)	18,25 (0,60)	19,00	21,60	48,43	12,30	6,89



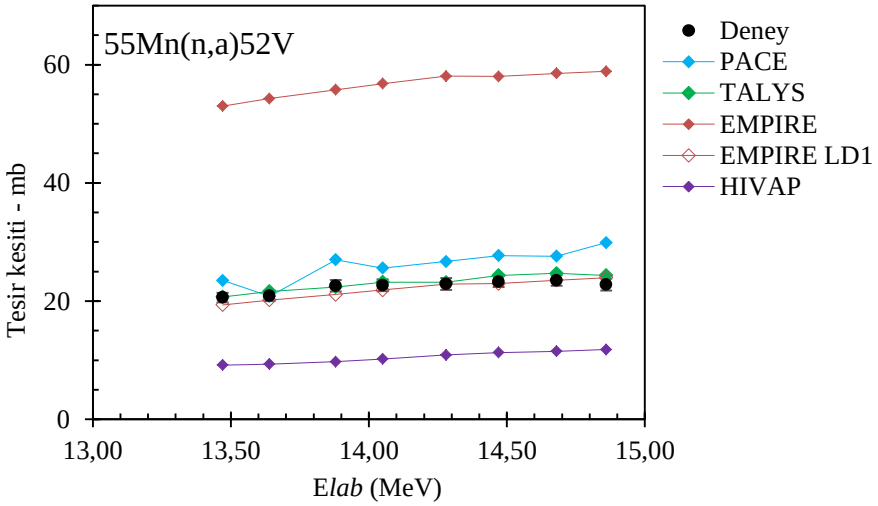
Şekil 5.4. 39Cl nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

55Mn(n,a)52V Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Filatenkov ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 52V izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 51V'dan 1n fazladır ve yarılanma ömrü 3,743 dakikadır. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle işletilmiştir. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.5 ve Şekil 5.5) sunulmuştur: (i) TALYS ile üretilen verilerin deney ile tam uyuma sahip olduğu görülmektedir. (ii) EMPIRE iki veri takımı üretilmiştir. Deney verisinden çok farklı olan ilk veri grubu varsayılan parametrelerle elde edilmiştir. İkinci veri grubu ise seviye yoğunluğu parametresi olan levden 1 parametresi ile alınmıştır ve deney ile tam uyuma sahip olduğu görülmektedir. (iii) PACE4 verisinin, deney verisi ile iyi bir uyuma sahip olduğu görülmektedir. (iv) HIVAP verisi için bir bulgu önerilmemektedir.

Çizelge 5.5. 52V izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) E*lab*. – (E*exc.*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	EMPIRE (mb)	EMPIRE levden 1	HIVAP (mb)
13,47 – (20,50)	20,60 (0,80)	23,50	20,72	53,00	19,37	9,19
13,64 – (20,67)	20,90 (0,90)	20,80	21,64	54,27	20,19	9,34
13,88 – (20,90)	22,60 (1,00)	27,00	22,40	55,76	21,13	9,74
14,05 – (21,07)	22,70 (1,00)	25,60	23,22	56,79	21,89	10,20
14,28 – (21,30)	22,90 (1,00)	26,70	23,19	58,08	22,90	10,90
14,47 – (21,48)	23,30 (0,90)	27,70	24,34	58,02	22,96	11,30
14,68 – (21,69)	23,50 (0,90)	27,60	24,71	58,53	23,52	11,50
14,86 – (21,87	22,80 (1,00)	29,90	24,34	58,86	23,98	11,80



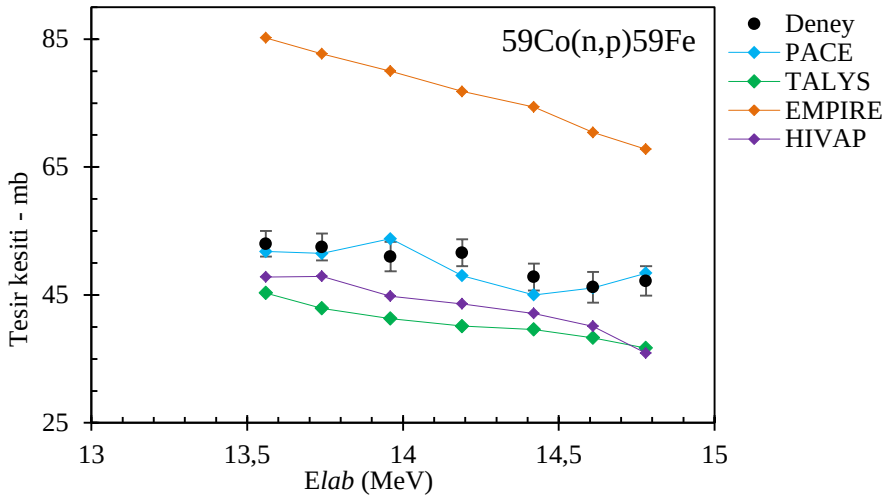
Şekil 5.5. 52V nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

59Co(n,p)59Fe Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Filatenkov ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 59Fe izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 58Fe'den 1n fazladır ve yarılanma ömrü 44,495 gündür. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve E*lab* için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, E*lab* ile veri üretemediği için PACE4 ile reaksiyon uyarılma enerjisi (E*exc*) belirlenerek HIVAP verisi elde edildi. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.6 ve Şekil 5.6) sunuluştur: (i) Deney ile tam uyum gösteren veri PACE4 ile elde edilmiştir. (ii) TALYS ve HIVAP ile üretilen verilerin deney ile benzer eğime sahip olduğu ancak deney verisinin altında kaldıkları görülmektedir. (iii) EMPIRE verisi eğimi benzer ancak deney verisinden farklı bir yapı göstermektedir.

Çizelge 5.6. 59Fe izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) *Elab.* – (*Eexc.*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
13,56 – (20,83)	53,00 (2,0)	51,80	45,30	85,20	47,80
13,74 – (21,00)	52,50 (2,1)	51,50	42,90	82,69	47,90
13,96 – (21,22)	51,00 (2,3)	53,80	41,30	80,00	44,80
14,19 – (21,45)	51,60 (2,1)	48,00	40,12	76,81	43,60
14,42 – (21,67)	47,80 (2,1)	45,00	39,60	74,40	42,10
14,61 – (21,86)	46,20 (2,4)	46,10	38,30	70,41	40,10
14,78 – (22,26)	47,18 (2,3)	48,40	36,70	67,77	35,90



Şekil 5.6. 59Fe nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

70Zn(a,p)73Ga Reaksiyonu

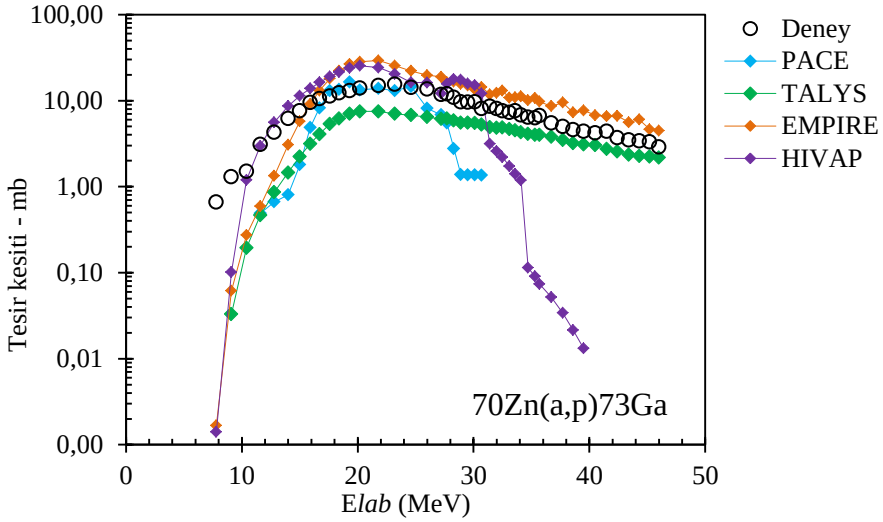
Çizelge 5.7. 73Ga izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) (*Elab*)	Deney (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
7,80	0,66				
9,10	1,30		0,03	0,06	0,10
10,40	1,50		0,19	0,27	1,19
11,60	3,10	0,49	0,46	0,59	2,97
12,80	4,30	0,67	0,86	1,33	5,60
14,00	6,20	0,80	1,46	3,06	8,64
15,00	7,60	1,80	2,23	5,74	11,40
15,90	9,50	4,86	3,15	9,07	13,80
16,70	10,50	8,23	4,08	13,08	16,30
17,60	11,30	13,00	5,36	18,03	19,10
18,40	12,30	13,50	6,21	22,17	21,50
19,30	13,00	16,40	7,03	26,50	24,00
20,20	14,00	13,30	7,48	28,25	25,40

