

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARÇACIK-BOŞLUK SİMETRİSİNE SAHİP ÇİFT-ÇİFT
ÇEKİRDEKLERDE ($130 \leq A \leq 170$) $I^\pi = 1^-$ UYARILMIŞ SEVİYE
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esranur YALÇINKAYA

Fizik Anabilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARÇACIK-BOŞLUK SİMETRİSİNE SAHİP ÇİFT-ÇİFT
ÇEKİRDEKLERDE ($130 \leq A \leq 170$) $I^\pi = 1^-$ UYARILMIŞ SEVİYE
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esranur YALÇINKAYA

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nilüfer DEMİRCİ SAYGI

TEMMUZ 2024

Esranur Yalçınkaya tarafından hazırlanan “PARÇACIK-BOŞLUK SİMETRİSİNE SAHİP ÇİFT-ÇİFT ÇEKİRDEKLERDE $(130 \leq A \leq 170)$ $I^\pi = 1^-$ UYARILMIŞ SEVİYE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 03.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “PARÇACIK-BOŞLUK SİMETRİSİNE SAHİP ÇİFT-ÇİFT ÇEKİRDEKLERDE $(130 \leq A \leq 170)$ $I^\pi = 1^-$ UYARILMIŞ SEVİYE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(03/07/2024).

Esranur YALÇINKAYA







TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Nilüfer DEMİRCİ SAYGI ve değerli hocamın eşi Doç.Dr. Bahadır SAYGI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Katkı ve yardımlarından dolayı Sayın Prof. Dr. Ali KULİEV, Prof. Dr. Hakan YAKUT, Doç. Dr. Emre TABAR, Gamze HOŞGÖR, Elif KEMAH'a, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim Fizik bölümünün bütün hocalarına teşekkür ederim.

Benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hep hissettiğim, sevgili ailem Hacer, Veli, Mustafa Emre, Ahsen Sude ve Salih Mert ALTAK'a, en büyük şanslarım eşim Arş. Gör. Dr. Orhan YALÇINKAYA, oğlum Ömer Asaf YALÇINKAYA'ya sonsuz teşekkür ederim.

122F317 numaralı ve "Parçacık-boşluk simetrisine sahip Parçacık-Boşluk Simetrisine Sahip Çekirdeklerde $I^\pi = 1^-$ Uyarılmış Seviye Özelliklerinin Araştırılması " başlıklı proje Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından Hızlı Destek Projesi (1002) olarak 12 ay süreyle desteklenmiştir. Projenin yürütülmesinde verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Esranur YALÇINKAYA



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxvii
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	8
2. PSEUDO AYNA ÇEKİRDEKLER VE DİPOL UYARILMALAR.....	11
2.1. Pseudo-Ayna Çekirdekler	11
2.2. Dipol Uyarılmalar	15
3. YÖNTEM.....	23
3.1. NpNn Pseudospin Kuplajı	23
3.2. Simetri Kırınımları, Sahte Haller ve Etkin Kuvvetler	27
3.3. Deforme Çekirdeklerde Elektrik Dipol Uyarılmaları.....	28
3.4. Çift-Çift Deforme Çekirdekler İçin TGI-QRPA Metodu.....	29
3.5. Dipol Fotoabsorbsiyon Tesir Kesiti	40
3.6. Radyasyon Kalınlığı	45
4. BULGULAR	49
4.1. Parçacık-Boşluk Simetrisine Sahip Pseudo-Ayna Çekirdek İkililerinin Özelliklerinin Karşılaştırılmasına Ait Bulgular	52
4.1.1. ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması.....	52
4.1.2. ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması.....	60
4.1.3. ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması	70
4.1.4. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması	79
4.1.5. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması.....	89
4.1.6. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması	98
4.1.7. ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması	110
4.1.8. ^{162}Yb - ^{134}Sm çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması	118
4.1.9. ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması	127
4.1.10. ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması.....	136
4.1.11. ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması.....	145
4.2. Parçacık-Boşluk Simetrisine Sahip Pseudo-Ayna Çekirdeklerin Özelliklerine Ait Sistematik Bulgular	155
5. SONUÇLAR	161
KAYNAKLAR	163
EKLER	175
ÖZGEÇMİŞ.....	187



KISALTMALAR

GI	: Galileo Değişmez
HS	: Harmonik Salıncı
NRF	: Nükleer Rezonans Flüoresans
PMN	: Pseudo-Ayna Çekirdek
QRPA	: Kuaziparçacık Rastgele Faz Yaklaşımı
RPA	: Rastgele Faz Yaklaşımı
TDA	: Tamm-Dancoff Yaklaşımı
TGI	: Öteleme ve Galileo Değişmez
TI	: Öteleme Değişmez
WS	: Woods-Saxon Potansiyeli



SİMGELER

A	: Kütle Numarası
$a^+(a)$	: Parçacık Üretme (Yok Etme) Operatörü
B(E1)	: İndirgenmiş Elektrik Dipol Uyarılma İhtimali
Dy	: Disporsiyum
Er	: Erbiyum
Gd	: Gadolinyum
Hf	: Hafniyum
I	: Spin
J	: Açısal Momentum Operatörü
K	: Toplam Açısal Momentumun Simetri Eksenindeki İzdüşümü
N	: Nötron Sayısı
Nd	: Neodmiyum
$Q^+(Q)$	: Fonon Üretme (Yoketme) Operatörü
R	: Nükleer Yarıçap
Sm	: Samaryum
sp	: Tek Parçacık
sqp	: Tek Kuaziparçacık
T	: İzotopik Spin Operatörü
W	: Tungsten
Yb	: Yiterbiyum
Z	: Atom Numarası
$\alpha^+(\alpha)$	: Kuaziparçacık Üretme (Yok Etme) Operatörü
β	: Çekirdeğin Deformasyon Parametresi
Δ	: Gap Parametresi
δ	: Ortalama Alan Potansiyelinin Deformasyon Parametresi
λ	: Kimyasal Potansiyel
π	: Parite
σ_{abs}	: Fotoabsorbsiyon Tesir Kesiti
Γ_0	: Dipol Radyasyon Kalınlığı
Γ_0^{red}	: İndirgenmiş Dipol Radyasyon Kalınlığı

σ : Spin Operatörü
 τ : İzotopik Spin Operatörü
 μ : Manyetik Moment Operatörü



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Pseudo-ayna çekirdeklerin $N_p N_n$ pseudospin değerleri.	23
Tablo 4.1. Parçacık-boşluk simetrisine sahip incelenen çekirdeklerin Δn ve Δp çiftlenim etkileşme sabitleri, λp ve λn kimyasal potansiyelleri ile ortalama alan deformasyon parametreleri (δ_2).	51
Tablo 4.2. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ ve $K=1$ modundaki $\Sigma B E1$, $\Sigma B(E1)\omega$, ω değerlerinin oranları.	57
Tablo 4.3. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ ve $K=1$ modundaki $\Gamma 0$ ve $\Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.....	58
Tablo 4.4. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{170}Hf - ^{158}Dy çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ ve $K=1$ modundaki $\Sigma B E1$, $\Sigma B(E1)\omega$, ω değerlerinin oranları.	65
Tablo 4.5. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{170}Hf - ^{158}Dy çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ ve $K=1$ modundaki $\Gamma 0$ ve $\Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.....	66
Tablo 4.6. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{170}Hf - ^{158}Dy çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-7 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.	67
Tablo 4.7. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{170}Hf - ^{158}Dy çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-7 MeV enerji aralıklarındaki $K=1$ modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.	67
Tablo 4.8. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ ve $K=1$ modundaki $\Sigma B E1$, $\Sigma B(E1)\omega$, ω değerlerinin oranları.	75
Tablo 4.9. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ ve $K=1$ modundaki $\Gamma 0$ ve $\Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.....	75
Tablo 4.10. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.	76
Tablo 4.11. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki $K=1$ modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.	77
Tablo 4.12. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ ve $K=1$ modundaki $\Sigma B E1$, $\Sigma B(E1)\omega$, ω değerlerinin oranları.	84

Tablo 4.13. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki Γ_0 ve $\Sigma\Gamma_{\text{red}}$ değerlerinin oranları.....	84
Tablo 4.14. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.	85
Tablo 4.15. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.	86
Tablo 4.16. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki ΣBE1 , $\Sigma\text{B(E1)}\omega$, ω değerlerinin oranları.	94
Tablo 4.17. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki Γ_0 ve $\Sigma\Gamma_{\text{red}}$ değerlerinin oranları.....	94
Tablo 4.18. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.	95
Tablo 4.19. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.	96
Tablo 4.20. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki ΣBE1 , $\Sigma\text{B(E1)}\omega$, ω değerlerinin oranları.	104
Tablo 4.21. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki Γ_0 ve $\Sigma\Gamma_{\text{red}}$ değerlerinin oranları.....	105
Tablo 4.22. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.	106
Tablo 4.23. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri.....	107
Tablo 4.24. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki ΣBE1 , $\Sigma\text{B(E1)}\omega$, ω değerlerinin oranları.	114
Tablo 4.25. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki Γ_0 ve $\Sigma\Gamma_{\text{red}}$ değerlerinin oranları.....	114
Tablo 4.26. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.	115

Tablo 4.27. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.	115
Tablo 4.28. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki ΣBE1 , $\Sigma\text{B(E1)}\omega$, ω değerlerinin oranları.	124
Tablo 4.29. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki Γ_0 ve $\Sigma\Gamma_{\text{red}}$ değerlerinin oranları.....	124
Tablo 4.30. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.	125
Tablo 4.31. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.	125
Tablo 4.32. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki ΣBE1 , $\Sigma\text{B(E1)}\omega$, ω değerlerinin oranları.	132
Tablo 4.33. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki Γ_0 ve $\Sigma\Gamma_{\text{red}}$ değerlerinin oranları.....	132
Tablo 4.34. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.	133
Tablo 4.35. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.	134
Tablo 4.36. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki ΣBE1 , $\Sigma\text{B(E1)}\omega$, ω değerlerinin oranları.	142
Tablo 4.37. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki Γ_0 ve $\Sigma\Gamma_{\text{red}}$ değerlerinin oranları.....	143
Tablo 4.38. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.	143
Tablo 4.39. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.	144
Tablo 4.40. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki ΣBE1 , $\Sigma\text{B(E1)}\omega$, ω değerlerinin oranları.	150

Tablo 4.41. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki Γ_0 ve $\Sigma\Gamma$ red değerlerinin oranları.....	151
Tablo 4.42. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.	152
Tablo 4.43. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.	153



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. (a) Sihirli ayna çekirdekleri ve (b) değerlik ayna çekirdeklerindeki ayna seviyelerinin şematik gösterimi.	2
Şekil 2.1. (a) Ayna, (b) Valans (Değerlik) Ayna ve (c) Pseudo Ayna Çekirdekler (Bentley ve Lenzi, 2007; Saygı, 2018c; Yan ve ark, 1990).	12
Şekil 2.2. Atomik çekirdeğin elektrik (E1) ve manyetik (M1) dipol uyarılmaları (Iudice, 1992).	16
Şekil 2.3. Nükleer dipol uyarılma spektrumu (Habs, 2013).	17
Şekil 2.4. PDR uyarılması (Şahin, 2009).	17
Şekil 3.1. Ağır kütleli çekirdeklerde tesir kesitlerinin enerjiye göre değişimi (Gurevich ve ark, 1980 (sol); Carlos ve ark, 1974 (sağ)).	41
Şekil 3.2. Çift-çift $^{144-154}\text{Sm}$ izotoplarında $K=0$ ve $K=1$ dalları için bulunan güç fonksiyonunun kullanılmasıyla bulunan dipol fotoabsorbsiyon tesir kesitinin enerjiye göre değişiminin teorik ve deneysel değerlerinin karşılaştırılması (Oishi ve ark, 2016).	43
Şekil 3.3. Deforme çekirdeklerde $K=0$ ve $K=1$ için proton-nötron ötelenme salınım modları (Iudice, 2000).	44
Şekil 3.4. Dipol radyasyon kalınlığı ve spin (Kneissl ve ark, 1996).	45
Şekil 4.1. ^{162}Yb (sol)- ^{166}Hf (sağ) çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.	53
Şekil 4.2. ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.	54
Şekil 4.3. ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	54
Şekil 4.4. ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	55
Şekil 4.5. ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	55
Şekil 4.6. ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	56
Şekil 4.7. ^{166}Hf ve ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	56
Şekil 4.8. ^{166}Hf ve ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	57

Şekil 4.9. $^{158}\text{Dy}-^{170}\text{Hf}$ çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.	61
Şekil 4.10. $^{158}\text{Dy}-^{170}\text{Hf}$ çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.	62
Şekil 4.11. $^{158}\text{Dy}-^{170}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki B (E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	62
Şekil 4.12. $^{158}\text{Dy}-^{170}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki B (E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	63
Şekil 4.13. $^{158}\text{Dy}-^{170}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki B (E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	63
Şekil 4.14. $^{158}\text{Dy}-^{170}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	64
Şekil 4.15. $^{158}\text{Dy}-^{170}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn})=(\gamma, n)+(\gamma, 2n)+(\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	64
Şekil 4.16. $^{158}\text{Dy}-^{170}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s8) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	65
Şekil 4.17. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.	70
Şekil 4.18. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan K=0, K=1 ve toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon kesiti dağılımı.	71
Şekil 4.19. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki B(E1) değerlerinin K=0 ve K=1 modları için enerjiye göre dağılımı.	71
Şekil 4.20. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki B(E1) değerlerinin K=0 ve K=1 modları için enerjiye göre dağılımı.	72
Şekil 4.21. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki B(E1) değerlerinin K=0 ve K=1 modları için enerjiye göre dağılımı.	72
Şekil 4.22. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdeğinin K=0 ve K=1 modları için seviye sayılarının karşılaştırılması.	73
Şekil 4.23. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdeğinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitinin $(\gamma, \text{totn})=(\gamma, n)+(\gamma, 2n)+(\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodunda farklı yaklaşımlar kullanılarak elde edilen değerleri.	73
Şekil 4.24. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdeğinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	74
Şekil 4.25. $^{162}\text{Dy}-^{166}\text{Er}$ çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.	80
Şekil 4.26. $^{162}\text{Dy}-^{166}\text{Er}$ çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.	80
Şekil 4.27. $^{162}\text{Dy}-^{166}\text{Er}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	81
Şekil 4.28. $^{162}\text{Dy}-^{166}\text{Er}$ çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	81
Şekil 4.29. $^{162}\text{Dy}-^{166}\text{Er}$ çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	82

Şekil 4.30. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	82
Şekil 4.31. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn})=(\gamma, n)+(\gamma, 2n)+(\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	83
Şekil 4.32. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s8) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	83
Şekil 4.33. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.	89
Şekil 4.34. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.	90
Şekil 4.35. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	90
Şekil 4.36. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	91
Şekil 4.37. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	91
Şekil 4.38. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	92
Şekil 4.39. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn})=(\gamma, n)+(\gamma, 2n)+(\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	93
Şekil 4.40. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	93
Şekil 4.41. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.	99
Şekil 4.42. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.	99
Şekil 4.43. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	100
Şekil 4.44. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	101
Şekil 4.45. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	102
Şekil 4.46. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.	102
Şekil 4.47. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn})=(\gamma, n)+(\gamma, 2n)+(\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	103
Şekil 4.48. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	104

Şekil 4.49.	$^{164}\text{Yb}-^{132}\text{Sm}$ çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.	110
Şekil 4.50.	$^{164}\text{Yb}-^{132}\text{Sm}$ çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.	111
Şekil 4.51.	$^{164}\text{Yb}-^{132}\text{Sm}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	111
Şekil 4.52.	$^{164}\text{Yb}-^{132}\text{Sm}$ çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	112
Şekil 4.53.	$^{164}\text{Yb}-^{132}\text{Sm}$ çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	112
Şekil 4.54.	$^{164}\text{Yb}-^{132}\text{Sm}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	113
Şekil 4.55.	$^{164}\text{Yb}-^{132}\text{Sm}$ çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn})=(\gamma, n)+(\gamma, 2n)+(\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	113
Şekil 4.56.	$^{162}\text{Yb}-^{134}\text{Sm}$ çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.	119
Şekil 4.57.	$^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$ çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.	120
Şekil 4.58.	$^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	120
Şekil 4.59.	$^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	121
Şekil 4.60.	$^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	122
Şekil 4.61.	$^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	122
Şekil 4.62.	$^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn})=(\gamma, n)+(\gamma, 2n)+(\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	123
Şekil 4.63.	$^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	123
Şekil 4.64.	$^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$ çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.	127
Şekil 4.65.	$^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$ çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.	128
Şekil 4.66.	$^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	128
Şekil 4.67.	$^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	129
Şekil 4.68.	$^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	129
Şekil 4.69.	$^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	130