21,80	15,00	13,90	7,48	29,25	24,20
23,20	15,50	13,00	7,03	25,53	20,40
24,60	14,20	14,60	6,79	22,18	16,30
26,00	13,60	8,13	6,46	19,75	16,20
27,20	11,80	6,86	6,12	18,93	12,10
27,70	12,00	5,51	6,17	16,29	15,60
28,30	10,90	2,77	5,88	16,52	17,70
28,90	9,70	1,38	5,52	15,62	17,50
29,50	9,60	1,37	5,54	14,92	15,80
30,10	9,70	1,37	5,51	13,49	15,10
30,70	8,10	1,36	5,24	14,34	12,10
31,40	8,60		4,93	11,81	3,15
32,00	8,10		4,82	12,27	2,58
32,50	7,60		4,85	13,00	2,20
33,10	7,30		4,68	10,76	1,72
33,60	7,60		4,50	10,86	1,40
34,10	6,80		4,30	11,20	1,18
34,70	6,40		4,09	10,07	0,11
35,30	6,30		3,99	10,68	0,09
35,70	6,70		4,01	9,72	0,07
36,70	5,50		3,79	8,64	0,05
37,70	5,00		3,49	9,46	0,03
38,60	4,60		3,20	7,26	0,02
39,50	4,40		3,10	7,67	0,01
40,50	4,20		3,05	6,76	
41,50	4,40		2,75	6,57	
42,40	3,70		2,55	6,66	
43,40	3,50		2,35	5,61	
44,30	3,40		2,28	6,03	
45,20	3,30		2,23	4,64	
46,00	2,90		2,18	4,48	

Bu reaksiyon, Levkovski tarafından (1990) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 73Ga izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 71Ga'dan 2n fazladır yarılanma ömrü 4,86 dakikadır. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle işletilmiştir.

Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.7 ve Şekil 5.7): (i) TALYS sonuçları deneysel veriyle uyumludur, 15 MeV ve sonrasında daha iyi uyum bulgusu önerilmektedir. (ii) EMPIRE verilerinin genel yapı itibariyle deney ile uyumlu olduğu görülmüş, 14 MeV sonrasında uyumun daha iyi hale geldiği anlaşılmaktadır. (iii) PACE4 verilerinin 14 – 24 MeV arasında deney verisiyle uyumu görülmektedir. (iv) HIVAP verileri 8 MeV – 32 MeV arasında uyum bulgusu göstermektedir.



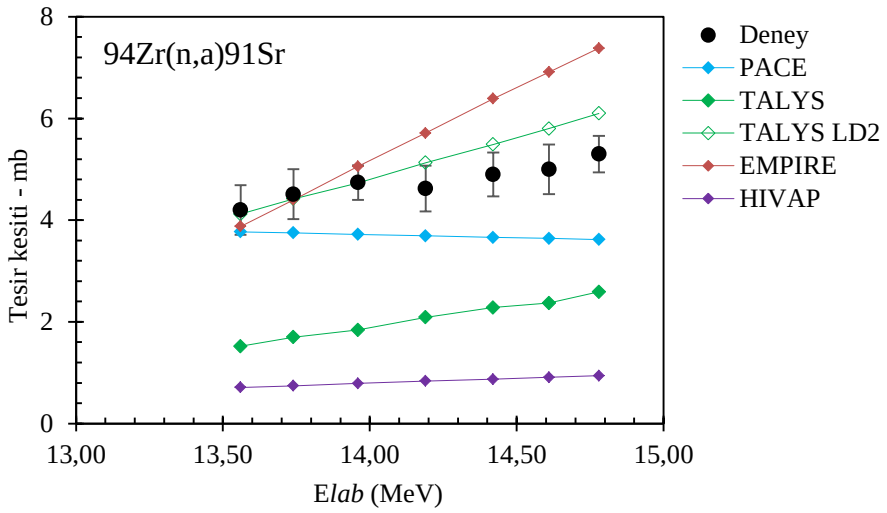
Şekil 5.7. 73Ga nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

94Zr(n,a)91Sr Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Filatenkov ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 91Sr izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 88Sr'dan 3n fazladır ve yarılanma ömrü 9,64 saattir. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve E*lab* için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, E*lab* ile veri üretemediği için PACE4 ile reaksiyon uyarılma enerjisi (E*exc*) belirlenerek HIVAP verisi elde edildi. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.8 ve Şekil 5.8): (i) TALYS ile iki veri takımı üretilmiştir. Deney verisinden çok farklı olan ilk veri grubu varsayılan parametrelerle elde edilmiştir. İkinci veri grubu ise seviye yoğunluğu parametresi olan levden 1 parametresi ile alınmıştır ve deney ile en yakın uyuma sahip olduğu görülmektedir. (ii) EMPIRE verisinin eğimi deney verisine benzer olsa da tam uyum görülmemiştir. (iii) PACE4 verisi deney verisinin eğiminden farklı yöndedir, uyum önerilmemektedir. (iv) HIVAP verisi için bir bulgu önerilmemektedir.

Çizelge 5.8. 91Sr izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) E*lab*. – (E*exc*.)	**Deney (Hata) (mb)**	**PACE4 (mb)**	**TALYS (mb)**	**TALYS ldmodel 2**	**EMPIRE (mb)**	**HIVAP (mb)**
13,56 – (19,88)	4,20 (0,49)	3,77	1,52	4,12	3,88	0,71
13,74 – (20,06)	4,51 (0,49)	3,75	1,70	4,42	4,40	0,74
13,96 – (20,28)	4,74 (0,34)	3,72	1,84	4,73	5,06	0,79
14,19 – (20,50)	4,62 (0,45)	3,69	2,09	5,13	5,71	0,84
14,42 – (20,73)	4,90 (0,43)	3,66	2,28	5,49	6,39	0,87
14,61 – (20,92)	5,00 (0,49)	3,64	2,37	5,80	6,91	0,91
14,78 – (21,09)	5,30 (0,36)	3,62	2,59	6,10	7,38	0,94



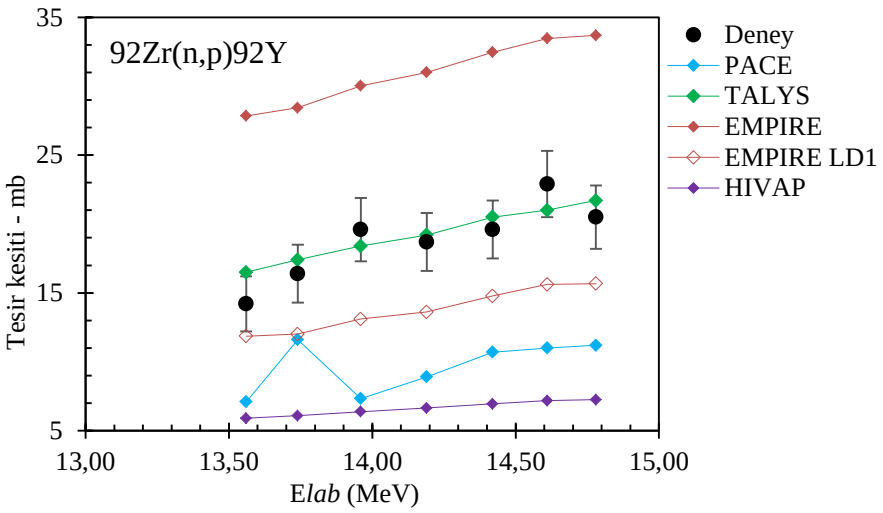
Şekil 5.8. 91Sr nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

92Zr(n,p)92Y Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Filatenkov ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 92Y izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 89Y'dan 3n fazladır ve yarılanma ömrü 3,53 saattir. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve Elab için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, Elab ile veri üretemediği için PACE4 ile reaksiyon uyarılma enerjisi (Eexc) belirlenerek HIVAP verisi elde edildi. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.9 ve Şekil 5.9): (i) TALYS ile üretilen tesir kesiti verisinin deneyle tam uyumlu olduğu görülmektedir. (ii) EMPIRE için iki veri takımı vardır. Deney verisinden çok farklı olan ilk veri grubu varsayılan parametrelerle elde edilmiştir. İkinci veri grubu ise seviye yoğunluğu parametresi olan levden 1 parametresi ile alınmıştır ve verinin deney ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. (iii) PACE4 ve HIVAP verileri, deney verileriyle aynı eğilimi gösterse de uyumları deney verisinin altında kalmaktadır.