Şekil 4.70.	$^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn})=(\gamma, n)+(\gamma, 2n)+(\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.....	130
Şekil 4.71.	$^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$ çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.....	131
Şekil 4.72.	$^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$ çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.....	137
Şekil 4.73.	$^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$ çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.....	137
Şekil 4.74.	$^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.....	138
Şekil 4.75.	$^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.....	139
Şekil 4.76.	$^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.....	139
Şekil 4.77.	$^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.....	140
Şekil 4.78.	$^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn})=(\gamma, n)+(\gamma, 2n)+(\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.....	141
Şekil 4.79.	$^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$ çekirdeğinin çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.....	141
Şekil 4.80.	$^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$ çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.....	146
Şekil 4.81.	$^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$ çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.....	147
Şekil 4.82.	$^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.....	147
Şekil 4.83.	$^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.....	148
Şekil 4.84.	$^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.....	148
Şekil 4.85.	$^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.....	149
Şekil 4.86.	$^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn})=(\gamma, n)+(\gamma, 2n)+(\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.....	149
Şekil 4.87.	$^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$ çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.....	150
Şekil 4.88.	Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralığındaki toplam B(E1) oranlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.....	156

Şekil 4.89. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam $B(E1)$ oranlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	156
Şekil 4.90. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralığındaki seviye sayısı (N) oranlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	157
Şekil 4.91. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-25 MeV enerji aralığındaki seviye sayısı oranlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	157
Şekil 4.92. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji toplam radyasyon kalınlığı (Γ_0) oranlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	158
Şekil 4.93. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam radyasyon kalınlığı (Γ_0) oranlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	158
Şekil 4.94. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji toplam radyasyon kalınlığı (Γ_{red}) oranlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	159
Şekil 4.95. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam radyasyon kalınlığı (Γ_{red}) oranlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.	159

**PARÇACIK-BOŞLUK SİMETRİSİNE SAHİP ÇİFT-ÇİFT
ÇEKİRDEKLERDE ($130 < A < 170$) $I^\pi = 1^-$ UYARILMIŞ SEVİYE
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

ÖZET

Teknolojinin gelişimine paralel olarak atomik çekirdeğin yapısı ve çekirdeği meydana getiren tanecikler arası etkileşimleri açıklamak için son yıllarda farklı yazılımlar, farklı kodlar kullanılmakta, teoriler ve deney sistemleri geliştirilmektedir. Deneysel yaklaşımın en temel uygulaması, bir çekirdeği dış etkiye maruz bırakmaktır. Bu etkiye çekirdeğin verdiği tepki sonucu meydana gelen nükleer uyarılmaların incelenmesi, nükleer yapı ve nükleer bağlanma konularında değerli bilgiler sağlamaktadır. Nükleer uyarılmalar neticesinde çekirdeğin uyarılmış seviyelerine ait elde edilen verilerin parçacık-boşluk simetrisinin bir fonksiyonu olarak araştırılması nükleer yapı fiziğinin temel işlerinden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdek çiftleri ile ilgili günümüze kadar yapılan çalışmalarda yalnızca yrast bant üzerinde yer alan elektrik kuadrupol geçişlerin özelliklerine odaklanıldığı ve bu çekirdeklerde elektrik dipol ($I^\pi = 1^-$) geçiş özelliklerinin şimdiye kadar incelenmediği görülmektedir. Yapılmış olan çalışmalarda parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdek çiftlerinde düşük enerjili uyarılmış enerji seviyelerinin birbirine benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Elektrik dipol uyarılmaları, çekirdeğin temel özellikleri, deformasyonu, nükleer astrofizik için değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu çalışmada parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdeklerde benzer seviye yapısının sınırları, daha üst enerji seviyelerine yerleşen elektrik dipol uyarılmalara kadar genişletilerek, nereye kadar devam ettiği araştırılmıştır. Bu tez kapsamında öncelikle aktinidler ve geçiş metalleri bölgelerinde yer alan, $130 < A < 170$ aralığındaki çift kütle numarasına sahip, NpNn pseudospin numarası eş olan, parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdek çiftleri belirlenmiştir. Bu çekirdeklerin elektrik dipol uyarılmaları, deforme çekirdeklerin titreşim modları olan $K=0$ ve $K=\pm 1$ 'den gelen katkılar ayrıca gösterilerek, ortalama potansiyelin kırılan simetrisinin restore edildiği Öteleme ve Galileo Değişmez Kuaziparçacık Rastgele Faz Yaklaşımı (TGI-QRPA) model ile teorik olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada deforme, çift-çift, parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdek çiftlerinin elektrik dipol uyarılmaları incelenmiştir. Spin ve parite gösterimi $I^\pi = 1^-$ olan elektrik dipol uyarılmaları, farklı enerji aralıklarında farklı özellik gösterme eğilimi gösterdiğinden çalışmada elektrik dipol spektrumu; 0-4 MeV arası Taban Hal uyarılmaları (Low Lying Excitations -LLE), 4-8 MeV aralığı Cüce Dipol Rezonans (Pygme Dipole Resonances-PDR) ve 8-20 MeV aralığı Dev Dipol Rezonans (Giant Dipole Resonance-GDR) göz önünde bulundurularak üç enerji aralığı için ayrı ayrı ele alınmıştır. Parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdeklerin (PMN) elektrik dipol uyarılmalarının incelenmesinde Öteleme ve Galileo değişmez Kuazi Parçacık Rastgele Faz (TGI-QRPA) yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımla ortalama potansiyelin kırılan simetrisinin restorasyonu için izoskaler ve izovektör ayrılabilir etkileşimler özuyumlu olarak belirlenmiştir. İzovektör dipol-dipol etkileşmesinin tek

bir parametresini içeren model, deforme çekirdeklerde GDR'nin asimetrik yapısını, $K=0$ ve $K=1$ dalları için enerjileri, deneysel verilere uygun bir şekilde açıklamaktadır. TGI-QRPA yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlarla fotoabsorbsiyon tesir kesiti hesaplanmıştır. Modele bağlı elde edilen fotoabsorbsiyon tesir kesitleri var olan deneysel fotoabsorbsiyon tesir kesiti sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Deneysel veriye sahip olmayan çekirdeklerin fotoabsorbsiyon tesir kesitleri için, deneysel veriler ile oldukça uyumlu sonuçlar elde edilen TALYS ve EMPIRE reaksiyon kodları kullanılmıştır.

Parçacık-boşluk simetrisine sahip $130 \leq A \leq 170$ kütle bölgesinde yer alan ^{132}Sm , ^{164}Yb , ^{134}Sm , ^{162}Yb , ^{136}Sm , ^{160}Yb , ^{132}Nd , ^{164}Hf , ^{132}Ce , ^{164}W , ^{136}Nd , ^{160}Hf , ^{166}Hf , ^{162}Yb , ^{168}Hf , ^{160}Er , ^{170}Yb , ^{160}Dy , ^{170}Hf , ^{158}Dy ve ^{166}Er , ^{162}Dy pseudo-ayna çekirdek çiftlerinin $I^\pi K = 1^- 1$ ve $I^\pi K = 1^- 0$ geçişleri için indirgenmiş geçiş olasılıkları ($B(E1)$) ve enerji (ω_i) değerleri TGI-QRPA model çerçevesinde hesaplanmıştır. Fotoabsorbsiyon tesir kesitleri TGI-QRPA model çerçevesinde ve TALYS reaksiyon kodu kullanılarak farklı yaklaşımlar altında hesaplanarak karşılaştırılmıştır. TALYS'de fotoabsorbsiyon tesir kesiti verileri için ($\gamma, xn = \gamma, n + \gamma, 2n + \gamma, 3n$) reaksiyonu sonuçları kullanılmıştır. İncelenen deforme çekirdekler için 8-25 MeV enerji aralığında $K=1$, 4-8 MeV enerji aralığında $K=0$, 2-4 MeV aralığında ise $K=1$ dalının baskın olduğu görülmüştür. TGI-QRPA ile hesaplanan toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitinin (σ_{abs}) spektrumunda oluşturduğu, deforme çekirdekler için beklenen, antisimetrik yapı deneysel ve diğer teorik çalışmaların verileriyle uyumlu sonuçlar vermiştir.

Pseudo-ayna çekirdek çiftlerinin, hesaplamalar sonucunda elde edilen, elektrik dipol gücü dağılımına bakıldığında GDR uyarılmalarının olduğu 8-25 MeV enerji aralığındaki dağılımın birbirine benzer olduğu görülmüştür. Fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımları, yakın kütle numarasına sahip (A_{160} - A_{160}) pseudo-ayna çekirdekler için, hem TGI-QRPA model hem de TALYS reaksiyon kodunda bulunan 8 farklı yaklaşıma göre oldukça örtüşmektedir. Toplam $B(E1)$ gücünün $K=0$ ve $K=1$ mod değerlerinin oranı her pseudo-ayna çekirdek ikilisinde yaklaşık bir civarında çıkmıştır. Bu sonuç, 8-25 MeV aralığında pseudo-ayna çekirdeklerin yani parçacık boşluk simetrisine sahip çekirdek ikililerinin elektrik dipol dağılımında önemli bir benzerlik olarak karşımıza çıkmaktadır. Pseudo-ayna çekirdek çiftlerinde örtüşen özelliğin sadece toplam $B(E1)$ gücüyle sınırlı olmadığı bu çalışmada bulunmuştur. Bunun yanında, PDR ve GDR bölgesindeki uyarılmış enerji seviye sayıları, toplam radyasyon kalınlıkları oranı, toplam indirgenmiş radyasyon kalınlıkları oranları da bire yakın çıkarak bu çekirdeklerin saydığımız özellikler bakımından oldukça benzer olduklarını göstermektedir. Ancak pseudo-ayna çekirdek çiftlerinin 2-4 MeV enerji aralığında bulunan $B(E1)$ dağılımlarında anlamlı seviyede örtüşme elde edilememiştir. Ayrıca kütle numarası birbirine yakın olmayan (A_{130} - A_{160}) pseudo-ayna çekirdek çiftlerinin fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının TALYS reaksiyon kodu hesaplamalarında da farklılıklar belirlenmiştir.

INVESTIGATION OF EXCITED LEVEL PROPERTIES WITH $I^\pi = 1^-$ IN NUCLEI HAVING PARTICLE-HOLE SYMMETRY

SUMMARY

In recent years, various software and codes have been used to describe the properties of nuclear structure and the fundamental interactions between nucleons in parallel with the development of technology. Theories and experimental systems are being developed. The most fundamental application of the experimental approach is to expose a nucleus to an external influence. Studying nuclear excitations resulting from the nucleus's response to this influence provides valuable information about the nucleus's structure and nuclear binding. Investigating the data obtained from the excited levels of the nucleus as a function of particle-hole symmetry is one of the fundamental tasks of nuclear structure physics. It has been observed that previous studies on nucleus pairs or triplets with particle-hole symmetry have focused only on the properties of electric quadrupole transitions lying on the yrast band, and the properties of electric dipole ($I^\pi = 1^-$) transitions in these nuclei have not been studied so far. In the studies conducted, it has been determined that low-energy excited energy levels exhibit similar properties in nucleus pairs or triplets with particle-hole symmetry. Electric dipole excitations provide valuable information about the nucleus's fundamental properties, deformation, and nuclear astrophysics. In this study, the boundaries of similar level structures in nuclei with particle-hole symmetry were investigated by extending them to higher energy levels where electric dipole excitations occur, and how far they continue. In this treatise, the electric dipole excitations of nuclei with even mass numbers located in the actinide and transition metal regions of the periodic table, which have particle-hole symmetry, were theoretically investigated and compared separately for $K=0$ and $K=1$ branches using the Translationally-Invariant Quasiparticle Random Phase Approximation (TGI-QRPA) model, where the broken symmetry of the average potential is restored, and the results were compared with experimental data using the TALYS and EMPIRE reaction codes, yielding results highly consistent with experimental data. In this study, the electric dipole excitations of double-double deformed nucleus pairs with particle-hole symmetry, with spin and parity $I^\pi = 1^-$, were investigated within the framework of the Quasiparticle Random Phase Approximation (QRPA) for Base Hal excitations (Low Lying Excitations -LLE) between 0-4 MeV, Pygmy Dipole Resonances (Pygmy Dipole Resonances-PDR) between 4-8 MeV, and Giant Dipole Resonances (Giant Dipole Resonance-GDR) between 8-20 MeV. In this approach, separable interactions for isoscalar and isovector components were determined self-consistently for the restoration of broken symmetry of the average potential. The model containing a single parameter for isovector dipole-dipole interaction explains the asymmetric structure of GDR in deformed nuclei, its energies for $K=0$ and $K=1$ branches, in good agreement with experimental data. For the nuclei with particle-hole symmetry in the mass region of $130 \leq A \leq 170$, the reduced transition probabilities ($B(E1)$) and energy (ω_i) values for the $I^\pi K = 1^-1$ and $I^\pi K = 1^-0$ transitions were calculated within the model framework for the nuclear geometries and deformations, and the excitation

characteristics of the giant dipole resonance, electric base state, and pygmy dipole resonance, and $B(E1)$ values for pseudo mirror nuclei were investigated. It was observed that the $\Delta K=1$ transition is dominant in the GDR region for the deformed nuclei. The calculated total photoabsorption cross section (σ_{abs}) for deformed nuclei showed peak values in the energy ranges of 11-12 MeV and 15-16 MeV for $K=0$ and $K=1$ branches, respectively, which are consistent with experimental and other theoretical studies. Additionally, some characteristic features of electric dipole transitions, such as asymptotic quantum numbers $[Nn_z\Lambda\Sigma]$, radiation widths $\Gamma(E1)$, reduced radiation widths $\Gamma_{red}(E1)$, and integrated cross sections σ_0 , σ_{-1} , σ_{-2} were investigated.

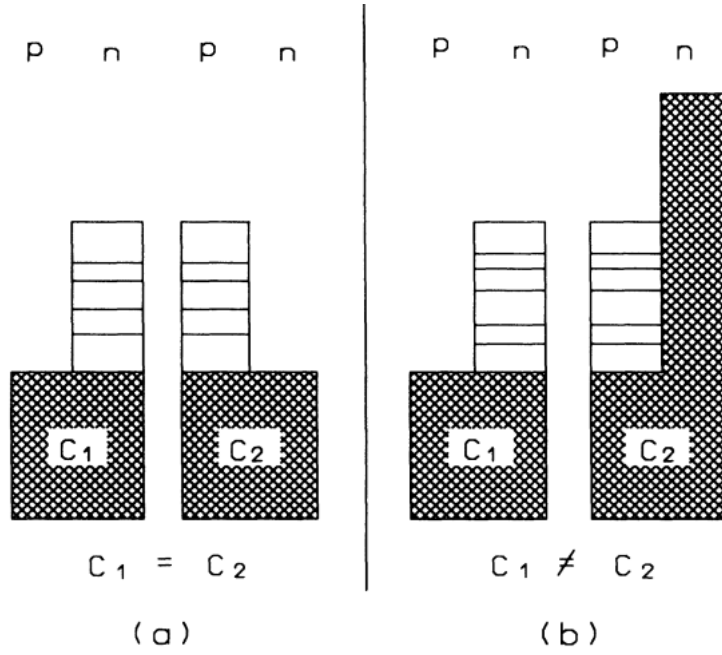
Within the scope of this treatise, the relationship between the $B(E1)$ values of pseudo mirror nuclei with particle-hole symmetry in the mass region of $130 \leq A \leq 170$, including $^{132}\text{Sm}-^{164}\text{Yb}$, $^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$, $^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$, $^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$, $^{132}\text{Ce}-^{164}\text{W}$, $^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$, $^{166}\text{Hf}-^{162}\text{Yb}$, $^{168}\text{Hf}-^{160}\text{Er}$, $^{170}\text{Yb}-^{160}\text{Dy}$, $^{170}\text{Hf}-^{158}\text{Dy}$, and $^{166}\text{Er}-^{162}\text{Dy}$, and the reduced transition probabilities ($B(E1)$) and energy (ω_i) values for the $I^\pi K = 1^-1$ transitions were theoretically calculated using the Translationally-Invariant Quasiparticle Random Phase Approximation (TGI-QRPA) model, where the broken symmetry of the average potential is restored. It was observed that the $\Delta K=1$ branch is dominant in the GDR region for the investigated deformed nuclei. The calculated total photoabsorption cross section (σ_{abs}) for deformed nuclei showed asymmetric structures in the spectrum, with peak values in the energy ranges of 10-12 MeV and 14-16 MeV for $K=0$ and $K=1$ branches, respectively, which are consistent with experimental and other theoretical studies. Additionally, some characteristic features of electric dipole transitions, such as asymptotic quantum numbers $[Nn_z\Lambda\Sigma]$, radiation widths $\Gamma(E1)$, and reduced radiation widths $\Gamma_{red}(E1)$, were investigated. Furthermore, the results obtained from TALYS and EMPIRE reaction codes, which are highly consistent with experimental data, were compared with the TGI-QRPA calculations. The structure and properties of the atomic nucleus, a complex, multi-body structure consisting of two different fermions, continue to attract the attention of researchers. Exploring various symmetries facilitates overcoming the challenges in understanding the nucleus's structure. One of these symmetries is isospin symmetry. Isospin symmetries give rise to three phenomena in nuclear structure physics; mirror nuclei, valence mirror nuclei, and pseudo-mirror nuclei. As can be understood from these three structures, the nuclear force does not make any distinction between neutrons and protons and the vacancies belonging to these particles. Pseudo-mirror nuclei, which were the subject of this treatise, have been studied by various researchers from the 1980s to the present day. With the increasing experimental data, systematic information about pseudo-mirror nuclei has also increased. While initial studies focused only on the energies of the same spin-quantum numbered levels belonging to the yrast band, later studies addressed the values of reduced transition probabilities for these levels and found a systematic between these transitions. Considering that the levels in the yrast band are thought to be composed of quadrupole interactions, the question arises as to how symmetries behave in dipole-dipole interactions, and thus, the subject of this treatise emerged. In this context, this problem was investigated through the pseudo-mirror nuclei $^{132}\text{Sm}-^{164}\text{Yb}$, $^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$, $^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$, $^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$, $^{132}\text{Ce}-^{164}\text{W}$, $^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$, $^{166}\text{Hf}-^{162}\text{Yb}$, $^{168}\text{Hf}-^{160}\text{Er}$, $^{170}\text{Yb}-^{160}\text{Dy}$, $^{170}\text{Hf}-^{158}\text{Dy}$, and $^{166}\text{Er}-^{162}\text{Dy}$. In the findings section, the $B(E1)$, energy-weighted $B(E1)$, average energy, radiation width, reduced radiation width, and photoabsorption cross-section values were given for the pseudo-mirror nuclei $^{132}\text{Sm}-^{164}\text{Yb}$, $^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$, $^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$, $^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$, $^{132}\text{Ce}-^{164}\text{W}$, $^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$, $^{166}\text{Hf}-^{162}\text{Yb}$, $^{168}\text{Hf}-^{160}\text{Er}$, $^{170}\text{Yb}-^{160}\text{Dy}$, $^{170}\text{Hf}-^{158}\text{Dy}$, and $^{166}\text{Er}-^{162}\text{Dy}$.