Çizelge 5.9. 92Y izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) *Elab.* – (*Eexc.*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	EMPIRE (mb)	EMPIRE levden 1	HIVAP (mb)
13,56 – (20,15)	14,20 (2,0)	7,09	16,50	27,84	11,86	5,90
13,74 – (20,33)	16,40 (2,1)	11,60	17,40	28,44	12,01	6,09
13,96 – (20,54)	19,60 (2,3)	7,33	18,40	30,03	13,10	6,37
14,19 – (20,77)	18,70 (2,1)	8,91	19,20	31,01	13,61	6,64
14,42 – (21,00)	19,60 (2,1)	10,70	20,50	32,48	14,77	6,94
14,61 – (21,29)	22,90 (2,4)	11,00	21,00	33,47	15,61	7,18
14,78 – (21,36	20,50 (2,3)	11,20	21,70	33,69	15,67	7,25



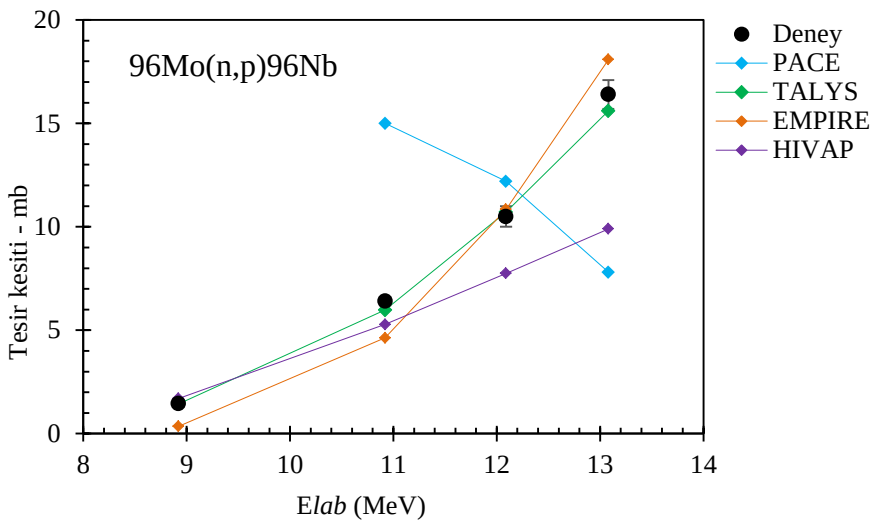
Şekil 5.9. 92Y nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

96Mo(n,p)96Nb Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Semkova ve diğerleri tarafından (2014) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 96Nb izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 93Nb'dan 3n fazladır ve yarılanma ömrü 23,35 saattir. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve E*lab* için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, E*lab* ile veri üretemediği için PACE4 ile reaksiyon uyarılma enerjisi (E*exc*) belirlenerek HIVAP verisi elde edildi. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.10 ve Şekil 5.10): (i) TALYS ile üretilen tesir kesiti verisinin deneyle tam uyumlu olduğu görülmektedir. (ii) EMPIRE verisinin, deney ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. (iii) PACE4 verisi için anlamlı bir bulgu önerilmemektedir. (iv) HIVAP verisi 9 MeV - 11 MeV arası için uyumlu görünmektedir.

Çizelge 5.10. 96Nb izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) E*lab*. – (E*exc*.)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
8,92 – (15,65)	1,46 (0,15)		1,44	0,35	1,70
10,92 – (17,63)	6,40 (0,2)	15	5,98	4,63	5,28
12,09 – (18,79)	10,5 (0,5)	12,2	10,71	10,85	7,75
13,08 – (19,77)	16,4 (0,7)	7,8	15,60	18,09	9,90



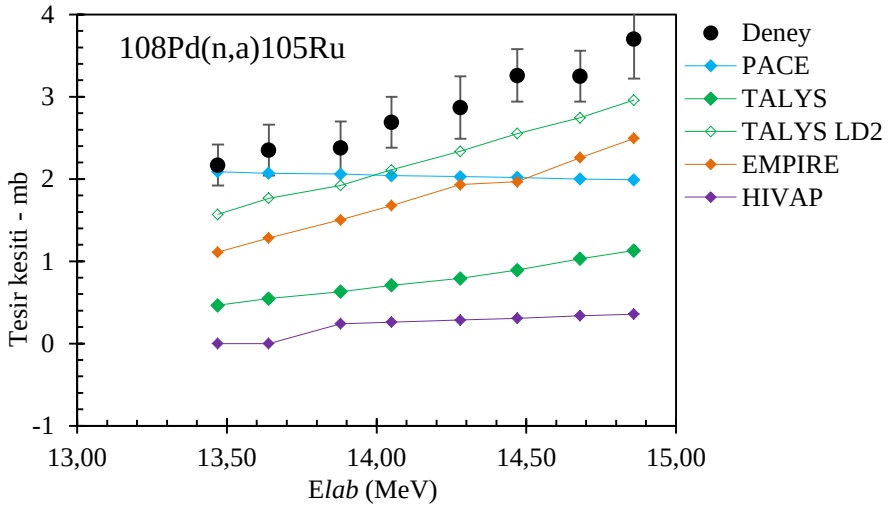
Şekil 5.10. 96Mb nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

108Pb(n,a)105Ru Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Filatenkov ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 105Ru izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 104Ru'dan 1n fazladır ve yarılanma ömrü 4,4 saattir. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve Elab için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, Elab ile veri üretemediği için PACE4 ile reaksiyon uyarılma enerjisi (Eexc) belirlenerek HIVAP verisi elde edildi. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.11 ve Şekil 5.11) sunulmuştur: (i) TALYS için iki veri takımı vardır. Deney verisinden farklı olan ilk veri grubu varsayılan parametrelerle elde edilmiştir. İkinci veri grubu ise seviye yoğunluğu parametresi ldmodel 2 ile üretilmiştir ve deney ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. (ii) EMPIRE ile üretilen veriler, deney ile aynı eğime sahip olsa da bir miktar alttdır. (iii) PACE4 verisi, deney verisine göre zıt eğilime sahip olduğu anlaşılmaktadır, uyum önerilmemektedir. (iv) HIVAP verisi için uyum görülmemiştir.

Çizelge 5.11. 105Ru izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) *Elab.* – (*Eexc.*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	TALYS ldmodel 2	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
13,47 – (19,50)	2,17 (0,25)	2,09	0,47	1,57	1,11	
13,64 – (19,67)	2,35 (0,31)	2,07	0,55	1,77	1,28	
13,88 – (19,91)	2,38 (0,32)	2,06	0,63	1,92	1,50	0,24
14,05 – (20,08)	2,69 (0,31)	2,04	0,71	2,11	1,68	0,26
14,28 – (20,30)	2,87 (0,38)	2,03	0,79	2,34	1,93	0,29
14,47 – (20,49)	3,26 (0,32)	2,02	0,89	2,55	1,97	0,31
14,68 – (20,70)	3,25 (0,31)	2,00	1,03	2,75	2,26	0,34
14,86 – (20,88)	3,70 (0,48)	1,99	1,13	2,96	2,49	0,36



Şekil 5.11. 105Ru nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

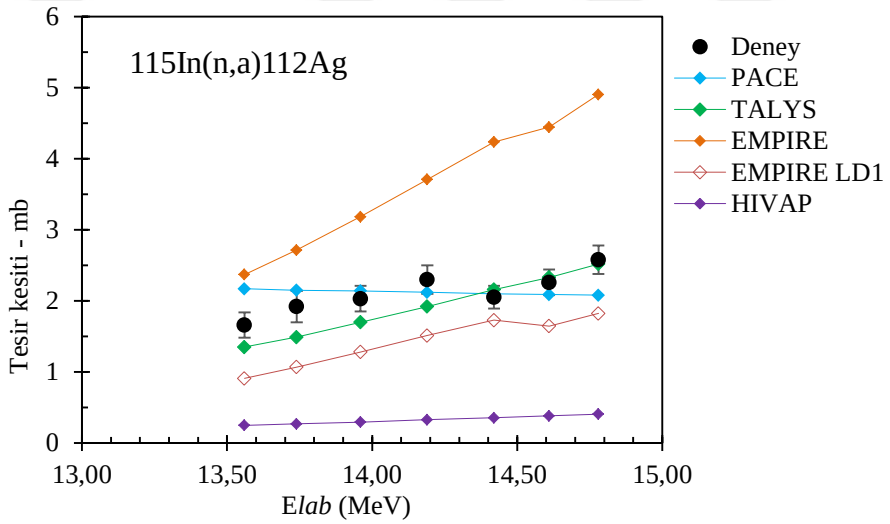
115In(n,a)112Ag Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Filatenkov ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir 112Ag izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 109Ag'den 3n fazladır yarılanma ömrü 7,45 gündür. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve E*lab* için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, E*lab* ile veri üretemediği için PACE4 ile reaksiyon uyarılma enerjisi (E*exc*) belirlenerek HIVAP verisi elde edildi. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.12 ve Şekil 5.12): (i) TALYS deney ile en uyumlu sonuçları üretmiştir. (ii) EMPIRE için iki veri söz konusudur: Deney ile uyumlu olmayan ilk veri grubu varsayılan parametrelerle üretilmiştir. İkinci veri grubu ise seviye yoğunluğu parametresi levden 1 ile üretilmiştir ve deney ile uyumludur ancak bir miktar aşağıdadır.

(iii) PACE4 ise deney verisine yakın sonuçlar üretmiş gibi görünse de uyum yoktur. (iv) HIVAP verisi uyumlu değildir.