^{158}Dy , and ^{166}Er - ^{162}Dy in the energy ranges of 0-4 MeV, 4-8 MeV, and 8-20 MeV. As seen from the findings, in pseudo-mirror nuclei with similar masses, it was observed that the degenerate structures in the low-energy region due to quadrupole interactions continue in the high-energy levels due to dipole interactions. The overlap is seen in the photoabsorption cross-sections calculated using QRPA and TALYS, and also, the ratios of the total $B(E1)$ values of pseudo-mirror nuclei are clustered around 1, just like the ratios of $B(E2)$ values in the low-energy region. In pseudo-mirror nuclei where the difference in mass numbers increases, deviations were observed in the photoabsorption cross-sections calculated using QRPA and TALYS, and also, the ratios of the total $B(E1)$ values of pseudo-mirror nuclei differed. The investigation of this difference using microscopic models will form the basis for our group's future studies.



1. GİRİŞ

İki farklı fermiyondan oluşan, karmaşık, çok cisimli bir yapı olan atomik çekirdeğin yapısı ve özelliklerinin teorik açıklaması araştırmacılar için dikkat çekiciliğini korumaktadır. Çekirdeğin yapısının anlaşılmasındaki zorlukların aşılmasında çeşitli simetrilerin araştırılması kolaylık sağlamaktadır. Bu simetrilere biri izospin simetrisidir (Heisenberg, 1932). Nükleer kuvvetler protonlar ve nötronlar arasında ayırım yapmadığından izospin bütün nükleer reaksiyonlarda korunmaktadır. Doğada her korunum yasası, altında yatan bir simetriyi açıklamaktadır (Noether, 1917). Bu bağlamda izospin simetrisi ayna çekirdeklerin (mirror nuclei) güçlü nükleer etkileşimler altında protonların ve nötronların davranışlarının anlaşılmasına yardımcı olmak için kullanılmaktadır (Lenzi ve Bentley, 2009). Ayna çekirdeklerde, kütle numarası aynı çekirdek ikilisinin çapraz olarak nötron ve proton sayıları birbirleri ile yer değiştirmektedir. Coulomb etkileşimi nedeniyle küçük bir enerji farkı gözlenmesine rağmen ayna çekirdeklerinin protonlarının spektrumları neredeyse aynı özellikleri ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu çekirdek çiftlerinde eşdeğer seviyelerin indirgenmiş geçiş olasılıkları yaklaşık olarak eşit bulunmuştur. Her çok cisimli kuantum sistemi benzersizdir ve diğer sistemlerden farklı özelliklere sahip olması beklenir. Ancak iki kuantum sisteminin benzer özelliklere sahip olduğunun gözlemi dikkat çekicidir (Kumar ve Sezgin, 2021). İzospin simetrisinin sınırları, değerliklerini değiştiren çekirdeklere genişletilebilmektedir. Bunlardan biri değerlik ayna çekirdekleridir (valence mirror nuclei). Şekil 1.1(a)'da gösterildiği gibi, ayna çekirdekler (Z_1, N_1) ve (Z_2, N_2) olan bir çift çekirdektir ve proton ile nötron sayıları çapraz olarak birbirlerine eşittir ($Z_1 = N_2, Z_2 = N_1$). Bu tür çekirdekler, uyarılmış hallerinde güçlü benzerlikler gösterir; bu, geçmişte kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve izospin simetrisine işaret etmektedir. Şekil 1.1(b)'de gösterilen değerlik ayna çekirdekleri farklı kapalı kabuklara yani sihirli çekirdeklere sahiptirler, ancak ana kabukta sırasıyla aynı sayıda değerlik protonu Z_v ve değerlik nötronları N_v 'ye sahiptirler (örneğin, $N_1 = 82, Z_1 = 50+k$ ve $N_2 = 50+k, Z_2 = 50$). Bu tür değerlik ayna çekirdeği çiftlerine aynı zamanda kuazi ayna çekirdekleri (Quasi mirror nuclei) de denmektedir (Yan ve ark, 1990).



Şekil 1.1. (a) Sihirli ayna çekirdekleri ve (b) değerlik ayna çekirdeklerindeki ayna seviyelerinin şematik gösterimi.

Şekil 1.1’de C çekirdek korundaki (kapalı kabuk) nükleon sayısıdır. Değerlik ayna çekirdekler farklı kor numarası ile ayna çekirdeklerden farklılık göstermektedir.

Ayna çekirdeklere benzer özellik gösteren bir diğer çekirdek türü ise pseudo (yalancı) ayna çekirdekleri (Pseudo Mirror Nuclei–PMN)’dir (Wirowski ve ark, 1988). Pseudo-ayna çekirdeklerde, çekirdeğin sihirli sayılarla gösterilen (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126) kor-kapalı kabuklarına göre proton ve nötron sayılarının parçacık-boşluk (particle-hole) durumlarının karşılıklı eşit olması durumu söz konusudur. Bu çekirdeklerle ilgili olarak proton-nötron etkileşiminin basit bir formüle dönüştürülebileceği $N_p N_n (=4N_\pi N_\nu)$ sayısı ile Casten (1986) tarafından ikna edici bir şekilde gösterilmiştir.

Pseudo-ayna çekirdeklerine ilişkin ilk çalışma Moscrop ve ark. (1988) tarafından $A = 100\text{--}130$ kütle bölgesinde gerçekleştirilmiştir. $N_\pi N_\nu$ pseudospin kuplajı kullanılarak, eşleştirilen pseudo-ayna çekirdeklerinin yrast enerji spektrumlarının düşük enerjilerinde neredeyse aynı olduğu belirlenmiştir. Yrast seviyesi, bir açısal momentumun sahip olabileceği en düşük enerji seviyesidir (Amon, 2009).

Son zamanlarda Saygı (2018a, 2018b, 2018c) $A \approx 100\text{--}130$ kütle bölgesinin yanı sıra $A \approx 130\text{--}160/170\text{--}200$ kütle bölgesindeki pseudo ayna çekirdekler için enerji spektrumlarını incelemiş ve kuadropol indirgenmiş geçiş olasılıklarını da ($B(E2)$) karşılaştırarak bu çekirdekler için yapılan araştırmaların sınırlarını daha da

genişletmiştir. $N_{\pi}N_{\nu}$ pseudospin kuplajı kullanılarak elde edilen çekirdek ikili, üçlü ya da drtllerinden; $^{142}\text{Nd}-^{110}\text{Sn}$ (Casten ve ark, 1990; Yan ve ark, 1990) ve $^{146}\text{Gd}-^{114}\text{Sn}$ (Schimmer ve ark, 1994; Yan ve ark, 1990), $^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$, $^{132}\text{Ce}-^{164}\text{W}$, $^{106}\text{Ru}-^{126}\text{Ba}$, $^{108}\text{Ru}-^{124}\text{Ba}$, $^{108}\text{Mo}-^{134}\text{Nd}$, $^{104}\text{Mo}-^{128}\text{Ce}$, $^{100}\text{Zr}-^{132}\text{Nd}$, ^{164}Hf , $^{106}\text{Zr}-^{126}\text{Ce}$, $^{102}\text{Zr}-^{130}\text{Nd}$, $^{166}\text{Hf}-^{162}\text{Yb}$, $^{104}\text{Zr}-^{128}\text{Nd}$, $^{168}\text{Hf}-^{160}\text{Er}$ (Saygı, 2018a), $^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$, $^{132}\text{Sm}-^{164}\text{Yb}$, $^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$ (Saygı, 2018b), $^{125}\text{Cs}-^{107}\text{Rh}$, $^{123}\text{Cs}-^{109}\text{Rh}$, $^{127}\text{La}-^{105}\text{Tc}$, $^{127}\text{Ce}-^{105}\text{Mo}$, $^{123}\text{Ba}-^{109}\text{Ru}$, $^{131}\text{Nd}-^{101}\text{Zr}$ (Saygı, 2019), $^{164}\text{Os}-^{208}\text{Ra}$, $^{166}\text{Os}-^{206}\text{Ra}$, $^{174}\text{Pt}-^{198}\text{Rn}$ (Saygı, 2018c), $^{72}\text{Ge}-^{84}\text{Sr}$, $^{76}\text{Se}-^{80}\text{Kr}$, $^{74}\text{Se}-^{82}\text{Sr}$, $^{76}\text{Kr}-^{80}\text{Sr}$ (Kumar ve Aydın, 2021) için çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar kuadropol uyarılmalar ile sınırlı kalmıştır. Parçacık-hol simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdekler için var olan literatür incelendiğinde şimdiye kadar yapılan çalışmaların yrast bant üzerinde yer alan elektrik kuadropol geçişlerin özelliklerine odaklandığı ve bu çekirdeklerde elektrik dipol geçiş özelliklerinin şimdiye kadar incelenmediği görülmektedir.

Kararlı çekirdeklerin en düşük enerji seviyesi taban temel haldir. st enerji seviyesine çıkan çekirdeğe uyarılmış çekirdek denir. Uyarılmış bir çekirdek, yüksek enerjili durumdan temel hale dönerken gama ışması yapar. Çekirdeğin ilk ve son hallerinin spin ve paritelerine göre bu geçişler monopol, dipol, kuadropol olarak isimlendirilmektedir (Arya, 1999). Dipol titreşimler, kolektif uyarılmalar arasında özel bir yere sahiptir. Çekirdekteki nükleonların ortak hareketleri ve tek parçacık geçişleri ile tanımlanan dipol uyarılmalar, önemli bir rol oynamaktadır (Woude, 1991). Dipol uyarılmalar, paritelerine göre iki gruba ayrılır: Spin ve paritesi $I^{\pi} = 1^{+}$ olanlar manyetik dipol (M_1), spin ve paritesi $I^{\pi} = 1^{-}$ olanlar ise elektrik dipol (E_1) olarak bilinmektedir. Sihirli sayıların uzağında bulunan eksenel simetrik deforme çekirdekler için $I^{\pi} = 1^{-}$ titreşimleri, $K = \pm 1$ ve $K = 0$ olmak üzere iki ayrı dal oluşturmaktadır (Okamoto, 1958). Bu dallar, eksenel simetrinin korunması nedeniyle toplam açısal momentumlarının z eksenini üzerindeki izdüşümü olan $j_z = K$ kuantum sayısının değişmezliği ile ilgilidir. $K = \pm 1$ ve $K = 0$ dalları sırasıyla çekirdekteki simetri eksenine dik ve paralel titreşimleri temsil etmektedir. Bu nedenle, deforme çekirdeklerin dipol özelliklerinin incelenmesinde, nükleonlar arasındaki etkileşimlerin niteliği ve kuvvet parametrelerinin belirlenmesinde bu dallar dikkate alınmaktadır ve teorilerin test edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Dipol spektrumu incelendiğinde, dipol uyarılmaların %90'dan fazlasının elektrik dipol uyarılmalar tarafından yönetildiği

görülmektedir (Demirci Saygı, 2018). Bu bağlamda elektrik dipol uyarılmalar çekirdeğe ait dipol uyarılmaların incelenmesinde önem arz etmektedir.

Elektrik dipol uyarılmalar enerji aralığına göre spektroskopik bölgede taban-hal (Low-lying), nükleon bağlanma enerjisi civarında cüce (Pygmy) dipol rezonans (PDR) ve nükleon bağlanma enerjisi yukarısında dev (Giant) dipol rezonans (GDR) olmak üzere üç bölümde incelenebilmektedirler. Düşük enerji seviyesindeki uyarılmalar (4 MeV'e kadar) çekirdeğin temel özellikleri hakkında bilgiler sunmaktadır. Nükleer astrofizik açısından önemli olan PDR, fenomenolojik olarak, nötron fazlalığının titreşiminden kaynaklanabileceği öngörülmektedir. Öte yandan, çekirdekteki nötronların protonlara karşı hareketini karşılayan elektrik dev dipol uyarılmalar dipol uyarılma spektrumunun yüksek enerji bölgesinde yer almaktadır.

Dev rezonans kolektif modları, nükleer fizik alanında önemli bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır. Deforme çekirdeklerdeki dev rezonanslar, süpernova patlamaları ve nötron yıldızlarının oluşumu gibi astrofiziksel olayları anlamak açısından da büyük önem taşır. Kararlı çekirdeklerde ayrıntılı olarak incelenmiş olan dev rezonansların, parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdeklerdeki benzer yapısal özelliklerin belirlenmesi amacıyla araştırılması gerekmektedir. Ayrıca, deforme çekirdeklerin elektrik dipol özelliklerine ilişkin deneysel verilerin anlaşılabilmesi ve gelecekte yapılacak deneysel çalışmalara yol gösterici olabilmesi için, spektroskopik bölge, PDR ve GDR modları üzerine teorik araştırmalar yapılması önemlidir (Kapitonov, 2015; Paar ve ark, 2007; Scheck ve ark, 2016).

Teorik modeller, deneysel olarak gözlemlenen sonuçların daha iyi anlaşılması açısından büyük önem taşır. Bu sebeple, izotop eğrisi (çekirdek kararlılık eğrisi-Segre grafiği) boyunca hafif ve ağır çekirdekler dahil birçok çekirdeğe ait deneysel verilerin açıklanmasında çeşitli teorik modeller geliştirilmiştir. Hartree-Fock Bogolyubov çözümlerine dayanan Kuaziparçacık Rastgele Faz Yaklaşımı (QRPA), elektrik dipol uyarılmaların incelenmesinde tutarlı bir yöntem sunmaktadır. QRPA, elektromanyetik uyarımlardan kaynaklanan düşük enerjili kolektif titreşim durumlarından dev rezonanslara kadar birçok nükleer fenomeni tanımlamaya olanak sağlamaktadır. Ortalama alan yaklaşımına dayalı olarak, son gelişmeler sayesinde QRPA, neredeyse tüm nüklitlere, tek çekirdekli dahil olmak üzere, uygulanabilmektedir. (Tabar ve ark, 2022; Versteegen ve ark, 2016). QRPA, nükleer titreşimlerin mikroskopik olarak incelenmesinde ikinci kuantumlama yönteminin etkili formülasyonlarından biridir.

İkinci kuantumlama yönteminin çeşitli avantajları vardır; bu avantajlar arasında komütasyon ilişkileri ile ilgili normalleşme koşulu ve titreşim durumlarının dalga fonksiyonlarının daha net bir şekilde ifade edilmesi bulunur (Soloviev, 1976). Ancak, HFB yaklaşımı nedeniyle meydana gelen simetri kırınımları, bu kırınımların restorasyonunu gerektirir. Bu çalışmada, öteleme ve Galileo değişmezlik (TGI) kırınımları restore edilerek TGI-QRPA yaklaşımı ile teorik yapı oluşturulmuştur.