Çizelge 5.12. 112Ag izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) *Elab.* – (*Eexc.*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	EMPIRE (mb)	EMPIRE levden 1	HIVAP (mb)
13,56 – (20,23)	1,66 (0,18)	2,17	1,35	2,37	0,91	0,25
13,74 – (20,41)	1,92 (0,22)	2,15	1,49	2,71	1,07	0,27
13,96 – (20,62)	2,03 (0,18)	2,14	1,70	3,18	1,28	0,29
14,19 – (20,85)	2,30 (0,20)	2,12	1,92	3,71	1,51	0,33
14,42 – (21,08)	2,05 (0,16)	2,10	2,16	4,23	1,73	0,36
14,61 – (21,27)	2,26 (0,18)	2,09	2,33	4,44	1,65	0,38
14,78 – (21,44)	2,58 (0,20)	2,08	2,52	4,90	1,82	0,41



Şekil 5.12. 112Ag nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

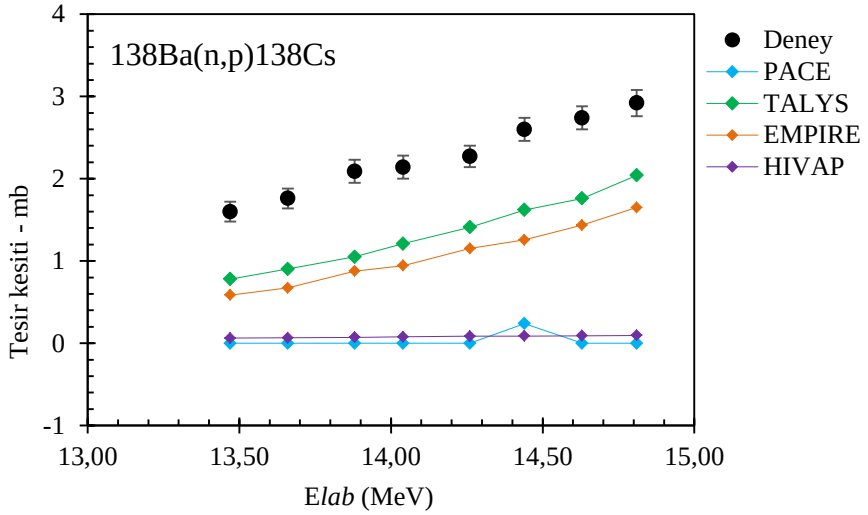
138Ba(n,p)138Cs Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Filatenkov ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir 138Cs izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 133Cs'dan 5n fazladır yarılanma ömrü 3,42 dakikadır. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve E*lab* için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, E*lab* ile veri üretemediği için PACE4 ile reaksiyon uyarılma enerjisi (E*exc*) belirlenerek HIVAP verisi elde edildi. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.13 ve Şekil 5.13): (i) TALYS sonuçları deney verisine en yakın uyuma sahiptir ancak deney verisinden alttadır. (ii) EMPIRE sonuçları deney verisiyle uyumlu

bir eğime sahip olsa da hem deney hem de TALYS verisinden daha alttadır. (iii) PACE4 ve HIVAP verilerinin deneyle uyumu yoktur.

Çizelge 5.13. 138Cs izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) *Elab.* – (*Eexc.*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
13,47 – (18,10)	1,60 (0,12)	0,00	0,78	0,58	0,06
13,66 – (18,29)	1,76 (0,12)	0,00	0,90	0,67	0,07
13,88 – (18,50)	2,09 (0,14)	0,00	1,05	0,88	0,07
14,04 – (18,66)	2,14 (0,14)	0,00	1,21	0,94	0,08
14,26 – (18,88)	2,27 (0,13)	0,00	1,41	1,15	0,08
14,44 – (19,06)	2,60 (0,14)	0,24	1,62	1,26	0,09
14,63 – (19,25)	2,74 (0,14)	0,00	1,76	1,44	0,09
14,81 – (19,43)	2,92 (0,16)	0,00	2,04	1,65	0,10



Şekil 5.13. 138Cs nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

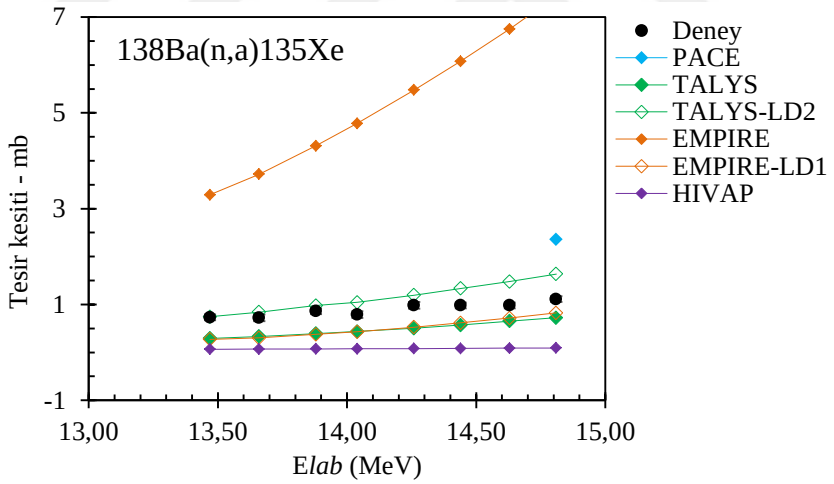
138Ba(n,a)135Xe Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Filatenkov ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir. 135Xe izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 132Xe'dan 3n fazladır yarılanma ömrü 9,14 saattir. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve E*lab* için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, E*lab* ile veri üretemediği için PACE4 ile reaksiyon uyarılma enerjisi (E*exc*) belirlenerek HIVAP verisi elde edildi. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.14 ve Şekil 5.14): (i) TALYS için ilk veri grubu varsayılan parametrelerle ikinci grup veri ise seviye yoğunluğu ldmodel 2 parametresiyle üretilmiştir. İki veri de

uyum göstermiştir. (ii) EMPIRE için ilk veri grubu varsayılan parametrelerle ikinci grup veri ise seviye yoğunluğu levden 1 parametresiyle üretilmiştir. İkinci verinin uyumu görülmüştür. (iii) PACE4 ise bu reaksiyon için veri üretmemiştir. Farklı zamanlarda işletilmiş ama yine sonuç alınamamıştır. (iv) HIVAP verisi deneyle uyumlu gibi gözlense de 112Ag ve 138Cs izotopların da gözlenen sonuçlarla benzer karakterde olduğu anlaşılmaktadır ve anlamlı bir bulgu önerilmemektedir.

Çizelge 5.14. 135Xe izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) E*lab*. – (E*exc.*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	TALYS ldmodel 2	EMPIRE (mb)	EMPIRE levden1	HIVAP (mb)
13,47 – (18,10)	0,73 (0,06)		0,29	0,74	3,29	0,27	0,06
13,66 – (18,29)	0,72 (0,07)		0,33	0,84	3,72	0,30	0,07
13,88 – (18,50)	0,86 (0,06)		0,39	0,98	4,31	0,38	0,07
14,04 – (18,66)	0,79 (0,07)		0,44	1,05	4,78	0,43	0,07
14,26 – (18,88)	0,98 (0,07)		0,50	1,20	5,48	0,53	0,08
14,44 – (19,06)	0,98 (0,06)		0,57	1,33	6,08	0,62	0,08
14,63 – (19,25)	0,98 (0,06)		0,65	1,48	6,75	0,72	0,09
14,81 – (19,43)	1,11 (0,06)	2,36	0,72	1,64	7,45	0,83	0,09



Şekil 5.14. 135Xe nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

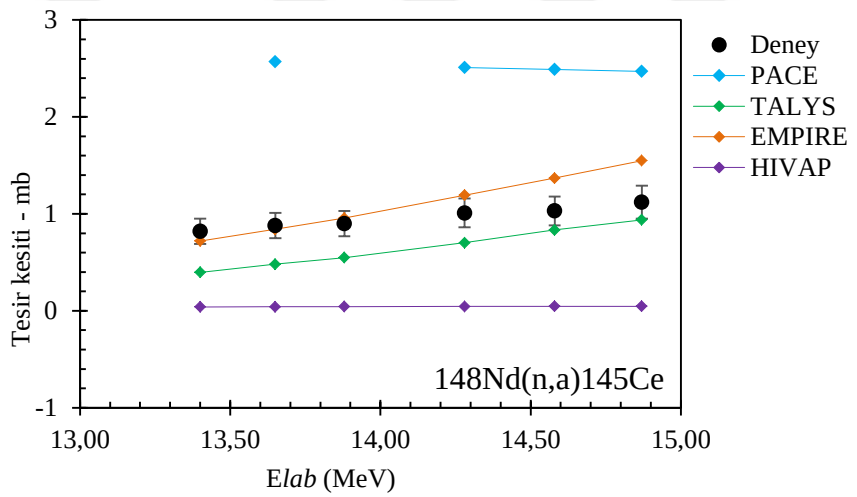
148Nd(n,a)145Ce Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Sakane ve diğerleri tarafından (1997) yapılmış çalışmadan seçilmiştir 145Ce izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 140Ce'dan 5n fazladır, yarılanma ömrü 3,02 dakikadır. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve E*lab* için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, E*lab* ile veri üretemediği için PACE4 ile reaksiyon uyarılma enerjisi (E*exc*) belirlenerek HIVAP verisi elde edildi. Elde edilen tesir kesiti

sonuçları (Çizelge 5.15 ve Şekil 5.15) sunulmuştur: (i) TALYS ve EMPIRE verilerinin, deney ile uyumlu olduğu görülmektedir. (ii) PACE4 ve HIVAP verileri için anlamlı bir bulgu önerilmemektedir.