Çekirdeğin sahip olduğu geometri ve deformasyon ile doğrudan ilişkili olduğu göz önüne alınırsa, deformasyonları ve elektrik kuadrupol seviye yapıları örtüşen parçacık-hol simetrisine sahip farklı kütle bölgelerinde yer alan çekirdeklerde, dipol uyarılmaların nasıl davranacağı nükleer çok cisim problemi açısından önem arz etmektedir. Parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdekler üzerine yapılan çalışmalar, deneysel veri miktarının da bir neticesi olarak düşük enerji bölgesinde yer alan yrast bölgesi ile sınırlandırılmıştır. Literatür incelendiği zaman, parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdeklere ait elektrik taban-hal, pigme, dev dipol uyarılmalarının davranış biçimlerinin şu ana kadar incelenmemiş olduğu görülmektedir. ^{132}Sm - ^{164}Yb , ^{134}Sm - ^{162}Yb , ^{136}Sm - ^{160}Yb , ^{132}Nd - ^{164}Hf , ^{132}Ce - ^{164}W , ^{136}Nd - ^{160}Hf , ^{166}Hf - ^{162}Yb , ^{168}Hf - ^{160}Er , ^{170}Yb - ^{160}Dy , ^{170}Hf - ^{158}Dy ve ^{166}Er - ^{162}Dy çekirdekleri nötron ve proton sayıları itibari ile orta kabuk (mid-shell) civarında ve deformasyonun nötron ya da proton sayısına göre fazla olduğu bölgelerde yer almaktadırlar. Dolayısı ile nükleonların ve ilgili hollerin birlikte yani kolektif hareket ettikleri bölgelerdir. Kolektif hareketin ilk bilinen hatta en eski örneklerinden birisi de dev dipol rezonanslardır. Mikroskobik açıdan bakıldığında 1 parçacık – 1 hol uyarılmasının bir sonucu olarak ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Bu rezonansın çok kısa olan ortalama ömür süresi onu ekstrem durumlar için nükleer özelliklerin araştırılması için oldukça önemli bir konuma terfi ettirmektedir. Dev dipol rezonans çalışmaları ile yüksek sıcaklık ve açısal momentum durumlarındaki nükleer geometriler ve deformasyonlar, fisyon zaman skalası ve isospin karışım oranları hakkında bilgiler edinilebilmektedir. Dev dipol rezonans görüldüğü üzere özel bir çalışma alanıdır ve dev dipol rezonans uyarılmalar, bu uyarılmalara ait olan indirgenmiş geçiş olasılıkları $B(E1)$, integre edilmiş tesir kesitleri, radyasyon kalınlıkları, nötron-proton seviye yapıları, fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi uzun zamandan beri araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bununla birlikte teknolojinin gelişimine paralel olarak deneysel dipol fiziği çalışma alanını 0-4 MeV aralığında yer alan low-lying uyarılmalardan, yaklaşık 4-8 MeV

enerji aralığındaki pigme enerji bölgesine genişletmiştir. Bu çalışmalarda pigme dipol rezonansın doğasını anlamak için daha çok nötron zengini çekirdeklere yoğunlaştırılmıştır. Parçacık-boşluk simetrisine sahip bu çalışmada araştırılan çekirdekler için bu bağlamda çalışma bulunmaması, bu çekirdeklerde bu modun doğasının ne şekilde olduğu konusunda merak uyandırmaktadır.

Yukarıdakilerden hareketle parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çiftlerinin elektrik dipol uyarılma fenomenlerinin elde edilip karşılaştırılmasıyla bu çalışmada aşağıdaki araştırma sorularına cevap aranmaya çalışılmıştır:

1. Parçacık boşluk simetrisine sahip çekirdeklerde yrast bantın alt enerji seviyelerinde görülen benzer seviye yapısı sınırları nereye kadardır?
2. Parçacık boşluk simetrisine sahip çekirdeklerde düşük enerjili elektrik dipol temel seviye özellikleri nasıldır?
3. Araştırılan çekirdeklerden bazıları kararlılık eğrisinin nötron eksiği (Neutron deficient) bölümünde yer almaktadır. Pigme dipol rezonans nötron eksiği olan parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdeklerde nasıl bir durum sergilemektedir?
4. Elektrik dev dipol rezonans uyarılmaları parçacık boşluk simetrisi gösteren pseudo-ayna çekirdeklerde nasıldır?

Bu çalışmada yukarıda verilen araştırma sorularını cevaplamak için aşağıdaki işlemler yapılmıştır;

1. İlk olarak parçacık boşluk simetrisine sahip çift-çift deforme pseudo-ayna çekirdekler için elektrik dipol uyarılmaların $K = 0$ ve $K = 1$ kolları için TGI-QRPA modeli kullanılarak modun sistematik özelliklerinden,
 - Taban durumdan uyarılmış durumlara E1 geçişleri için $B(E1)$ elektrik dipol geçiş ihtimalleri ve $\sum B(E1)$ toplam indirgenmiş elektrik dipol geçiş ihtimali,
 - ω_i enerjileri ve elektrik dipol mod uyarılmalarının ortalama rezonans enerjileri,
 - Enerjiye bağlı $\Gamma(E1)$ ve enerjiden bağımsız taban durum elektrik dipol radyasyon kalınlıkları,

- σ fotoabsorbsiyon tesir kesitleri,
 - Nötron-proton seviye yapısının araştırıldığı analitik hesaplamalar yapılmıştır.
2. Teorik hesaplamalar sonucunda elde edilen formüller Visual Fortran bilgisayar programına aktarılmıştır.
3. Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek ikililerini karşılaştırmadan önce ^{132}Ce , ^{132}Nd , ^{136}Nd , ^{132}Sm , ^{134}Sm , ^{136}Sm , ^{158}Dy , ^{160}Dy , ^{162}Dy , ^{160}Er , ^{166}Er , ^{160}Yb , ^{162}Yb , ^{164}Yb , ^{170}Yb , ^{160}Hf , ^{164}Hf , ^{166}Hf , ^{168}Hf , ^{170}Hf , ^{164}W çekirdeklerinin ayrı ayrı elektrik dipol uyarılmalarının aşağıdaki özellikleri teorik olarak araştırılmıştır:
- İncelenen çift-çift deforme çekirdekleri deformasyon, gap ve izovektör dipol-dipol uyarılmaları için güç parametrelerinin belirlenmesi,
 - Elektrik dipol spektrumunun farklı enerji aralıklarında yerleşen spektroskopik bölge low-lying, pygme dipol rezonans ve dev dipol rezonans bölgelerindeki taban durumdan uyarılmış durumlara E1 geçişleri için B(E1) indirgenmiş elektrik dipol geçiş ihtimallerinin $K=0$ ve $K=1$ dalları için hem her bölge içinde ayrı ayrı hem de bölgeler arasında karşılaştırılması,
 - Elektrik dipol spektrumunun farklı enerji aralıklarında yerleşen spektroskopik bölge low-lying, pygme dipol rezonans ve dev dipol rezonans bölgelerinde farklı dallar için indirgenmiş geçiş olasılığının enerjiye bağlılığının incelenmesi,
 - Tüm çekirdekler için fotoabsorbsiyon tesir kesitinin enerjiye bağlılığının sistematığının belirlenmesi,
 - Dipol-dipol kuvvetlerinin ürettiği yüksek enerjili izovektör karakterli kolektif 1^- seviyelerin radyasyon kalınlıklarının belirlenmesi,
 - $\Delta K = 0$ ve $\Delta K = 1$ geçişlerinin toplam indirgenmiş elektrik dipol radyasyon kalınlığına katkısının incelenmesi,

- Tüm çekirdekler için nötron-proton seviye yapılarının, elektrik dipol spektrumunun farklı enerji aralıklarında yerleşen spektroskopik bölge low-lying, pygme dipol rezonans ve dev dipol rezonans bölgelerindeki uyarılmalar için belirlenmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır.

4. Parçacık-boşluk simetrisine sahip $130 \leq A \leq 170$ kütle bölgesinde yer alan, $N_p N_n$ pseudospin kuplajı kullanılarak eşleştirilen $^{132}\text{Sm}-^{164}\text{Yb}$, $^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$, $^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$, $^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$, $^{132}\text{Ce}-^{164}\text{W}$, $^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$, $^{166}\text{Hf}-^{162}\text{Yb}$, $^{168}\text{Hf}-^{160}\text{Er}$, $^{170}\text{Yb}-^{160}\text{Dy}$, $^{170}\text{Hf}-^{158}\text{Dy}$ ve $^{166}\text{Er}-^{162}\text{Dy}$ pseudo ayna çekirdek ikililerinin dev dipol rezonans uyarılma özellikleri, elektrik taban hal, pigme dipol rezonans özellikleri ve pseudo ayna çekirdeklere ait $B(E1)$ değerleri arasındaki ilişki karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın teorik tabanını oluşturan, serbest parametre içermeyen TGI-QRPA; HFB yaklaşımları nedeniyle tek parçacık hamiltoniyenin kırılan öteleme ve Galileo simetrisini restore eden, ortalama alanla öz uyumlu olan, efektif kuvvetleri içermektedir. Bu kuvvetler ile öteleme ve Galileo simetrilerinin kırılması ile ortaya çıkan ve $E1$ uyarılmalarına karışan sahte haller tam olarak giderilmiştir.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Teknolojinin gelişimine paralel olarak nükleer yapının özelliklerini ve nükleonlar arasındaki temel etkileşimleri açıklamak için son yıllarda farklı yazılımlar, farklı kodlar kullanılmakta, teoriler ve deney sistemleri geliştirilmektedir. Deneysel yaklaşımın en temel uygulaması, bir çekirdeğin dış etkiye maruz bırakılmasıdır. Bu etkiye çekirdeğin verdiği tepki sonucu meydana gelen nükleer uyarılmaların incelenmesi, çekirdeğin yapısı ve nükleer bağlanma konularında değerli bilgiler sağlamaktadır. Nükleer uyarılmalar neticesinde çekirdeğin uyarılmış seviyelerine ait elde edilen verilerin parçacık-boşluk simetrisinin bir fonksiyonu olarak araştırılması nükleer yapı fiziğinin temel işlerinden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdek çiftleri ile ilgili günümüze kadar yapılan çalışmalarda yalnızca yrast bant üzerinde yer alan elektrik kuadrupol geçişlerin özelliklerine odaklandığı ve bu çekirdeklerde elektrik dipol ($I^\pi = 1^-$) geçiş özelliklerinin şimdiye kadar incelenmediği görülmektedir. Yapılmış olan çalışmalarda parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdek çiftlerinde düşük enerjili uyarılmış enerji

seviyelerinin birbirine benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Elektrik dipol uyarılmaları, çekirdeğin temel özellikleri, deformasyonu, nükleer astrofizik için değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu çalışmada parçacık boşluk simetrisine sahip çekirdeklerde benzer seviye yapısının sınırları, daha üst enerji seviyelerine yerleşen elektrik dipol uyarımlara kadar genişletilerek, nereye kadar devam ettiği araştırılmıştır. Bu tez kapsamında periyodik tablonun aktinitler ve geçiş metalleri bölgelerinde yer alan çift kütle numaralı parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdeklerin elektrik dipol uyarılmaları, $K = 0$ ve $K = 1$ dalları için ayrı ayrı, ortalama potansiyelin kırılan simetrisinin restore edildiği Öteleme ve Galileo Değişmez Kuaziparçacık Rastgele Faz Yaklaşımı (TGI-QRPA) model ile teorik olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte deneysel veriler ile oldukça uyumlu sonuçlara ulaşılan TALYS ve EMPIRE reaksiyon kodları kullanılarak fotoabsorbsiyon tesir kesiti verileri elde edilerek TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



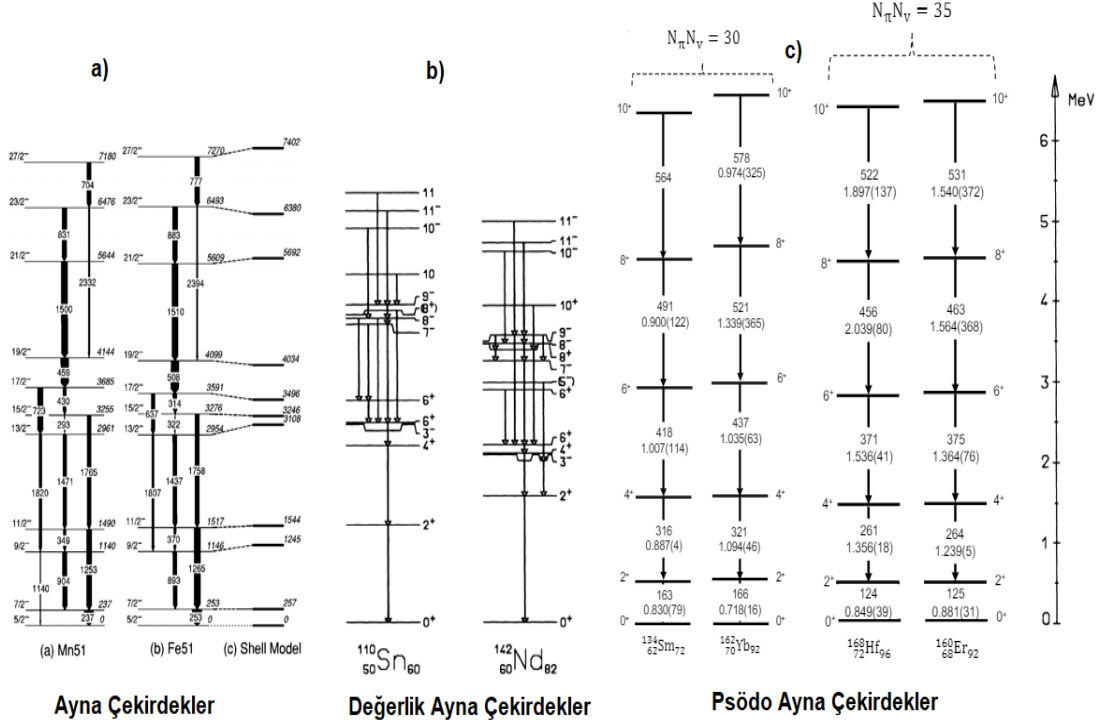
2. PSEUDO AYNA ÇEKİRDEKLER VE DİPOL UYARILMALAR

2.1. Pseudo-Ayna Çekirdekler

Çekirdek içerdiği fermiyonların meydana getirdiği karmaşık yapıdan dolayı tek bir nükleer teori ile ele alınamamaktadır. Fakat, bu karmaşık yapılar simetriler yardımı ile daha basit hale indirgenmektedir. İzospin kavramı bunlardan birisi olarak Heisenberg tarafından ortaya atılmıştır (Heisenberg, 1932). Burada, nötron ve protonları aynı nükleonların farklı kuantum durumları olarak tanımlamıştır. İzospin simetrileri ilk olarak ayna çekirdeklerde karşımıza çıkmaktadır. Şekil 2.1 (a)'da ${}^{51}_{25}\text{Mn}_{26} - {}^{51}_{26}\text{Fe}_{25}$ çekirdekleri için seviye şemaları gösterilmektedir. ${}^{51}_{25}\text{Mn}_{26} - {}^{51}_{26}\text{Fe}_{25}$ çifti son nötron ile son protonlarını değiştirmişler ve neredeyse dejenere uyarılma örgüleri ortaya koymuşlardır (Bentley ve Lenzi, 2007). Bunun nedeni, nükleer kuvvet altında nötron ve protonların simetrik olmasıdır. Valans ya da değerlik ayna çekirdekler izospin simetrisine örnek olan bir diğer yapıdır. Valans ayna çekirdek çiftlerine ${}^{110}_{50}\text{Sn}_{60} - {}^{142}_{60}\text{Nd}_{82}$ örnek verilebilir (Şekil 2.1(b)) (Yan ve ark, 1990). Valans ayna çekirdeklerinde çiftin birisi proton (nötron) kapalı kabuğunda otururken diğeri nötron (proton) kapalı kabuğunda oturmakta ve değerlik nötronları ile protonları yer değiştirmektedir. ${}^{110}_{50}\text{Sn}_{60}$ çekirdeği 10 adet değerlik nötrona sahip iken ${}^{142}_{60}\text{Nd}_{82}$ çekirdeği ise 10 adet değerlik protona sahiptir. Görüldüğü üzere her iki çekirdeğin sahip olduğu uyarılmış seviyeleri gösteren seviye şeması nerede ise dejenedir. Bu tarz çekirdeklerde eş spin-kuantum sayılarına sahip seviyelerin arasında meydana gelen ufak enerji farklılıkları fazladan protona sahip çekirdeğin fazladan Coulomb itmesinden kaynaklanmaktadır.

Parçacık-hol sayısı simetrisine sahip çekirdekler izospin simetrisinin görüldüğü diğer bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çekirdeklere pseudo-ayna çekirdekler de denmektedir. Ayna ve valans ayna çekirdeklerde görülen parçacık değişiminden farklı olarak pseudo-ayna çekirdeklerde parçacık – hol değişimi söz konusudur. Karşılıklı olarak çekirdeklerin proton boşluk (parçacık) ile nötron parçacık (boşluk) yerdeğiştirmesinin bir sonucu olarak çekirdekler eş nükleer seviyeler meydana getirmektedirler. Şekil 2.1(c)'de ${}^{134}_{62}\text{Sm}_{72} - {}^{162}_{70}\text{Yb}_{92}$ çekirdekleri gösterilmektedir. Bu

çekirdeklerden $^{134}_{62}\text{Sm}_{72}$, en yakın kapalı kabuğa göre 10 proton parçacığı ve 10 nötron boşluğuna sahip iken $^{162}_{70}\text{Yb}_{92}$ 10 proton boşluğu ve 10 nötron parçacığına sahiptir. Literatürde yapılan çalışmalarda, bu simetrimin bir neticesi olarak yrast bantta 10^+ spin-kuantum sayısına kadar birbirine denk gelen seviyelerin enerji değerlerinin dejenere olduğu görülmüştür (Saygı, 2018a, 2018b, 2018c, 2019).



Şekil 2.1. (a) Ayna, (b) Valans (Değerlik) Ayna ve (c) Pseudo Ayna Çekirdekler (Bentley ve Lenzi, 2007; Saygı, 2018c; Yan ve ark, 1990).

Casten yayınlamış olduğu bir seri makalede (Casten ve ark, 1990; Casten ve Zamfir, 1996; Casten, 1985, 2018) çift-çift çekirdeklerin enerji sistematiğini tek bir çatı altında toplama girişiminde bulunmuş ve $E(4+)/E(2+)$ enerji değerlerinin $N_p N_n$ niceliğinin bir fonksiyonu olarak ele alındığında, bu sistematiğin oldukça basitleştiğini göstermiştir. $N_p N_n$ niceliği, en yakın kapalı kabuktan sayılan N_n nötron parçacığı ya da boşluğu ile N_p proton parçacığı ya da boşluğunun çarpımı ile bulunmaktadır. Kapalı kabukların 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 nükleon sayılarına sahip olduğu bilinmektedir. Bu sayıların tam ortasında bulunan sayılar orta değer olarak parantez içindeki gibi verilir; 2, (5), 8, (14), 20, (39), 50, (66), 82, (104), 126. $N_p N_n$ sayıları bulunurken bu kapalı kabuk ya da orta değerlere göre parçacık ya da boşluk durumları belirlenir. Örneğin ^{102}Mo ve ^{134}Nd çekirdekleri için bu durumu şöyle izah edebiliriz;

- ^{102}Mo 'un proton sayısı 42'dir. 42 proton sayısı kapalı kabuklar olan $Z = 28$ ile $Z = 50$ arasında kalmaktadır ve $Z = 39$ orta değer sayısının üzerindedir. Bu durumda, 42 proton sayısının bir üst kapalı kabuk olan $Z = 50$ ' ye göre durumuna bakılır. $Z=50$ 'den aşağı doğru sayılır ve $N_p = 8$ boşluk olarak not edilir.
- ^{102}Mo için nötron sayısı 60'tır. 60 nötron sayısı $N = 50$ ile $N = 82$ kapalı kabukları arasında yer almaktadır. Nötron sayısı, $N = 66$ orta değer altında olmasından dolayı, en yakın kapalı kabuk olan, $N = 50$ 'den yukarı doğru sayılarak $N_n = 10$ parçacık not edilir.
- Böylece ^{102}Mo için $N_p N_n$ niceliği N_p ve N_n sayılarının çarpımıyla 80 olarak bulunur.
- ^{134}Nd 'un proton sayısı 60'dır. 60 proton sayısı kapalı kabuklar olan $Z = 50$ ile $Z = 82$ arasında kalmaktadır ve $Z = 66$ orta değer proton sayısının altındadır. Bu durumda, 60 proton sayısının alt kapalı kabuk olan $Z = 50$ ' ye göre durumuna bakılır. $Z=50$ 'den yukarı doğru sayılır ve $N_p = 10$ parçacık olarak not edilir.
- ^{134}Nd 'un nötron sayısı 74'tür. 74 nötron sayısı $N = 50$ ile $N = 82$ kapalı kabukları arasında yer almaktadır. Nötron sayısı, $N = 66$ orta değer üzerinde olmasından dolayı $N = 82$ 'den aşağı doğru sayılarak $N_n = 8$ boşluk not edilir.
- Böylece ^{134}Nd için $N_p N_n$ niceliği N_p ve N_n sayılarının çarpımıyla 80 olarak bulunur.
- ^{102}Mo ve ^{134}Nd eşit $N_p N_n=80$ sayısı ile, parçacık boşluk simetrisine sahip, pseudo-ayna çekirdek çiftidirler.

$N_p N_n$ niceliği aynı zamanda nötron-proton etkileşmesinin bir ölçüsüdür ki bu da kapalı kabuğun ardında meydana gelen deformasyona neden olan etki olarak karşımıza çıkmaktadır. Casten'in ortaya attığı bu sistematik ile birlikte eğer $N_p N_n$ sayıları aynı olan çekirdeklerin $E(4+)/E(2+)$ oranları da aynı ise bu iki çekirdeğin nükleer yapılarının benzer olduğu iddia edilmektedir. Casten bu sistematığı oluştururken alt kapalı kabukları hesaba katarak nükleer periyodik tabloda yer alan birçok çekirdek için $E(2+)$, $E(4+)/E(2+)$ ve $B(E2; 2+ \rightarrow 0+)$ niceliklerini analiz etmiş ve bir sistematik

meydana getirmiştir. $N_p N_n$ sistematığı aslen parçacık-boşluk simetrisine dayanmaktadır ve $N_p N_n$ hesaplanırken boşluk – boşluk ya da parçacık – parçacık sayıları alındığı zaman herhangi bir sistematik davranış gözlenmemektedir. Bu ölçekleme özellikleri, parçacık veya boşluk karakterlerinden bağımsız olarak, proton ve nötron çiftleri arasında etkili olan proton-nötron kuvvetinin önemini açıkça yansıtmaktadır (Heyde ve ark, 1992).

Moscrop ve ark. (1988), Casten tarafından üretilen bu sistematığı ele almış ve çekirdeklere farklı bir pencereden bakmışlardır. Casten ile Moscrop tarafından yapılan çalışmalar arasındaki temel fark şöyle tarif edilebilir; Casten $N_p N_n$ sistematığını yatay bir pencereden ele alırken Moscrop ve arkadaşları bu sistematığa dikey bir pencereden bakmışlardır. Moscrop ve ark. (1988) kütle bölgesi $100 \leq A \leq 130$ 'da yer alan 12 çekirdek üzerine yapmış oldukları araştırma neticesinde aynı $N_p N_n$ sayısına sahip çekirdeklerin seviye şemalarının dejenere olduğunu ortaya koymuşlardır. Aynı $N_p N_n$ sayısına sahip ve Şekil 2.1 (c)'deki gibi simetrik seviyelere sahip çekirdek çiftleri ya da üçlülerine Pseudo-ayna çekirdekler (Pseudo Mirror Nuclei- PMN) adını da Moscrop ve arkadaşları vermiştir. Bu simetrinin nedeni nükleer kuvvetin ayna ve değerlik ayna çekirdeklerinde olduğu duruma ek olarak nötron/proton parçacıklarına ait boşluklar içinde bir ayırım gözetmediğini göstermektedir. Diğer bir ifade ile ilgili holler de nükleer kuvvet altında simetriktir. Moscrop'un yapmış olduğu çalışmalar literatür ve nükleer yapı çalışmaları açısından önemli fakat o dönemin koşulları ele alındığı zaman sınırlıdır, zira pseudo ayna çekirdeklerin indirgenmiş geçiş olasılıkları hakkında herhangi bir bilgi vermemektedir ve kütle bölgesi $100 \leq A \leq 130$ dışına çıkmamıştır.

Yapılan son dönem çalışmalar $E(4^+)/E(2^+)$ niceliğinin çekirdeğin yapısı hakkında önemli bir indikatör olduğu ama indirgenmiş geçiş olasılıkları $B(E2; 4^+ \rightarrow 2^+)/B(E2; 2^+ \rightarrow 0^+)$ oranının nihai kararı vermemizde daha önemli olduğunu göstermektedir. Literatürdeki bu eksikten yola çıkarak, son zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalar ile pseudo ayna çekirdekleri kütle bölgesi $100 \leq A \leq 200$ aralığına genişletilmiş ve ek olarak yrast bantta yer alan 10^+ spin-kuantum seviyelerine kadar $B(E2)$ değerleri sistematik olarak taranmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı kütle bölgelerinde yer alan parçacık-hol simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdekler için $B(E2)$ indirgenmiş geçiş olasılıkları arasında aşağıdaki gibi bir sistematik bulunmuştur (Saygı, 2018a, 2018b, 2018c, 2019):

$$\begin{aligned}
B(E2; L^+ \rightarrow (L-2)^+) A &\equiv 130 / B(E2; L^+ \rightarrow (L-2)^+) A \equiv 100 \equiv 2 \\
B(E2; L^+ \rightarrow (L-2)^+) A &\equiv 160 / B(E2; L^+ \rightarrow (L-2)^+) A \equiv 100 \equiv 2 \\
B(E2; L^+ \rightarrow (L-2)^+) A &\equiv 160 / B(E2; L^+ \rightarrow (L-2)^+) A \equiv 160 \equiv 1
\end{aligned} \tag{2.1}$$

Burada üç maddede özetlenen sonuçlar ile nükleer kararlılık eğrisinin çok farklı bölgelerinde yer alan çekirdeklerin benzer özellikler ya da sistematik davranışlar göstermesi nükleer yapı fiziği açısından önemlidir. Pseudo-ayna çekirdeklerin düşük enerji bölgesinde simetrik bir yapı göstermesi kuadropol – kuadropol etkileşim Hamiltonyeni yazıldığı zaman anlaşılmaktadır. Öz-uyumlu Hartree-Fock Hamiltonyeni (Dobaczewski ve ark, 1988)

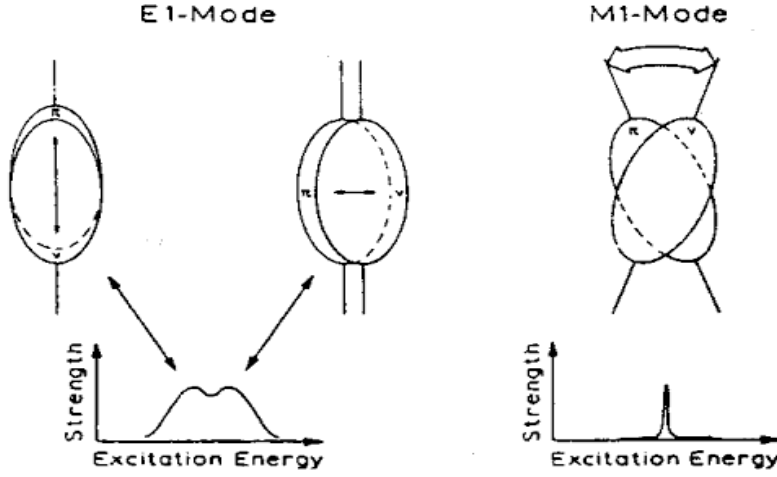
$$H = H_0 + \frac{1}{2} \kappa_{nn} \hat{Q}_n \hat{Q}_n + \frac{1}{2} \kappa_{pp} \hat{Q}_p \hat{Q}_p + \kappa_{pn} \hat{Q}_p \hat{Q}_n \tag{2.2}$$

olarak yazılabilir ve burada H_0 küresel tek parçacık Hamiltonyeni, κ 'lar çiftlenim sabitleri, $\hat{Q}_n \hat{Q}_n$ terimi nötron-nötron etkileşimi, $\hat{Q}_p \hat{Q}_p$ terimi proton-proton etkileşimi ve $\hat{Q}_p \hat{Q}_n$ terimi de proton-nötron etkileşim terimleridir. κ 'lar arasındaki ilişki ise şöyle verilmektedir; $5\kappa_{nn} = 5\kappa_{pp} = \kappa_{pn}$. κ 'lar arasındaki ilişki, Hamiltonyendeki baskın terimin proton-nötron etkileşmesi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, farklı bölgelerde yer almalarına rağmen eşit sayıda valans parçacık-hol içeren çekirdeklerin simetrik özellikler göstermesi pseudo ayna çekirdeklerde çekirdek korunum nükleer yapıya ve deformasyona müdahale etmediğini ortaya koymaktadır bu da Rowe'un süperakışkan modelini desteklemektedir (Rowe, 1970). Çekirdeğin yapısı valans proton ve nötronlar ile ilgili hollerin kolektif hareketinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

2.2. Dipol Uyarılmalar

Nükleer yapının sıkıştırılmaz akışkan özelliği nedeniyle, çekirdek üzerine uygulanan uyarılmalar çekirdeğin şeklinin dalgalanmasına yol açar. Kolektif titreşimler incelendiğinde, çekirdeğin şekli yüzey parametreleri üzerinden anlaşılabilir. Yüzeyin açısız momentumuna (L) göre tanımlanacak olursa, dipol ($L=1$) uyarılmalar nükleer akışkanın merkezinin genel bir ötelenmesine karşılık gelir. Nötron ve proton akışkanlarının birbirine karşı titreştiği kolektif izovektör mod buna bir örnektir (Walet, 2010). Spini (I) 1 olan dipol uyarılmaların pariteleri göz önünde bulundurulduğunda iki türü bulunmaktadır. Paritesi (+) olanlar manyetik ($I^\pi = 1^+; M1$), (-) olanlar ise

elektrik ($I^\pi = 1^-$; E1) dipoldür (Bohr ve Mottelson, 1998) (Şekil 2.2). Her iki nükleer dipol uyarılma, nükleer yapı modellerinin test edilmesine olanak tanımaktadır (Pietrella ve ark, 1997).



Şekil 2.2. Atomik çekirdeğin elektrik (E1) ve manyetik (M1) dipol uyarılmaları (Iudice, 1992).

Atom çekirdeği, etkileşim halindeki nükleonların oluşturduğu karmaşık bir kuantum sistemidir. Atom çekirdeğinin yapısını anlamak için elektromanyetik radyasyonla uyarım önemlidir. İzotop eğirisindeki çekirdeklerden özellikle kararlı yapıda olanlara foton gönderilmesiyle meydana gelen foto-nükleer reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir (Berman ve Flutz, 1975). Bu reaksiyonlarda, çekirdeklerin fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinde, nükleon eşik enerjisinin üzerindeki enerji aralığında (8-30 MeV) geniş bir maksimum, dev dipol rezonans (GDR), gözlenmiştir (Ishkhanov ve Troshchiev, 2011). Elektrik dipol rezonanslar, nötron ve proton sistemlerinin kütle merkezlerinin birbirine karşı yaptığı titreşimler sonucu meydana gelir (Baldwin ve Klaiber, 1947; Goldhaber ve Teller, 1948). Atom çekirdeği, etkileşen nükleonların oluşturduğu karmaşık bir kuantum sistemidir.

GDR, elektrik dipol uyarılmalarla oluşmaktadır. Makroskopik bakış açısıyla çekirdekteki iki farklı nükleon grubunun birbirlerine karşı titreşimidir. Burada, nötron ve proton sistemlerinin kütle merkezleri birbirine karşı titreşir (Baldwin ve Klaiber, 1947; Goldhaber ve Teller, 1948). Mikroskopik bakış açısıyla ise parçacık-boşluk (p-h) seviyelerinin uyumlu süperpozisyonudur (Harakeh ve Woude, 2001; Oishi ve ark, 2016; Varlamov ve ark, 1999). Elektrik dipol uyarılma spektrumunda GDR'ye ek olarak PDR ve diğer elektrik dipol uyarılmalar da yer alır (Şekil 2.3).

Cüce dipol rezonans (Pygmy Dipol Rezonans-PDR), GDR uyarılmalarının bulunduğu enerji bölgesinin başlangıcına yakın olan nükleon bağlanma enerjisi civarındaki enerjilerde bulunan bir elektrik dipol uyarımıdır. GDR spektrumunun şiddetine göre oldukça düşük şiddete sahip olduğu için soft E1, cüce (pygmy) olarak ifade edilmektedir (Paar ve ark, 2007; Ponomarev, 2014). Bu uyarımlarda, çekirdeğin korunun, çekirdekdeki nötron fazlalığına karşı titreşiminden kaynaklanabileceği öngörülmektedir (Avdeenkov ve Kamerdzhev, 2008; Wieland ve Bracco, 2011).