Çizelge 5.15. 145Ce izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) E*lab.* – (E*exc.*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
13,40 – (18,35)	0,82 (0,13)		0,397	0,72	0,039
13,65 – (18,60)	0,88 (0,13)	2,57	0,480	0,84	0,042
13,88 – (18,83)	0,90 (0,13)		0,548	0,96	0,043
14,28 – (19,22)	1,01 (0,15)	2,51	0,703	1,19	0,045
14,58 – (19,52)	1,03 (0,15)	2,49	0,834	1,37	0,046
14,87 – (19,81)	1,12 (0,17)	2,47	0,94	1,55	0,046



Şekil 5.15. 145Ce nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

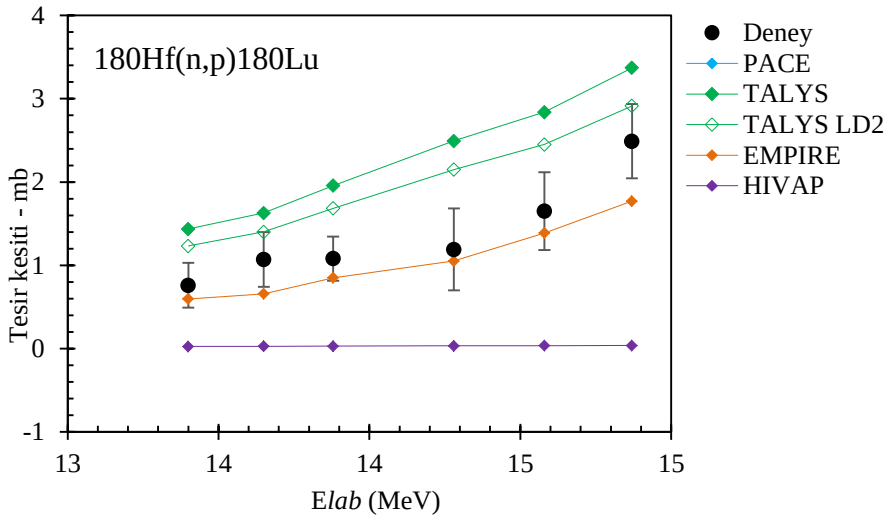
180Hf(n,p)180Lu Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Murahira ve diğerleri tarafından (1996) yapılmış çalışmadan seçilmiştir 180Lu izotopu, en yakın kararlı izotopu olan 175Lu'dan 5n fazladır, yarılanma ömrü 5,67 dakikadır. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle ve E*lab* için işletilmiştir. Ancak HIVAP kodu, E*lab* ile veri üretemediği için PACE4 ile reaksiyon uyarılma enerjisi (E*exc*) belirlenerek HIVAP verisi elde edildi. Elde edilen tesir kesiti sonuçları (Çizelge 5.16 ve Şekil 5.16)sunulmuştur: (i) TALYS için iki veri grubu söz konusudur: Deneyden farklılık sergileyen ilk veri grubu, varsayılan parametrelerle elde edilmiştir. İkinci veri grubu ise seviye yoğunluğu parametresi olan levden 1 ile

alınmıştır ve deney ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. (ii) EMPIRE için üretilen tesir kesiti sonuçlarının, deney ile en iyi uyuma sahip olduğu görülmüştür. (iii) PACE4, bu reaksiyon için veri üretmemiştir. (iv) HIVAP verisi için anlamlı bir bulgu önerilmemektedir.

Çizelge 5.16. 180Lu izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) E*lab*. – (E*exc.*)	Deney (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	TALYS (mb)	TALYS ldmodel 2	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
13,40 – (19,21)	0,76 (0,27)		1,44	1,23	0,60	0,03
13,65 – (19,27)	1,07 (0,33)		1,63	1,40	0,66	0,03
13,88 – (19,50)	1,08 (0,26)		1,96	1,68	0,85	0,03
14,28 – (19,90)	1,19 (0,49)		2,49	2,15	1,05	0,03
14,58 – (20,20)	1,65 (0,47)		2,84	2,45	1,39	0,03
14,87 – (20,50)	2,49 (0,45)		3,37	2,91	1,77	0,04



Şekil 5.16. 180Lu nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

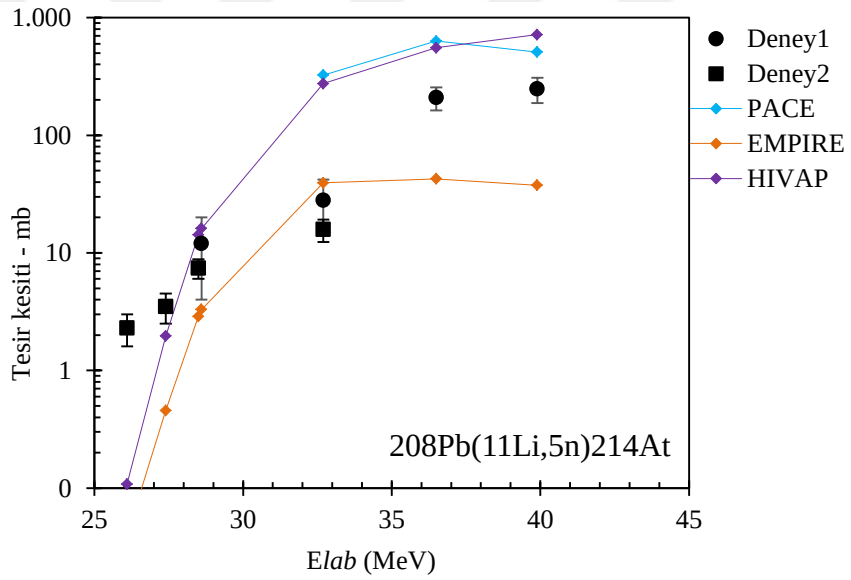
208Pb(11Li,5n)214At Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Loveland ve diğerleri tarafından (2018) yapılmış çalışmadan seçilmiştir 214At izotopu periyodik çizelgede henüz kararlılık bölgesinde yer almayan bir izotoptur. Periyodik cetvelde 210At kararlı izotop olarak gösterilse de kararlılık vadisinin bu bölümü henüz boştur. Yarılanma ömrü 558 nano saniyedir. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle işletilmiştir. PACE4, EMPIRE ve HIVAP için tesir

kesiti üretilmiştir (Çizelge 5.17 ve Şekil 5.17). Alfadan daha ağır mermi seçilemediğinden bu reaksiyon TALYS tarafından işletilememiştir. Deneysel veriye en uyumlu sonuçlar HIVAP ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.17. 214At izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) (E*lab*)	Deney1 (Hata) (mb)	Deney2 (Hata) (mb)	PACE4 (mb)	EMPIRE (mb)	HIVAP (mb)
26,10		2,30 (0,7)		0,04	0,11
27,40		3,50 (1,0)		0,46	1,96
28,50		7,40 (1,4)		2,88	14,20
28,60	12,0 (8,0)			3,30	16,10
32,70	28,0 (14,0)	15,80 (3,4)	324,00	39,42	275,00
36,50	209,0 (46,0)		633,00	42,59	554,00
39,90	248,0 (60,0)		509,00	37,60	716,00



Şekil 5.17. 214At nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

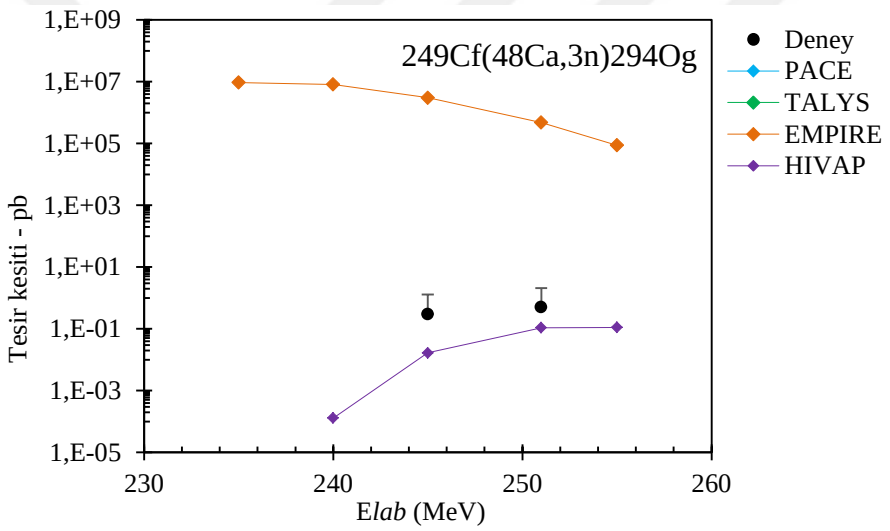
249Cf(48Ca,3n)294Og Reaksiyonu

Bu reaksiyon, Oganessian ve diğerleri tarafından (2006) yapılmış çalışmadan seçilmiştir 294Og izotopu süper ağır çekirdektir ve henüz periyodik çizelgeye eklenmemiştir. Kendisinden başka sadece 293 numaralı izotopu mevcuttur ve bu nedenle yarı ömür bilgisi yoktur. Tüm kodlar ilk olarak varsayılan parametrelerle işletilmiştir. Elde edilen tesir kesiti sonuçları EMPIRE ve HIVAP için elde edilmiştir (Çizelge 5.18 ve Şekil 5.18). Bununla beraber deneysel veriye en uyumlu sonuçların HIVAP tarafından elde

edildiği görülmektedir. Bu reaksiyon, PACE4 tarafından işletilememiştir. Alfadan daha ağır mermi seçilemediğinden bu reaksiyon TALYS tarafından işletilememiştir.

Çizelge 5.18. 294Og izotopuna ait tesir kesiti verileri

Enerji (MeV) (E*lab*)	Deney (Hata) (pb)	PACE4 (pb)	TALYS (pb)	EMPIRE (pb)	HIVAP (pb)
235				9,35E+06	
240				8,12E+06	0,000
245	0,3 (1,0)			3,02E+06	0,017
251	0,5 (1,6)			4,74E+05	0,109
255				8,79E+04	0,111



Şekil 5.18. 294Og nötronca zengin izotopuna ait tesir kesiti

BÖLÜM VI

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasının temel motivasyonu füzyon buharlaşma ile nötronca zengin çekirdeklere ait tesir kesitlerinin üretilmesi olarak belirlenmiştir. Literatürden ve EXFOR nükleer veri tabanından yapılan araştırmalarda, füzyon buharlaşma deneyleri ile kararlılık vadisinin nötronca zengin çekirdek kısmında henüz tesir kesiti sonuçlarının üretilmemiş olduğu gözlenmiştir. Reaksiyonlar belirlenirken çıkış kanalı n, p, d, t, 3He ve a olan reaksiyonlara olmasına çalışılmıştır. Alfa (2p2n)'dan daha fazla sayıda salınmış parçacıklara sahip reaksiyonlar, parçalanma süreçlerinin dahil olacağı ön görüsüyle dikkate alınmamıştır.

Kullanılan dört nükleer reaksiyon kodu; PACE4, TALYS, EMPIRE ve HIVAP, literatürde sıklıkla yararlanılan araçlar olduğundan tercih edilmişlerdir. PACE4 ve HIVAP kodları buharlaşma reaksiyonlarının incelenmesinde kullanılmaktadır. Nükleer modüler kodlar kapsamında yer alan TALYS ve EMPIRE kodları; reaksiyon kesiti, giden parçacıkların açısal dağılımı vb. gibi nükleer verileri tahmin edebilir, yani temel nükleer verileri üretebilir ve nükleer verileri kullanarak nükleer veri kütüphanesi oluşturabilirler.

İncelenen on sekiz reaksiyonun on üç tanesi nötron girişlidir. Bu on üç reaksiyonun altı tanesinin çıkış kanalı protondur. Yedi tanesinde ise çıkış kanalı alfadır. On sekiz reaksiyonun kalan beş tanesinde gelen parçacık alfadan daha ağır parçacıklardır ve çıkış kanalı nötrondur. En son kalan üç reaksiyonun ikisi alfa girişli ve bir tanesi ise proton girişlidir.

Nötron girişli reaksiyonların ürettiği tesir kesiti verileri incelendiğinde; nötron girişli ve düşük gelme enerjilerinde kararlılık vadisinin nötronca zengin çekirdek bölgesine eklemek üzere yeni tesir kesitleri üretmek için HIVAP kodunun kullanıcılar ilk sırada yer almayacağı anlaşılmıştır. Buna karşılık, alfa ve alfadan daha ağır çekirdeklerin mermi olarak kullanıldığı reaksiyonlar incelendiğinde ise araştırmacıların nötronca zengin çekirdek çalışma amacıyla HIVAP kodunun tercih edilmesini kolaylaştıracak sonuçların üretildiği ve ilk sırada yer alabileceği görülmüştür. Şekil 5.17 ve Şekil 5.18

görüldüğü üzere özellikle ağır iyon reaksiyonlarında, füzyon buharlaşma için daha çok tercih edilebilir sonuçlar ürettiği anlaşılmaktadır.

Tüm reaksiyonların sonuçları incelendiğinde, füzyon buharlaşma yoluyla nötronca zengin çekirdek tesir kesiti üretmek için PACE4 kodu, ilk defa kullanacak araştırmacılar için sistematik bir araç olarak ilk sırada yer almayacaktır. Kod, genel itibariyle bir reaksiyonun deneyini tesis etmeden önce ya da modüler kodlar işletmeden önce reaksiyona dair hesaplamalar ve parametrik ön görüleri sağlamak adına başarılı bir araç olarak kullanılabilmektedir. Bununla birlikte Şekil 5.17'de görüldüğü gibi düşük enerji bölgelerinde, orta enerji bölgelerine yaklaştıkça ağır iyon girişli nötronca zengin çekirdek reaksiyonlarını işletmek ve sonuç almak için kullanılabilir bir araçtır.

Alfadan daha ağır iyon bir çekirdeğin mermi olarak tanımlanamaması nedeniyle TALYS, ağır iyon girişli nötronca zengin çekirdek tesir kesiti üreten reaksiyonlar için kullanılamayacak bir araçtır. Buna karşılık, nötron, proton, döteron, trityum, 3He ve alfa girişli reaksiyonlar için çok kullanışlı bir araç olarak dikkat çekmektedir. TALYS tarafından nötron girişli reaksiyonlarda deney sonuçlarına çok daha uyumlu veriler üretildiği görülmüştür. Kütlesi 35 ile 110 arasında olan çekirdek tesir kesiti üretilen reaksiyonlarda verimli sonuçlar alındığı anlaşılmıştır. Bu tür reaksiyonlar için çalışma yapmaya başlayacak olan yeni araştırmacılarca ilk sırada tercih edilebilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan bir diğer kod olan EMPIRE ise her kütleden nötronca zengin çekirdeklerin tesir kesitlerinin üretilmesi ve çalışılması için ilk sırada tercih edilebileceği anlaşılmıştır. Bu çalışmada seçilen reaksiyonlar düşük enerji bölgesinde olmalarına karşılık elde edilen sonuçların deney verileriyle uyumunun kabul edilir olduğu görülmüştür. Hem nükleon girişli hem de ağır çekirdek girişli nükleer reaksiyonlar için parametre tanımlanması, çevirim içi nükleer veri tabanlarına erişim sayesinde kolaylıkla işletilmektedir.

Bu tez çalışmasının bir diğer amacı da reaksiyon kodlarının ülkemizde kullanım yaygınlığına katkı sunmasıdır. Tez çalışması süresince hem ulusal hem de uluslararası çalışmalarda kodlardan sıklıkla faydalanıldığı dikkat çekmektedir. Buna karşılık bu alanda ilk defa çalışmaya başlayacak olan ya da bu kodlardan yararlanmak isteyen araştırmacılara, dilimizde erişilebilir kaynak zorluğu olduğu da anlaşılmıştır. Bununla

birlikte; yazılım süreçleri üzerine çok fazla tecrübe sahibi olmayan araştırmacıların, bu çalışmada irdelenen kodlar ve benzer diğer kodların temin edilmesi, kurulması ve çalıştırılması süreçlerini daha hızlı geçmeleri ve kullanıma başlamaları için başlangıç seviyesinde belge sunulmuştur.

Kütlesi (A) 60'dan yüksek çekirdeklere ulaşmak, yüksek ısı ve yüksek nötron akısı gerektirir. Böylesi ortamlar yer merkezli laboratuvarlarda sağlanamamaktadır ve yalnızca yıldız patlamalarında rastlanabilir. Kütlesi (A) 60'tan daha ağır çekirdeklerin oluşmasında en baskın rol r–süreci ve s–sürecidir. Bunlardan r-süreci kararlılık çizgisinin çok uzağındadır ve henüz bilinemeyen çekirdek bölgesi içindedir. Bu bölgeye erişebilmek için yüksek şiddette nötron zengini radyoaktif iyon demetlerine ihtiyaç vardır. Son yıllarda radyoaktif iyon demetlerinin kullanımı egzotik çekirdek üretimi için dikkat çeken bir gelişme olmuştur. Bu yöntemle nötronca ya da protonca zengin egzotik çekirdeklere ulaşmak olası hale gelmiştir. Bu gelişmenin bir adım ötesi; şiddeti, kararlı çekirdek demetlerinden oldukça düşük radyoaktif demeti şiddetlerini yükseltilmesidir. Bu amaçla yeni teknikler geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir. Üç önemli projeden söz edilebilir: İlk proje Fransa'da kurulu GANIL laboratuvarında devam eden SPRAL2 projesidir ve 2022 yılında tam anlamıyla faaliyete geçecektir. İkinci proje ise İtalya'da kurulu SPES labratuvarında devam eden projedir ve 2023 yılında faaliyete başlayacaktır. Üçüncü proje ise Almanya'da kurulu olan GSI laboratuvarında devam eden FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) projesidir ve 2025 yılında faaliyete geçecektir. Bu projelerin hayata geçmesi ile kararlılık kuşağından çok uzaktaki çekirdeklerin yapılarını fiziksel deney imkânlarıyla inceleme olanağı artacak ve mevcut nükleer modellerin bu çekirdeklerin yapılarını açıklayıp açıklayamadığı sorusuna daha yakın cevap verme olanağı doğacaktır.