1990'ların sonlarından itibaren birçok farklı deneysel yöntem kullanılarak (NRF deneylerinde) PDR mod küresel çekirdeklerden; $^{16-22}\text{O}$ izotoplarında (Leistenschneider ve ark, 2001; Tryggestad ve ark, 2002), ^{26}Ne (Gibelin, 2009), ^{48}Ni (Degener ve ark, 1990), ^{56}Fe (Bauwens ve ark, 2000), $^{70,72,74,76}\text{Ge}$ izotoplarında (Jung ve ark, 1995), ^{76}Se (Goddard ve ark, 2013) çift-çift $^{94-100}\text{Mo}$ izotoplarında (Derya ve ark, 2013; Erhard ve ark, 2010; Romig ve ark, 2013; Rusev ve ark, 2006, 2009), çift-çift $^{105-108}\text{Pd}$ izotoplarında (Eriksen ve ark, 2014), $^{133,134}\text{Sb}$ izotoplarında (Klimkiewicz ve ark, 2007) ve ^{136}Ba izotopunda (Massarczyk ve ark, 2012) incelenmiştir. Bunun yanında, $^{40,44,48}\text{Ca}$ izotoplarında (Hartmann ve ark, 2000; Isaak ve ark, 2011), $^{60,68}\text{Ni}$ izotoplarında (Scheck ve ark, 2013; Wieland ve ark, 2009), $^{112,116,117,120,121,124}\text{Sn}$ izotop zincirinde (Endres ve ark, 2010, 2012; Govaert ve ark, 1998; Govaert 1994; Neumann ve Cosel, 2010; Özel, ve ark, 2009; Toft ve ark, 2011; Utsunomiya ve ark, 2009) ve $^{129-133}\text{Sn}$ izotoplarında (Adrich ve ark, 2005; Klimkiewicz ve ark, 2007), ^{140}Ce (Savran, ve ark, 2011), ^{142}Nd (Volz ve ark, 2006), ^{144}Sm (Savran ve ark, 2011; Volz ve ark, 2006) izotoplarında PDR mod gözlemlenmiştir (Aumann, 2005; Kneissl ve ark, 2006; Savran ve ark, 2013). Birçok farklı teorik yaklaşımla ve deneylerle PDR mod küresel, yarı-sihirli ve sihirli çekirdeklerde incelenmiş olup bu çalışmada yer alan bazı nötron fakiri olan parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdekler için henüz bir çalışma yapılmamıştır.

Çekirdeğin şekli, kolektif hareketini etkileyen önemli bir faktördür. Deforme çekirdeklerde, elektrik dipol dev rezonansın pikinin ikiye bölünmesi, bu etkinin belirgin bir örneğidir. Deformasyona uğramış bir nükleer sistemin, ana eksenler boyunca meydana gelen yarıçap değişimi, bir frekans kaymasıyla sonuçlanır. Bu kayma, $K=0$ ve $K=1$ olmak üzere iki ayrı K değerine karşılık gelen rezonansın ikiye bölünmesi şeklinde gözlenir (Iudice, 2000; Bortignon, 2003). Bu yüzden, deforme çekirdeklerdeki elektrik dipol sistematığının incelenmesinde K modları önem taşır.

Elektrik dipol uyarılmaların incelenmesinde çeşitli modeller kullanılmıştır. Bu modeller, gittikçe kapsamlılığın arttığı bir sıralamayla şunlardır:

1. Ortalama Alan (Mean Field): Ortalama tek parçacık potansiyelinin ampirik olarak ya da Hartree-Fock metoduyla efektif nükleon-nükleon etkileşiminden elde edildiği yaklaşımdır. Bu model, 1 parçacık-1 boşluk uyarılmalarını açıklarken, çift parçacık uyarılmaları, koherent uyarılmalar ve kolektiviteyi açıklayamamaktadır (Lacroix ve ark, 2004; Ring ve Schuck, 2004).
2. Tamm-Dancoff Yaklaşımı (TDA): Bu modelde sadece uyarılmış durumların kuazi parçacık etkileşimi hesaba katılmış, taban durumuna değinilmemiştir. Taban durumundaki etkileşmelerin göz ardı edilmesi, bu yöntemin eksik yönlerinden biri olmuştur.
3. Rastgele Faz Yaklaşımı (RPA): TDA modelindeki eksikliği düzelterek, kuazi parçacıkların etkileşimlerini göz önüne alan bir yaklaşımdır. Bu model, ortalama alan yaklaşımına göre daha kapsamlıdır.
4. Kuaziparçacık Rastgele Faz Yaklaşımı (QRPA): Çiftlenim ve deformasyonu göz önünde bulunduran bu yaklaşım, enerji merkezleri, kolektif seviyeler, rezonans genişliği ve deformasyon etkisini açıklaması bakımından elektrik dipol uyarılmalarını en kapsamlı şekilde açıklayan mikroskopik yaklaşımlardan biridir.

Yoshida ve Nakatsukasa (2011), QRPA metodunu kullanarak neodimyum ve samaryum çekirdeklerinin $K=0$ ve $K=1$ modları için fotoabsorpsiyon tesir kesitlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, Hartree-Fock-Bogoliubov yaklaşımı temelinde ve Skyrme enerji yoğunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Yoshida ve Nakatsukasa'nın çalışması, özellikle deforme çekirdeklerdeki elektrik dipol rezonanslarının detaylı incelenmesine ve bu rezonansların $K=0$ ve $K=1$ modlarıyla olan ilişkilerinin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Bu tür teorik çalışmalar, deneysel verilerin yorumlanmasında ve yeni deneylerin planlanmasında kritik öneme sahiptir. Oishi ve ark. (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise Skyrme nükleer yoğunluk fonksiyon teorisi çerçevesinde ve sonlu genlik metodu (finite amplitude method) kullanılarak $K=0$ ve $K=1$ için çift çift $^{152-164}\text{Gd}$, $^{156-164}\text{Dy}$, $^{162-174}\text{Er}$, $^{168-178}\text{Yb}$, $^{174-184}\text{Hf}$, $^{180-190}\text{W}$ izotopları için fotoabsorpsiyon tesir kesitleri hesaplanmıştır. Kuliev ve ark. (2001) tarafından yapılan çalışmada dev dipol rezonans modeli çiftlenim

kuvvetlerinin Galileo değişmezliği dikkate alınarak Pyatov-Salamov methodu kullanılarak deformasyon limitindeki küresel çekirdekler ^{128}Te , ^{140}Ce , ^{138}Ce için entegre edilmiş tesir kesitleri ve $B(E1)$ değerleri hesaplanmıştır. Sarchi ve ark. (2004) ^{208}Pb , ^{120}Sn ve ^{132}Sn çekirdekleri için fonon çiftlenimli quazi parçacık rastgele faz yaklaşımı (QRPA-PC) metodunu kullanarak buldukları fotoabsorbsiyon tesir kesitlerini deneysel değerleri ile karşılaştırmıştır. Ayrıca bu çalışmada aynı çekirdeklerin merkezi enerjilerini QRPA ve QRPA-PC kullanarak karşılaştırılmıştır.

Tüm bu çalışmalarda QRPA temelinde ya küresel çekirdekler ele alınmış ya da deforme çift çift çekirdeklerde dev rezonansların sadece tesir kesitleri incelenerek modun diğer özellikleri ile ilgili herhangi teorik bir araştırma yapılmamıştır. Aynı zamanda bu çalışmalarda geçiş çekirdekleri için fazla sayıda parametre kullanılmış, PDR bölgesi çalışılmıştır. Bu çalışmada ilk kez GDR modunun özellikleri, QRPA metodu ile öteleme ve galileo değişmezlik çerçevesinde, deforme çekirdeklerde, yüksek enerji bölgesinde, teorik olarak incelenmiştir.

Mikroskobik QRPA metodunda kullanılan Hartre-Fock-Bogolyubov (HFB) yaklaşımı tek parçacık hamiltoniyenin sahip olduğu pek çok simetrinin kırılmasına neden olmaktadır (Kuliev ve ark, 2000). Kendiliğinden meydana gelen kırılan bu simetriler gerçek titreşim seviyelerine karışmakta olan enerjisi sıfır olan modlardır (Goldstone ve ark, 1962). Nükleer fizikte bu modlar “sahte (spurious) haller” olarak ifade edilmektedirler (Kuliev ve ark, 2000). $I^\pi = 1^-$ dipol seviyesinin sahte haller içermesi dolayısıyla çekirdeğin iç uyarılmalarını tam temsil etmediği çok iyi bilinmektedir (Feifrlık ve ark, 1968). Bu yüzden, bu sahte hallerin çıkarılması için çeşitli yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu yaklaşımlardan biri Pyatov ve Chernej (1972) tarafından Marshalek ve Weneser (1969) metodundan yola çıkılarak ileri sürülmüştür (Kuliev ve Pyatov, 1968; Pyatov, 1974; Pyatov ve Salamov, 1977). Bu yaklaşımda, çift-çift çekirdek Hamiltoniyenin izoskaler etkin kuvvet radyal kısmı ayrılabilir bir şekilde seçilmiştir. Fakat, restorasyon kuvvetlerinin tamamen izoskaler olmaması bu yaklaşımın da geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Kuliev ve ark. (2000) tarafından yalnızca izoskaler değil aynı zamanda izovektor terimlerin bulunduğu çekirdek ortalama alan potansiyeli için genelleştirilmiş çift-çift çekirdeklerde kırılan öteleme ve dönme simetrisinin onarılması için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, ekstra bir etkileşme parametresi eklenmeden Hamiltoniyenin öteleme ve galileo değişmezliğini restore edecek olan izoskaler ve izovektör restorasyon kuvvetleri efektif ve ortalama

alan ile öz uyumlu olarak seçilmiş, kolektif 1^- seviyelerinin özellikleri hesaplanmıştır. Ertuğral ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ortalama alan potansiyelinde simetri kırınımlarını restore edici etkin kuvvetlerin seçilmesiyle elde edilen sonuçların ne denli önemli olduğu başarılı bir şekilde tartışılmıştır. Aynı yöntem ile çift-çift deforme çekirdeklerin manyetik ve elektrik dipol uyarılmalarının araştırıldığı çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Ertuğral ve ark, 2007; Guliev ve ark, 2006, 2009a, 2009b, 2013; Kuliev ve ark, 2000a, 2002b, 2010c).

TGI-QRPA yaklaşımıyla, parçacık b oşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çiftlerinin yüksek enerji bölgesinde şimdiye kadar herhangi bir çalışma yapılmamış olması bu çalışmayı yapılmış olan çalışmalardan ayırmaktadır. Bununla birlikte izotop eğrisinin farklı yerlerinde bulunan bu çekirdeklerin tesir kesitleri, momentleri, enerjiye bağlı ve enerjiden bağımsız radyasyon kalınlıkları, deformasyon parametreleri, geçiş olasılıklarının hesaplanmasıyla çalışma sonuçlarının gelecek çalışmalara ilham olacağı düşünülmektedir. Deforme çekirdeklerde dipol uyarılmaların $K=0$ ve $K=1$ modlarının yanı sıra, pozitif veya negatif paritelere sahip farklı dallarının bulunması, gözlemlenen dipol seviyelerinin karakterini belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Bu seviyelerin enerji spektrumunda hangi bölgelere yerleşmeleri gerektiği ve toplam dipol gücüne katkılarının teorik olarak belirlenmesi, deney sonuçlarının yorumlanmasını büyük ölçüde kolaylaştırır ve seviyelerin karakterlerinin tespitinde önemli bir rol oynar.

.



3. YÖNTEM

3.1. NpNn Pseudospin Kuplajı

Çalışmada araştırılan ^{132}Ce , ^{132}Nd , ^{136}Nd , ^{132}Sm , ^{134}Sm , ^{136}Sm , ^{158}Dy , ^{160}Dy , ^{162}Dy , ^{160}Er , ^{166}Er , ^{160}Yb , ^{162}Yb , ^{164}Yb , ^{170}Yb , ^{160}Hf , ^{164}Hf , ^{166}Hf , ^{168}Hf , ^{170}Hf , ^{164}W çekirdeklerinin NpNn değerleri, en yakın kapalı kabuktan sayılan Nn nötron parçacığı ya da boşluğu ile Np proton parçacığı ya da boşluğunun çarpımı ile bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Pseudo-ayna çekirdeklerin NpNn pseudospin değerleri.

Çekirdek	Z	N	Np	Nn	NpNn
^{132}Ce	58	74	50, (66), 82 50 ile 66 arasında 50 den sonrası sayılır Np=8(p)	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 öncesi sayılır Nn=8 (b)	NpNn=64
^{164}W	74	90	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=8(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=8 (p)	
^{132}Nd	60	72	50, (66), 82 50 ile 66 arasında 50 den sonrası sayılır Np=10(p)	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 öncesi sayılır Nn=10 (b)	NpNn=100
^{164}Hf	72	92	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=10(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=10 (p)	

Tablo 3.1. (Devamı) Pseudo-ayna çekirdeklerin NpNn pseudospin değerleri.

Çekirdek	Z	N	Np	Nn	NpNn
¹³⁶ Nd	60	76	50, (66), 82 50 ile 66 arasında 50 den sonrası sayılır Np=10(p)	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 öncesi sayılır Nn=6 (b)	NpNn=60
¹⁶⁰ Hf	72	88	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=10(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=6 (p)	
¹³² Sm	62	70	50, (66), 82 50 ile 66 arasında 50 den sonrası sayılır Np=12(p)	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 öncesi sayılır Nn=12 (b)	NpNn=144
¹⁶⁴ Yb	70	94	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=12(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında, 82 sonrası sayılır Nn=12 (p)	
¹³⁴ Sm	62	72	50, (66), 82 50 ile 66 arasında, 50'den sonrası sayılır Np=12(p)	50, (66), 82 66 ile 82 arasında, 82 öncesi sayılır Nn=10 (b)	NpNn=120
¹⁶² Yb	70	92	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=12(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=10 (p)	

Tablo 3.1. (Devamı) Pseudo-ayna çekirdeklerin NpNn pseudospin değerleri.

Çekirdek	Z	N	Np	Nn	NpNn
¹³⁶ Sm	62	74	50, (66), 82 50 ile 66 arasında 50 den sonrası sayılır Np=12(p)	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 öncesi sayılır Nn=8 (b)	NpNn=96
¹⁶⁰ Yb	70	90	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=12(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=8 (p)	
¹⁵⁸ Dy	66	92	50, (66), 82 66 orta kabukta, her iki kabuktan da sayılabilir Np=16(p)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=10 (p)	NpNn=160
¹⁷⁰ Hf	72	98	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=10(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında, 82 sonrası sayılır Nn=16 (p)	
¹⁶⁰ Dy	66	94	50, (66), 82 66 orta kabukta, her iki kabuktan da sayılabilir Np=16(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=12 (p)	
¹⁶⁸ Yb	70	98	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=12(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=16 (p)	NpNn=192

Tablo 3.1. (Devamı) Pseudo-ayna çekirdeklerin NpNn pseudospin değerleri.

Çekirdek	Z	N	Np	Nn	NpNn
^{162}Dy	66	96	50, (66), 82 66 orta kabukta, her iki kabuktan da sayılabilir Np=16(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=14 (p)	NpNn=224
^{166}Er	68	98	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=14(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=16 (p)	
^{160}Er	68	92	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=14(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=10 (p)	NpNn=140
^{168}Hf	72	96	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=10(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=14 (p)	
^{166}Hf	72	94	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=10(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=12 (p)	NpNn=120
^{162}Yb	70	92	50, (66), 82 66 ile 82 arasında 82 den öncesi sayılır Np=12(b)	82, (104), 126 82 ile 104 arasında 82 sonrası sayılır Nn=10 (p)	

Hesaplanan NpNn sayıları eşit, parçacık-boşluk simetrisine sahip olan çekirdekler pseudo-ayna çekirdek olarak çiftler halinde eşleştirilmiştir.

3.2. Simetri Kırınimleri, Sahte Haller ve Etkin Kuvvetler

Nükleer seviyelerin simetri özellikleri ve koruma yasaları, nükleer olayların analizinde önemli bir rol oynar. Bu simetri yasaları, uzay-zaman koordinat sisteminin dönüşümleriyle ilişkilendirilen değişmezlikten kaynaklanır. Sürekli dönüşümler altındaki bu değişmezlik, nükleer olayların incelenmesinde simetrilerin geçerliliğinin anlaşılmasına yardımcı olur. Simetri, karmaşık fiziksel sistemlerin tanımlanmasını kolaylaştırır ve davranışlarını anlamamıza yardımcı olur. Kuantum mekaniğinde, simetri, sistemin tanımlanması için belirleyici olan korunma yasalarıyla yakından ilişkilidir. Bir nükleer sistemde birçok simetri tanımlanmıştır ve simetri araştırmaları, fizik biliminin birçok alanında temel bir hedef olmuştur. Ancak, simetri kırılmaları, farklı ve yeni durumların ortaya çıkmasına neden olabilir.