KAYNAKLAR

Audi, G., Wapstra, A.H. and Thibault, C., “The Ame2003 atomic mass evaluation: (II). Tables, graphs and references”, ***Nuclear Physics A***, Volume 729, s. 337-676, 2003.

Bazin, D., Tarasov, O.B, Lewitowiczc, M. and Sorlin, O., “The program LISE: a simulation of fragment separators”, ***Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A***, 482, 307–327, 2002a.

Bazin, D., Tarasov, O.B, Lewitowiczc, M. and Sorlin, O., "The code LISE: a new version for 'Windows'", ***Nuclear Physics A***, 701, 661-665, 2002b.

Benlliure, J., Helariutta, K., Schmidt, K.H. and Ricciardi, M.V., “Reaction mechanisms involved in the production of neutron-rich isotopes”, ***arxiv:nucl-ex/0303008v1***, 2003

Benlliure, J., Schmidt,K.H., Cortina-Gil,D., Enqvist,T. and Farget,F., “Production of neutron-rich isotopes by cold fragmentation in the reaction 197Au q Be at 950 A MeV”, ***Nuclear Physics A 660*** , 87–100, 1999.

Bertulani, C.A. and Hussein, M.S., “Current status of nuclear physics research”, ***arxiv: nucl-th/1509.00508v2***, 2015.

Blann, M., “in Workshop on Computation and Analysis of Nuclear Data Relevant to Nuclear Energy and Safety”, ***edited by M.K. Mehta and J.J. Schmidt***, Trieste, Italy, 622, 1993.

Capote, R., Herman, M., Oblozinsky, P., Young, P.G., Goriely, S., Belgya, T., Ignatyuk, A.V., Koning, A.J., Hilaire, S., Plujko, V.A., Avrigeanu, M., Bersillon, O., Chadwick, M.B., Fukahori, T., Ge, Z., Han, Y., Kailas, S., Kopecky, J., Maslov, V.M., Reffo, G., Sin, M., Soukhovitskii, E.,Sh. and Talou, P., “Reference input parameter library (RIPL-3)”, ***Nuclear Data Sheets*** - Volume 110, s. 3107-3214, 2009.

Cerny, J. and Poskanzer, A.M., “Exotic light nuclei”, ***Scientific American***, Vol. 238, No. 6, 60-73, 1978.

Feltus, M.A., Encyclopedia of Physical Science and Technology, 3rd ed., ***Science Direct***, 893-906, 2003.

Filatenkov, A.A., Chuaev, S.V., Aksenov, V.N. and Jakovlev, V.A., "Systematıc measurement of activation cross sections at neutron energies from 13.4-14.9 Mev", ***V.G. Khlopin Radium Institute 2 nd Murinski Ave. 28, 194021,*** St. Petersburg, 1997.

Fontana, A., Calzaferri, S., Canton, L., Esposito, J. Mou, L., Pupillo, G., and Rossi Alvarez, C., “Challenges in the modeling of nuclear reactions for theranostic applications”, ***15th Varenna Conference on Nuclear Reaction Mechanisms***, Villa Monastero, 2018.

Freeman, E.L., Fusion Reaction Cross-section Measurements near 100Sn, MSc Thesis, ***The University of Tennessee***, ***Knoxville***, 29, 2008.

Gandhi, A., Roj, B.J., Mishra, V., Rai, N.K., Kumar. V., Sawant, Y., Nayak, B.K., Saxena, A., Kopatch, Y.N., Ruskov, IN. and Kumar, A.,“Study of neutron induced reactions using EMPIRE-3 and TALYS”, ***Proceedings of the DAE Symp. on Nucl. Phys***. 62, 504-505, 2017

Gavron, A., “Statistical model calculations in heavy ion reactions”, ***Physics Review C21***, 230-236, 1980.

Herman, M., "EMPIRE: nuclear reaction model code system for data evaluation", ***Nucl. Data Sheets***, 108, 2655-2715, 2007.

Herman, M., Pigni, M.T. and Obložinský, P., “Development of covariance capabilities in EMPIRE code”, ***Nuclear Data Sheets 109***, 2752–2761, 2008.

Herman, M. and Trkov, A., “ENDF-6 formats manual”, ***National Nuclear Data Center Brookhaven National Laboratory***, 2010.

Kolbaşı, A., 241Am-Be Nötron Alanında Epitermal Nötron Spektrum A-Biçim Parametresinin 98Mo, 55MnVE 197Au Üçlü Monitör Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ***Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü***, Ankara, 5-6, 8-9, 2014.

Koning, A.J., Hilaire, S. and Duijvestijn, M., "TALYS 1.2 A nuclear reaction program", ***NRG –Nucle ar Research and Consultancy Group***, Netherlands, 2009.

Koning, A.J., TALYS: A nuclear reaction program, ***User Manual***, 2015.

Krane, K.S., Introductory Nuclear Physics. ***John Wiley & Sons,*** United States of America**,**.1988.

Lange, H.J., Hahn, T., Michel, R., Schiekel, T., Rösel, R., Herpers, U., Hofmann, H.J., Dittrich-Hannen, B., Suter, M., Wölfli, W. and Kubik, P.W., "Production of residual nuclei by α-induced reactions on C, N, O, Mg, Al and Si up to 170 MeV", ***Applied Radiation and Isotopes*** Volume 46, s. 93-112, 1995,

Lattimer, J., "*PHY 521: Stars, Spring 2010 Lecture Notes*", 2010, http://www.astro.sunysb.edu/lattimer/PHY521/nucleo.pdf, 20.12.2021.

Levkovski, V.N., "Cross sections of medium mass nuclide activation (A=40-100) by medium energy protons and alpha-particles (E=10-50 MeV)", ***Jour: Atomnaya Energiya,*** Russia, Vol.69, 99, 1990.

Loveland, W., Vinodkumar, A.M., Yanez, R., Yao, L., King, J., Lassen, J. and Rojas, A., "Sub-barrier fusion of 11Li with 208Pb", ***European Physical Journal A***, 54, 140, 2018.

Litvinov, Y.A., Basic Nuclear Properties of Neutron-Deficient Nuclei investigated via High Precision Mass Measurements in the Element Range of 36 < Z < 92, ***Giessen University,*** Germany**,** PhD.Thesis, 2003.

Marion, J., Physics in the Modern World, 2nd ed., ***Academic Press***, New York, 555, 558-559, 1981.

Mashnik, S.G., "CODE CEM 95", ***Bogoliubov Laboratoryof Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research***, Moscow, 14, 1980.

McLane, V., "EXFOR basics, a short guide to the nuclear reaction data exchange format", ***National Nuclear Data Center Brookhaven National Laboratory***, 2000.

Meriç, N., "Nötronlar ve Radyasyon Dozu", ***Ankara Üniversitesi Açık Ders Platformu***, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/25492/mod_resource/content/1/D(5)_NÖTRONLAR VE RADYASYON DOZU.pdf, 23.03.2021.

Murahira, S., Satoh, Y., Honda, N., Takahashi,A., Iida,T., Shibata,M., Yamamoto,H. and Kawade,K., "Measurement of formation cross sections producing short-lived nuclei by 14 MeV neutrons - Pr, Ba, Ce, Sm, W, Sn, Hf", ***Conf: JAERI Conference proceedings, No.96-008***, ***Japan,*** s.171, 1996.

Nagatsu, K., Kubodera, A. and Suzuki, K., "Excitation function measurements of 40Ar(p,3n)38K, 40Ar(p,2pn)38Cl and 40Ar(p,2p)39Cl reactions", ***Applied Radiation and Isotopes 50***, 389-396, 1999.

Nieto, T.K., *Shape coexistence in neutron-deficient polonium and lead nuclei*", ***Universidade de Santiago De Compostela,*** PhD Thesis, 10-11, 2007.

Obodovskiy, I., Radiation: Fundamentals, Applications, Risks, and Safety, 1st ed., ***Elsevier***, 151-160, 2019.

Ohnishi, T. ve diğer 59 katılımcı, "Identification of 45 new neutron-rich isotopes produced by in-flight fission of a 238U beam at 345 MeV/nucleon", ***Journal of the Physical Society of Japan***, 2010.

Oganessian, Yu.Ts. ve diğer 29 katılımcı, “Synthesis of the isotopes of elements 118 and 116 in the Cf-249 and Cm-245 + Ca-48 fusion reactions”, ***Jour: Physical Review, Part C, Nuclear Physics***, USA, Vol.74, 044602, 2006.