Çekirdeğin incelendiği yaklaşımın özellikleri, simetri kırılmalarına neden olabilir. Bu çalışmada, çift-çift deforme çekirdeklerin mikroskopik olarak incelendiği yaklaşım Kuaziparçacık Rastgele Faz Yaklaşımıdır (QRPA). QRPA, Hartree-Fock-Bogolyubov (HFB) yaklaşımına dayandığı için tek parçacık hamiltoniyenin simetrisini bozmaktadır. Bu simetri kırılmaları, ortalama alan potansiyeliyle ilişkilendirilen bir şekilde kendiliğinden ortaya çıkar ve incelenen çekirdeğin mevcut titreşim seviyelerine, titreşim hareketinin dışında olan sıfır enerjili farklı seviyelerin (Goldstone modu) karışmasına neden olur. Bu karışan seviyeler, gerçek titreşim seviyeleri arasında yer aldıklarında sahte haller olarak adlandırılır.

Simetri kırınımı, çekirdeğin teorik olarak incelenen enerji spektrumu değerleri ile ilgili sonuçlarda doğruluğun bozulmasına neden olur. Daha sağlıklı sonuçlar elde etmek için, çekirdek enerji spektrumuna karışan bu sahte hallerin ayrılması gereklidir. Bu amaçla, Pyatov ve Chernej (1972) tarafından bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada, sahte hallerin ayrılması için ortalama alanda radyal kısmı ayrılan etkin kuvvetler izoskaler olarak seçilmiştir. Ayrıca, Kuliev ve ark. (2000) tarafından da farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, ortalama alandaki izovektör ve Coulomb potansiyelleri göz ardı edilerek, etkin kuvvetler yalnızca izoskaler alan için seçilmiş ve Pyatov'un yaklaşımı izovektör terimle geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, Ertuğral (2007)'ın çalışmasında, çift-çift deforme çekirdeklerin 2-4 MeV enerji bölgesindeki elektrik dipol özelliklerinin incelenmesinde Galileo değişmezliğin kırılmasının restorasyonunu sağlamak için kullanılmıştır. Bu çalışmada, izoskaler ve izovektör restore edici kuvvetlerin iki-kuaziparçacık eşik enerjisinin altındaki düşük enerjilerde

$I^\pi=1^-$ hallerinin yeni bir dalını ürettiği gösterilmiştir. Kuliev ve ark. (2000) yaklaşımı, hem elektrik hem de manyetik dipol uyarılmalarının incelendiği çalışmalarda başarıyla uygulanmıştır (Ertuğral ve ark, 2009; Guliyev ve ark, 2006, 2009a, 2009b; Kuliev ve ark, 2002).

3.3. Deforme Çekirdeklerde Elektrik Dipol Uyarılmaları

Elektrik dipol geçişlerinin belirleyici özelliklerinden biri, indirgenmiş geçiş olasılığıdır. Bu değer, uyarılmış durumlar için $B(E1)$ terimiyle ifade edilir ve şu şekilde hesaplanır.

$$B(E1, I_i K_i \rightarrow I_f K_f) = \sum_{\mu} < I_i 1 K_i \mu | I_f K_f >^2 |M(0^+ \rightarrow 1^- K)|^2 \quad (3.1)$$

Burada $< I_i 1 K_i \mu | I_f K_f >$ Clebsh-Gordon katsayıları, $M(0^+ \rightarrow 1^- K)$ ise uyarılma matris elemanıdır (Bohr ve Mottelson, 1997). QRPA metodunda 1^- seviyelerinin tek fononlu dalga fonksiyonları ifadesi $(|\psi_i > = Q_i^+ |\psi_0 > = \sum_{\mu, \tau} [\psi_{qq'}^i(\tau) A_{qq'}^+(\tau) - \phi_{qq'}^i(\tau) A_{qq'}(\tau)] |\Psi_0 >)$ kullanılarak, 1^- seviyeleri için tek fononlu taban durumundan uyarılma matris elemanı, şu şekilde yazılmaktadır ($Q_i |\Psi_0 > = 0$ olduğundan):

$$M(0^+ \rightarrow 1^- K) = < \Psi_0 | Q_n^+ M(E1, \mu) | \Psi_0 > \quad (3.2)$$

Burada $M(E1)$ elektrik dipol operatörü olup,

$$M(E1, \mu) = e_p \sqrt{\frac{4\pi}{3}} \sum_{i=1}^Z (r Y_{1\mu})_i \quad (3.3)$$

ile verilmektedir. Bu ifadedeki e_p protonun elektrik yüküdür. Elektrik dipol geçiş operatörleri, deney ve teorik sonuçların karşılaştırılması ile elde edilen, efektif yükler kullanılarak ifade edilebilir (Bohr ve Mottelson, 1997).

$$M(E1, \mu) = -\frac{1}{2} \sum_{\tau=n,p} e_{eff}^{\tau} \sum_{i=1}^A \tau_z^i r_{\mu}^i \quad (3.4)$$

Dipol uyarılma matris elemanı, incelenen çekirdeklerin süperakışkanlık özelliğinden dolayı Bogolyubov dönüşümleri altında farklı şekilde betimlenebilmektedir:

$$M(E1) = \sum_{qq'} r_{qq'}(u_q u_{q'} - v_q v_{q'}) B_{qq'} + \sum_{qq'} r_{qq'}(u_q v_{q'} + u_{q'} v_q) (A_{qq'}^+ + A_{q'q}) \quad (3.5)$$

Burada ilk terim, kuazibozon özelliklerini, ikinci terim ise kuaziparçacık özelliklerini içermektedir. Denklem düzenlendiğinde ve komütasyon özelliklerinden yararlanılarak nötron ve proton için ayrı ayrı yazıldığında, elektrik dipol geçiş matris elemanı aşağıdaki gibi olacaktır:

$$M(0^+ \rightarrow 1^- K) = -\frac{e_{eff}^p}{2} \sum_{ss'} r_{ss'} u_{ss'} g_{ss'} - \frac{e_{eff}^n}{2} \sum_{vv'} r_{vv'} u_{vv'} g_{vv'} \quad (3.6)$$

Elektrik dipol geçiş matris elemanının belirlenmesi için kullanılan terimler, aşağıda QRPA metodunun farklı yaklaşımlar altında restore edilmesiyle elde edilmiştir.

3.4. Çift-Çift Deforme Çekirdekler İçin TGI-QRPA Metodu

Bu araştırmada, geçiş ve nadir toprak bölgesinde bulunan çift-çift deforme çekirdeklerin 1^- seviyelerinin tek fononlu elektrik dipol özellikleri, 0-25 MeV enerji aralığında QRPA modeli çerçevesinde incelenmiştir. QRPA modeli kullanılarak yapılan hesaplamalarda, simetri kırınımı tarafından oluşturulan yanıltıcı durumların (sahte hallerin) etkisiz hale getirilmesi, Kuliev ve ark. (2000) tarafından geliştirilen bir yöntemle gerçekleştirilmiştir. Elektrik dipol rezonansının öteleme ve Galileo değişmezliğine etkisini belirlemek için, restore edici kuvvetlerin eklenmesiyle hem öteleme hem de Galileo değişmezliğinin restore edildiği bir yaklaşım olan Öteleme ve Galileo değişmez QRPA modeli (TGI QRPA) kullanılmıştır.

Yapılan analitik hesaplamalarda öncelikle yaklaşım için Hamiltoniyen elde edilmiştir. Hamiltoniyenin özdeğer ve öz fonksiyonlarını bulmak için QRPA'nın bilinen yöntemleriyle $[H, Q_i^+] = \omega_i Q_i^+$ hareket denklemi çözülmüş ve 1^- seviyelerinin enerjisi olan ω_i kökleri ve dalga fonksiyonunun $g_{qq'} = \psi_{qq'} + \phi_{qq'}$ ve $w_{qq'} = \psi_{qq'} - \phi_{qq'}$ genlikleri elde edilmiştir. QRPA hareket denklemi çözülmüş, 1^- seviyelerinin enerjisi olan ω_i kökleri ve dalga fonksiyonunun $\psi_{qq'}^i$ ve $\phi_{qq'}^i$ katsayıları bulunmuştur. Bu işlemler aşağıda verilmiştir.

Spini ve paritesi $\Gamma^\pi = 1^-$ olan uyarılmalar için, öteleme ve Galileo değişmez QRPA model hamiltoniyeni; tek parçacık hamiltoniyeni H_{spp} , restore edici h_0 ve h_Δ etkin

kuvvetler ve dipol-dipol etkileşmesini ifade eden W_{dip} terimlerinden oluşmaktadır (Pyatov ve Salamov, 1977).

$$H = H_{sqp} + h_0 + h_\Delta + W_{dip} \quad (3.7)$$

Bu ifadedeki ilk terim olan H_{sqp} tek-kuaziparçacık hareketinin Hamiltoniyeninin temel formunu ifade etmektedir (ikinci kuantumlanma metodu yaklaşımı kullanılarak (Pyatov ve Salamaov, 1977)).

$$H_{sqp} = \sum_{\gamma} \varepsilon_{\gamma} \alpha_{\gamma}^{\dagger} \alpha_{\gamma} \quad (3.8)$$

Bu ifadedeki α^+ ve α operatörleri, daha önce bahsedilen Bogolyubov dönüşümlerinin fermiyonlar için kuaziparçacık üretme ve yok etme operatörleridir. ε_{γ} ise tek parçacık ortalama alanı üzerinden alınmış nükleonların tek-kuaziparçacık enerjisini temsil eder. Üretme ve yok etme operatörlerinin B operatörü ifadesindeki yerleri aşağıdaki gibidir (Soloviev, 1976).

$$B(q, q') = \sum_{\sigma} \alpha_{q\sigma}^{\dagger} \alpha_{q'\sigma} \quad (3.9)$$

Burada $\sigma = \pm 1$ zaman dönüşümü işlemi ile ilgili durumları göstermektedir. Kuazi parçacık sayısına karşılık gelen B operatörü genel olarak,

$$B_{qq}(\tau) = \sum_{q\tau} \alpha_q^{\dagger}(\tau) \alpha_q(\tau) + \alpha_{\bar{q}}^{\dagger}(\tau) \alpha_{\bar{q}}(\tau) \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, kuantum numaralarından q hem proton hem nötron seviyelerini ifade etmektedir. Böylelikle, H_{sqp} aşağıdaki genel forma dönüşmektedir (Soloviev, 1976).

$$H_{sqp} = \sum_{q\tau} \varepsilon_q(\tau) \{ \alpha_q^{\dagger}(\tau) \alpha_q(\tau) + \alpha_{\bar{q}}^{\dagger}(\tau) \alpha_{\bar{q}}(\tau) \} \quad (3.11)$$

Denklem 3.7'deki sonuncu terim olan W_{dip} nötron ve protonların dipol titreşimlerini temsil etmektedir (Pyatov ve Salamov, 1977). Aşağıdaki izovektör formu, öteleme değişmez dipol-dipol etkileşimleri için kullanılmıştır.

$$W_{dip} = \frac{3}{2\pi} \chi_1 \left(\frac{NZ}{A} \right)^2 (\vec{R}_N - \vec{R}_Z)^2 \quad (3.12)$$

Burada, χ_1 izovektör dipol-dipol çiftlenim sabiti, R_N ve R_Z proton ve nötron sistemlerinin kütle merkezlerinin yerleri bu şekilde tanımlanmıştır. Bu durumda, buradaki tüm sabit sayıları bir noktada toplarsak, κ_1 aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\kappa_1 = \frac{3}{2\pi} \chi_1 \left(\frac{NZ}{A} \right)^2 \quad (3.13)$$

Bu durumda W_{dip} nötron ve protonların izovektör dipol-dipol etkileşimi

$$W_{dip} = \kappa_1 (\vec{R}_N - \vec{R}_Z)^2 \quad (3.14)$$

olur. Denklem 3.14'te R kütle merkezinin genel hali aşağıdaki şekilde yazılır.

$$R_\mu = \sum_{qq'} r_{qq'}^\mu \{a_{q'}^+ a_q + a_q^+ a_{q'}\} \quad (3.15)$$

Denklem 3.15'te μ indisine sahip terim, deforme çekirdekler için $\mu=0$ olduğunda $K=0$ uyarılmalarını, $\mu=\pm 1$ olduğunda ise $K=1$ uyarılmalarını üretir. Bu ifadede, a parçacık operatöründen kuaziparçacık operatörüne geçmek için aşağıdaki kuaziparçacık operatörlerini kullanırsak,

$$\begin{aligned} A_{qq'}^+ &= \alpha_{\bar{q}}^+ \alpha_{q'}^+ \\ A_{q'q} &= \alpha_{q'} \alpha_{\bar{q}} = -\alpha_{\bar{q}} \alpha_{q'} \end{aligned} \quad (3.16)$$

yarıçap ifadesi denklem 3.17'deki gibi bulunmuş olur.

$$R_\mu = \sum_{qq'} r_{qq'}^\mu u_{qq'} (A_{qq'}^+ + A_{qq'}) \quad (3.17)$$

Bu ifadedeki parantez içini fonon operatörleri kullanarak düzenleyelim (Soloviev, 1976).

$$Q_i = \frac{1}{2} \sum_{q,q'} \{ \psi_{qq'}^i A(q, q') - \varphi_{qq'}^i A^+(q, q') \} \quad (3.18)$$

$$Q_i^+ = \frac{1}{2} \sum_{q,q'}^{\square} \{ \psi_{qq'}^i A^+(q, q') - \varphi_{qq'}^i A(q, q') \} \quad (3.19)$$

Denklem 3.18 ve denklem 3.19 ifadeleriyle yapılan işlemler sonucunda;

$$\begin{aligned} A(q, q') &= \sum_i \{ \psi_{qq'}^i Q_i + \varphi_{qq'}^i Q_i^+ \} \\ A^+(q, q') &= \sum_i \{ \psi_{qq'}^i Q_i^+ + \varphi_{qq'}^i Q_i \} \end{aligned} \quad (3.20)$$

bulunur. Denklem 3.20 ifadeleri taraf tarafa toplanır ve $g_{qq'} = \psi_{qq'}^i + \varphi_{qq'}^i$ olarak alınır,

$$A(q, q') + A^+(q, q') = \sum_i \sqrt{2} g_{qq'} (Q_i + Q_i^+) \quad (3.21)$$

olur. Denklem 3.21 ifadesi denklem 3.17'de yerine yazıldığında yarıçap ifadesinin fonon operatörleri cinsinden genel hali elde edilmiş olur.

$$AR_\mu = \sum_{qq'} r_{qq'}^\mu u_{qq'} \sum_i \sqrt{2} g_{qq'} (Q_i + Q_i^+) \quad (3.22)$$

Nötron ve proton arasındaki etkileşim dikkate alınarak $(\vec{R}_N - \vec{R}_Z)^2$ hesaplandığında,

$$W_{dip} = 2\kappa_1 \sum_{q_1 q_1', q_2 q_2'} r_{q_1 q_1'} u_{q_1 q_1'} g_{q_1 q_1'} r_{q_2 q_2'} u_{q_2 q_2'} g_{q_2 q_2'} \sum_{ij} (Q_i + Q_i^+) (Q_j + Q_j^+) \quad (3.23)$$

olur. $W_{q_1 q_1'} = r_{q_1 q_1'} u_{q_1 q_1'} g_{q_1 q_1'}$ ve $W_{q_2 q_2'} = r_{q_2 q_2'} u_{q_2 q_2'} g_{q_2 q_2'}$ olmak üzere W_{dip} ifadesi,

$$W_{dip} = 2\kappa_1 \sum_{q_1 q_1', q_2 q_2'} W_{q_1 q_1'} W_{q_2 q_2'} \sum_{ij} (Q_i + Q_i^+) (Q_j + Q_j^+) \quad (3.24)$$

Genel haliyle bulunur.

$B_{qq'}(\tau) = (\psi_{qq'}^2 + \varphi_{qq'}^2) Q_i^+ Q_i$ olduğundan,

$$H_{sqp} = \sum_{qq'\tau} \varepsilon_{qq'}(\tau) B_{qq'}(\tau) = \sum_{qq'} \varepsilon_{qq'}(\psi_{qq'}^2 + \varphi_{qq'}^2) Q_i^+ Q_i \quad (3.25)$$

bulunur.