Patin, J.B., Experimental Cross Sections for Reactions of Heavy Ions and 208Pb, 209Bi, 238U, and 248Cm Targets, PhD.Thesis, ***University of California, Berkeley***, 35, 175, 2002.

Pérez-Loureiro, D. ve diğer 21 katılımcı, “Production of neutron-rich nuclei in fragmentation reactions of 132Sn projectiles at relativistic energies”, ***Physics Letters B***, 552–556, 2011.

Pfützner, M., Karny, M., Grigorenko, L.V. and Riisager, K., “Radioactive decays at limits of nuclear stabilitiy”, ***arxiv:nucl-ex/1111.0482v1***, 2011.

Poston Sr. J.W., Encyclopedia of Physical Science and Technology, ***Third Edition***, ***Science Direct***, 603-650, 2003.

Prasad, R. and Singh, B.P., Fundamentals and Applications of Heavy Ion Collisions Below 10 Mev Nucleon Energies, ***Cambridge University Press***, 2018

Pühlhofer, F., “On the interpretation of evaporation residue mass distributions in heavy-ion induced fusion reactions”, ***Nuclear Physics A,*** 267-284, 1977

Reisdorf, W. “Analysis of fissionability data at high excitation energies.”, ***Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei, 300,*** 227–238, 1981.

Reisdorf, W., “How well do we understand the synthesis of heavy elements by heavy-ion induced fusion? “, ***Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei, 343***, 47-57, 1992

Reisdorf, W., Hessberger, F.P., Hildenbrand, K.D., Hofmann, S., Münzenberg, G., Schmidt, K.H., Schneider, W.F.W., Sümmerer, K., Wirth, G., Kratz, J.V., Schutt, K. and Sahm, C.C., “Fusability and fissionability in 86Kr-induced reactions near and below the fusion barrier”, ***Nuclear Physics A, Volume 444***, 154-188, 1985.

Rodriguez-Vieitez, E., Structure and cross section data of neutron-rich N~20 nuclei produced in fragmentation and few-nucleon knockout reactions, ***University of California, Berkeley***, PhD.Thesis, 3-8, 2007,

Sakane, H., Iida, T., Takahashi, A., Yamamoto, H. and Kawade, K., “Measurement of cross sections producing short-lived nuclei by 14 MeV neutrons - Cd, Sn, Te, Nd, Gd, Re”, ***JAERI Conference proceedings, Japan***, No.98-003, 318, 1997.

Semkova, V. and Nolte, R., “Measurement of neutron activation cross sections on Mo isotopes in the energy range from 7 MeV to 15 MeV”, ***EPJ Web of Conferences, France Vol.66***, 2014.

Smith, T.P., “Anatomy neutron”, ***American Scientist***, Vol. 98, No. 6, 478-485, 2010,

Şekerci, M. ve Kaplan, A., “Neutron emission spectra of 107,109Ag isotopes for (p,xn) reactions at 18, 22 and 25 MeV proton incident energies”, ***5th International Conference on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology***, 59-61, 2019.

Şekerci, M., “The effects of level density models on some proton induced reactions for 67Cu production”, ***5th International Conference on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology***, s.77-80, 2019

Şekerci, M., Çapalı, V., Özdoğan, H. ve Kaplan, A., “Production cross-section calculations of medical 177Lu using neutron and proton induced reactions”, ***Cumhuriyet University Faculty of Science Science Journal (CSJ)***, 2016.

Tarasov, O.B. and Bazin, D., "Development of the program LISE: application to fusion–evaporation", ***Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B,*** 174-178, 2003.

Tarasov, O.B. and Bazin, D., "LISE++: design your own spectrometer", ***Nuclear Physics A***, s. 411-414, 2004.

Tarasov, O.B., "Analysis of momentum distributions of projectile fragmentation products", ***Nuclear Physics A***, s. 536-540, 2004.

Tarasov, O.B., "LISE++ development: application to low-energy fission of projectiles at relativistic energies", ***European Physical Journal A,*** s. 751, 2005.

Tarasov, O.B. and Bazin, D., "LISE++: Radioactive beam production with in-flight separators", ***Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B***, s. 4657-4664, 2008.

Tarasov, O.B. and Villari, A.C.C., "Fusion–fission is a new reaction mechanism to produce exotic radioactive beams", ***Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*** , s. 4670-4673, 2008.

Uhl, M. and Strohmaier, B., "Computer code for particle induced activation cross sections and related quantities", ***IRK report No. 76/01, Vienna***, 1976.

URL-1, "*Neutron*", https://www.nuclear-power.net/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/fundamental-particles/neutron/, 11.09.2020.

URL 2, "What are neutron-rich nuclei?", http://www.answers.com/Q/What_are_neutron-rich_nuclei, 17.09.2020.

URL 3, "Interactive Chart of Nuclides", https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/, 09.08.2021.

Uyar, R., Kiremitçioğlu, Ş., Yılmaz, M.E. ve Akçaalan, U., "Nükleer fizikte benzetim programları üzerine değerlendirme", ***Akademik Bilişim 2013 Konferansı***, 2013.

Vysotskiy, O.N., Gaydaenko, S.A, Gonchar, A.V., Gorpinic, O.K., Kadkin, E.P., Kondratiev, S.N., Prokopenko, V.S., Rakitin, S.B., Saltykov, L.S., Sklyarenko, V.D., Strizh, Yu.S. and Tokarevskiy, V.V., "The absolute cross sections production of long-lived radionuclides in reactions of alpha-particles on aluminium-nuclei", ***Inst. Yadernykh Issledovaniy Ukrainskoi A.N.,*** Ukraine, C, 365, 1989.

Vysotskiy, O.N., Gonchar, A.V., Gorpinic, O.K., Kondratiev, S.N., Kuzmenko, V.A., Lobach, Yu.N., Prokopenko, V.S., Rakitin, S.V., Sklyarenko, V.D. and Tokarevskiy, V.V., "The excitation functions of the radioactive isotopes production Na-22,24, Mg-28 and Be-7 on nuclei Si at energy of alpha-particles to 95 MeV", ***Izvestiya Akademii Nauk Resp. Kazakhstan***, Ser.Fiz.-Mat., 43, 1990.

Williams, W.S.C., Nuclear and Particle Physics, Çeviri editörleri, Dumanoğlu, İ. ve Ertürk, S., ***Clarendon Press***, Oxford, 1991.

Yiğit, M. and Kara, A., "Model-based predictions for nuclear excitation functions of neutron-induced reactions on 64,66,68Zn targets", ***Nuclear Engineering and Technology 49***, s.996-1005, 2017.

Yiğit, M., "Theoretical study of cross sections of proton-induced reactions on cobalt", ***Nuclear Engineering and Technology 50***, s.411-415, 2018.

Young, P.G., Arthur, E.D. and Chadwick, M.B., "in Workshop on computation and analysis of nuclear data relevant to nuclear energy and safety", ***Trieste, Italy, s.***622, 1993.

Zerkin, V., "ZVView: Graphic software for nuclear data analysis", 1998, https://www-nds.iaea.org/public/zvview/zvv_guide.htm, 01.12.2019.

Zhu,L., Zhang,F.S., Wen,P.W., Su,J. and Xie,W.J., "Production of neutron-rich nuclei with Z = 60–73 in reactions induced by Xe isotopes", ***Physıcal Revıew C 96***, 024606, 2017.

ÖZ GEÇMİŞ

Uğur İLTER …….. yıluında ……’ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini ……..’da tamamladı. …….. yılında …….. çalışmaya başladı. ……. yılında başladığı …… Üniversitesi ……. Fakültesi …… Lisans Derecesini …… yılında bölüm birincisi olarak tamamladı. …….. yılında yüksek lisans öğrenimine başladı ve …….. yılında yüksek lisans derecesini aldı. Tüm bu süre boyunca ……’da çalışmaya devam etti ve askerlik görevini tamamlamak üzere ayrıldı. …… yılında tamamladığı askerlik görevinin sonrasında …….’a yeniden başladı. Lisans ve yüksek lisans derecesine sahip olduğu alanda ……. yılında doktora öğrenimine başladı. …….. yılında yaşanan zorunlu bir ayrılık ardından, …….. yılında …….. alanında doktora öğrenimine yeniden başladı. Aynı yıl …….. olarak atandı ve ……..’ye yerleşti. ……. yılında yatay geçiş başvurusu yaptığı Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi ……. Ana Bilim Dalı Başkanlığı’na kabul edildi. Bilim dalındaki ilgi alanı nötronca zengin çekirdeklerin tesir kesitlerinin nükleer reaksiyon kodları ile üretilmesi üzerinedir.

TEZ ÇALIŞMASINDA ÜRETİLEN ESERLER

Bu tez çalışmasından, 1 (bir) adet ulusal bildiri üretilmiştir. Bu üretilen çalışma aşağıda sunulmuştur.

İlter, U., "Results from the EMPIRE code for reaction cross-section calculations", ***XIV. International Conference on Nuclear Structure Properties***, as online, NSP2021, 2-4 June 2021.