1⁻ uyarılmaları için, öteleme değişmezliğin restorasyonu için, denklem 3.7'de verilen öteleme ve Galileo değişmez QRPA model hamiltoniyenine h_0 terimi eklenmektedir. h_0 terimi, ortalama alan potansiyeli ile kırılan öteleme değişmezliğini restore etmek için kullanılan izoskaler etkin kuvvet terimidir (Pyatov ve Salamov, 1977).

$$h_0 = -\frac{1}{2\gamma} \sum_{\mu} [H_{sqp}, P_{\mu}]^+ [H_{sqp}, P_{\mu}] \quad (3.26)$$

Burada γ çiftlenim parametresidir ve ortalama alan potansiyeli parametreleri ile belirlenmektedir.

$$\gamma_{\mu} = \langle 0 | [P_{\mu}^+, [H_{sqp}, P_{\mu}]] | 0 \rangle \quad (3.27)$$

Denklem 3.27'de P_{μ} 'nün zamanla değişen bir çizgisel momentumudur, bu yüzden farklı simetri kuralları geçerlidir. P_{μ} 'yü bu simetri kurallarını ve kuaziparçacık tasvirini kullanarak şu şekilde elde edebiliriz:

$$P_{\mu} = \sum_{qq'} v_{qq'} B_{qq'} + p_{qq'} L_{qq'} (A_{qq'}^+ - A_{qq'}) \quad (3.28)$$

$H_{sqp} = \sum_{qq'\tau} \varepsilon_{qq'}(\tau) B_{qq'}(\tau)$ olduğundan,

$$[H_{sqp}, P_{\mu}] = \sum_{qq'} \varepsilon_{qq'} p_{qq'} L_{qq'} (A_{qq'}^+ + A_{qq'}) \quad (3.29)$$

$$[H_{sqp}, P_{\mu}]^+ = \sum_{qq'} \varepsilon_{qq'} p_{qq'} L_{qq'} (A_{qq'} + A_{qq'}^+) \quad (3.30)$$

olarak elde edilir. Buradan çiftlenim parametresi;

$$\begin{aligned}\gamma_\mu = < 0 | [P_\mu^+, [H_{sqp}, P_\mu]] | 0 > = [p_{qq'} L_{qq'} (A_{qq'}^+ - A_{qq'}) , \varepsilon_{qq'} p_{qq'} L_{qq'} (A_{qq'}^+ + A_{qq'})] \\ = 2 \sum_{qq'} \varepsilon_{qq'} p_{qq'}^2 L_{qq'}^2\end{aligned}\quad (3.31)$$

olur. Buradan h_0 ;

$$\begin{aligned}h_0 = -\frac{1}{2\gamma} \sum_{q_1 q_1'} \varepsilon_{q_1 q_1'} p_{q_1 q_1'} L_{q_1 q_1'} (A_{q_1 q_1'} + A_{q_1 q_1'}^+) \sum_{q_2 q_2'} \varepsilon_{q_2 q_2'} p_{q_2 q_2'} L_{q_2 q_2'} (A_{q_2 q_2'}^+ \\ + A_{q_2 q_2'})\end{aligned}\quad (3.32)$$

Denklem 3.20 eşitliklerini kullanarak denklem 3.32'deki $(A_{q_1 q_1'} + A_{q_1 q_1'}^+)$ ve $(A_{q_2 q_2'}^+ + A_{q_2 q_2'})$ ifadeleri fonon operatörleri cinsinden yazılırsa,

$$\begin{aligned}h_0 = -\frac{1}{\gamma} \sum_{q_1 q_1'} \varepsilon_{q_1 q_1'} p_{q_1 q_1'} L_{q_1 q_1'} g_{q_1 q_1'} \sum_{q_2 q_2'} \varepsilon_{q_2 q_2'} p_{q_2 q_2'} L_{q_2 q_2'} g_{q_2 q_2'} \sum_k \sum_l (Q_k \\ + Q_k^+) (Q_l + Q_l^+)\end{aligned}\quad (3.33)$$

olur. $G_\tau = \sum_{qq'}^\tau \varepsilon_{qq'} p_{qq'} L_{qq'} g_{qq'}$ olarak alınırsa ifade aşağıdaki gibi olur.

$$h_0 = -\frac{1}{\gamma} G G' \sum_k \sum_l (Q_k + Q_k^+) (Q_l + Q_l^+)\quad (3.34)$$

Toplam momentumun korunmadığı durum, öteleme dönüşümlerinin ortalama alan potansiyellerinden dolayı değişmez olmamasından kaynaklanır (Denklem 3.35).

$$[H_{sqp}, P_\mu] \neq 0\quad (3.35)$$

Çekirdeğin 1^- uyarılma titreşimlerine ve kütle merkezinin titreşimlerinin de katılmasıyla oluşan sahte halleri, hamiltoniyene h_0 'a eklenen izoskaler etkin kuvvetle restore edilebilir.

$$[H, P_\mu] = [H_{sqp} + h_0, P_\mu] + \kappa_1 [(\vec{R}_N - \vec{R}_Z)^2, P_\mu] = 0\quad (3.36)$$

komutasyon şartı sağlanmıştır. Momentum operatörüyle komutasyonunun sıfır olması, denklem 3.36 ile verilen Hamiltoniyenin öteleme değişmezliğinin restore edildiğini göstermiştir.

Bir sistem üzerinde dış bir alan etkisi olmadığında, sistemin Hamiltoniyeninin koordinat sisteminin ötelenmesi, uzayın, zamanın ve koordinat eksenlerinin dönmesinin yanı sıra sistemin tekdüze hareketinin (Galilean veya Lorentz değişmezliği) değişmez olduğu bilinmektedir. Galileo değişmezliği, çizgisel momentumu sıfırdan farklı olan ($P=P_1-P_2$) sistemlerin özelliklerini ortaya çıkaran bir parametredir. Etkileşimler ve hareket denklemleri Galileo değişmezliğine sahiptir (Bohr ve Mottelson, 1998). Bu değişmezlik, tüm parçacık etkileşimlerinde göreceli hızların etkili olduğunu göstermektedir. Çok kutuplu kuvvetler, kuazi parçacık ortalama alanının hız bağımlılığı nedeniyle ortaya çıkar. QRPA’da, bu kuvvetler çok kutuplu eşleşme kuvvetlerine benzer bir etki yaratır. Dolayısıyla, Galileo değişmezliğinin ihlali, olağan dışı çok kutuplu uyarımların yapısında önemli bir etkiye sahip olabilir (Civitarese ve ark, 1992). Bu nedenle, çiftlenim etkileşmesinin ortadan kaldırıldığı Galileo değişmezliğinin yeniden ortaya çıkarılması çok önemlidir.

1^- uyarılmalar için, Galileo (Lorentz) değişmezliğin geri kazanılması için, öteleme ve Galileo değişmez QRPA model hamiltoniyenine h_Δ terimi eklenir (Kuliev ve ark, 2001); h_Δ terimi, çiftlenim etkileşmesinin kırılan Galileo değişmezliğini geri kazanmak için kullanılan bir terimdir (Gabrakov ve ark, 1977).

$$h_\Delta = -\frac{1}{2\beta} \sum_{\mu} [U_{\text{çift}}, R_{\mu}]^+ [U_{\text{çift}}, R_{\mu}] \quad (3.37)$$

Burada, çiftlenim potansiyeli olan $U_{\text{çift}}$;

$$U_{\text{çift}} = -\frac{\Delta}{2} (\Gamma^+ + \Gamma) \quad (3.38)$$

ile verilmektedir (Kuliev ve ark, 2010). Δ enerji boşluğu, Γ^+ ve Γ parçacık üretme ve yok etme operatörleri cinsinden, $\Gamma = \sum_{\nu} a_{\bar{\nu}} a_{\nu}$ ve $\Gamma^+ = \sum_{\nu} a_{\bar{\nu}}^+ a_{\nu}^+$ ’dır. R_{μ} ise denklem 3.22’de verilen çekirdeğin kütle merkezinin koordinatıdır. Çiftlenim potansiyelinden belirlenen çiftlenim parametresi; $\beta = \langle 0 | R_{\mu}^+, [U_{\text{çift}}, R_{\mu}] | 0 \rangle$ ile verilmektedir (Pyatov ve Salamov, 1977). α parçacık operatörü cinsinden yazılan Γ^+ ve Γ operatörlerini kuaziparçacık tasvirinde yazalım (Soloviev, 1976):

$$\begin{aligned}
a_s^+ &= u_s \alpha_{\bar{s}}^+ + v_s \alpha_s \\
a_{\bar{s}}^+ &= u_s \alpha_s^+ - v_s \alpha_{\bar{s}} \\
a_s &= u_s \alpha_{\bar{s}} + v_s \alpha_s^+ \\
a_{s'} &= u_{s'} \alpha_{\bar{s}'} + v_{s'} \alpha_{s'}^+ \\
a_{\bar{s}'} &= u_{s'} \alpha_{s'} - v_{s'} \alpha_{\bar{s}'}^+ \\
a_{\bar{s}'}^+ &= u_{s'} \alpha_{s'}^+ - v_{s'} \alpha_{\bar{s}'}
\end{aligned} \tag{3.39}$$

ifadeleri yerine yazılıp qq' notasyonu ile genel bir şekilde ifade edilirse, denklem 3.40 elde edilir.

$$\begin{aligned}
\Gamma^+ &= u_q u_{q'} \alpha_q^+ \alpha_{q'}^+ - v_q v_{q'} \alpha_{\bar{q}} \alpha_{q'} \\
\Gamma &= u_q u_{q'} \alpha_q \alpha_{\bar{q}'} - v_q v_{q'} \alpha_{\bar{q}}^+ \alpha_{q'}^+
\end{aligned} \tag{3.40}$$

Bu ifadeler denklem 3.41'de yerine yazılarak, denklem 3.42 elde edilir.

$$[U_{\text{cift}}, R_\mu] = -\frac{\Delta}{2} \{[\Gamma, R_\mu] + [\Gamma^+, R_\mu]\} \tag{3.41}$$

$$\begin{aligned}
[U_{\text{cift}}, R_\mu] &= -\Delta \sum_{qq'} \{u_q u_{q'} + v_q v_{q'}\} r_{qq'} (A_{qq'}^+ - A_{q'q}) \\
&= -\Delta \sum_{qq'} M_{qq'} r_{qq'} (A_{qq'}^+ - A_{q'q})
\end{aligned} \tag{3.42}$$

Denklem 3.42'de $M_{qq'} = u_q u_{q'} + v_q v_{q'}$ dir. Denklem 3.20 kullanılarak $A_{qq'}^+ - A_{q'q}$ eşitliği fonon operatörleri cinsinden yazılarak denklem 3.42'de yerine yazılırsa,

$$h_\Delta = -\frac{1}{\beta} \sum_{\mu} \sum_{q_3 q_3'} \Delta_{q_3 q_3'} M_{q_3 q_3'} w_{q_3 q_3'} r_{q_3 q_3'} \Delta_{q_4 q_4'} M_{q_4 q_4'} w_{q_4 q_4'} r_{q_4 q_4'} (Q_k - Q_k^+)(Q_l^+ - Q_l) \tag{3.43}$$

$$D = D_n + D_p \quad D_\tau = \Delta_\tau \sum_{qq'} M_{qq'} r_{qq'} w_{qq'}^\tau \tag{3.44}$$

olur. Nötron ve proton sistemleri için ifade ayrı yazılır ve aşağıdaki sadeleştirmeler yapılırsa,

$$\begin{aligned}\tilde{W} &= W_n - W_p \\ \tilde{W} &= \frac{1}{N_\tau} \sum_{qq'} r_{qq'} u_{qq'} g_{qq'}^\tau\end{aligned}\quad (3.45)$$

Hamiltoniyen;

$$h_\Delta = -\frac{1}{\beta} \sum_\mu \sum_{k,l} DD' (Q_k^+ - Q_k) (Q_l - Q_l^+) \quad (3.46)$$

olur. Galileo değişmezlik komutasyon şartını sağlamak adında, çiftlenim etkileşmesinden dolayı kırılmıştır.

$$[U_{\zeta ift}, \vec{R}_\mu] \neq 0 \quad (3.47)$$

Galileo değişmezliği restore etmek için eklenen h_Δ ayrılabilir etkin kuvveti ile

$$[U_{\zeta ift} + h_\Delta, R_\mu] = 0 \quad (3.48)$$

komutasyon şartının sağlanması, Galileo değişmezliğin de restore edildiğini göstermiştir.

Hamiltoniyendeki her bir ifade için bulunmuş olan eşitlikler yerine yazılırsa Hamiltoniyen açık şekilde:

$$\begin{aligned}H &= \sum_{qq'} \varepsilon_{qq'} (\psi_{qq'}^2 + \varphi_{qq'}^2) Q_i^+ Q_i + 2\kappa_1 \sum_{jj'} \tilde{W} \tilde{W}' (Q_j + Q_j^+) (Q_{j'} + Q_{j'}^+) \\ &\quad - \frac{1}{\gamma} GG' \sum_k \sum_l (Q_k + Q_k^+) (Q_l + Q_l^+) \\ &\quad - \frac{1}{\beta} \sum_\mu \sum_{m,n} DD' (Q_m^+ - Q_m) (Q_n - Q_n^+)\end{aligned}\quad (3.49)$$

Şeklinde olur. Enerji özdeğerlerini bulmak için ifade hareket denkleminde yerine yazılırsa,

$$[H, Q^+] = [H_{sqp}, Q^+] + [h_\Delta, Q^+] + [h_0, Q^+] + [W_{dip}, Q^+] = \omega_i Q^+ \quad (3.50)$$

Gerekli ara işlemler uygulandıktan sonra,

$$g_{qq'} = \frac{2}{\gamma} \frac{\varepsilon_{qq'}^2 p_{qq'} L_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} G + \omega_i \frac{2\Delta_\tau}{\beta} \frac{r_{qq'} M_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} D - \tau_z 4\kappa_1 \frac{1}{N_\tau} \frac{\varepsilon_{qq'} r_{qq'} u_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} \tilde{W} \quad (3.51)$$

$$w_{qq'} = \frac{2\omega_i}{\gamma} \frac{\varepsilon_{qq'} p_{qq'} L_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} G + \frac{2\Delta_\tau}{\beta} \frac{\varepsilon_{qq'} r_{qq'} M_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} D - \tau_z 4\kappa_1 \omega_i \frac{1}{N_\tau} \frac{r_{qq'} u_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} \tilde{W} \quad (3.52)$$

$$\psi_{qq'} = (\varepsilon_{qq'} + \omega_i) \left[\frac{1}{\gamma} \frac{\varepsilon_{qq'} p_{qq'} L_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} G + \frac{\Delta_\tau}{\beta} \frac{r_{qq'} M_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} D - \tau_z 2\kappa_1 \frac{r_{qq'} u_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} \tilde{W} \right] \quad (3.53)$$

$$\varphi_{qq'} = (\varepsilon_{qq'} - \omega_i) \left[\frac{1}{\gamma} \frac{\varepsilon_{qq'} p_{qq'} L_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} G - \frac{\Delta_\tau}{\beta} \frac{r_{qq'} M_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} D - \tau_z 2\kappa_1 \frac{r_{qq'} u_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} \tilde{W} \right] \quad (3.54)$$

Elde edilir. Buradan seküler denklemi elde etmek için nötron ve proton sistemleri için ayrı ayrı sistem denklemleri elde edilir.

$$\begin{aligned} \tilde{W} &= W_n - W_p \\ \tilde{W}_\tau &= \frac{1}{N_\tau} \sum_{qq'} r_{qq'} u_{qq'} g_{qq'}^\tau \end{aligned} \quad (3.55)$$

$$G_\tau = \sum_{qq'} \varepsilon_{qq'} p_{qq'} L_{qq'} g_{qq'}^\tau \quad (3.56)$$

$$D_\tau = \Delta_\tau \sum_{qq'} r_{qq'} M_{qq'} w_{qq'}^\tau \quad (3.57)$$

Denklem 3.51 ve denklem 3.52 ifadelerini denklem 3.55, denklem 3.56 ve denklem 3.57 eşitliklerinde yerine yazalım. Burada, aşağıda verilen kısaltmaları göz önünde bulunduralım.

$$\begin{aligned}
P_\tau &= 2 \sum_{qq'} \frac{\varepsilon_{qq'}^3 p_{qq'}^2 L_{qq'}^2}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} \\
M_\tau &= 2 \sum_{qq'} \frac{\varepsilon_{qq'}^2 p_{qq'} L_{qq'} r_{qq'} u_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} \\
Y_\tau &= 2 \sum_{qq'} (\tau) \frac{r_{qq'}^2 M_{qq'} u_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} \\
\gamma &= 2 \sum_{qq'} \varepsilon_{qq'} p_{qq'}^2 L_{qq'}^2
\end{aligned} \tag{3.58}$$

$$\begin{aligned}
F_\tau &= 2 \sum_{qq'} \frac{\varepsilon_{qq'} (r_\mu)_{qq'}^2 u_{qq'}^2}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2} \\
S_\Delta &= 2\Delta \sum_{qq'} (\tau) \frac{\varepsilon_{qq'} p_{qq'} L_{qq'} r_{qq'} M_{qq'}}{\varepsilon_{qq'}^2 - \omega_i^2}
\end{aligned}$$

Buna göre nötron (n) ve proton (p) için ayrı yazıp işlemler yapıldığında,

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\gamma} M_\tau G + \frac{1}{\beta} \omega_i \tilde{Y} D - 2\kappa_1 F_\tau \tilde{W} &= 0 \\
\frac{1}{\gamma} P_\tau G + \frac{1}{\beta} \omega_i S_\Delta D - 2\kappa_1 \tilde{M} \tilde{W} &= 0 \\
\frac{1}{\gamma} \omega_i S_\Delta G + D_\Delta D + 2\kappa_1 \tilde{Y} \tilde{W} &= 0
\end{aligned} \tag{3.59}$$

sistem denklemleri elde edilir. $\gamma - P = -\omega_i^2 M_\tau$; $D_\Delta = (1 - \frac{R_\Delta}{\beta})$; $\tilde{M} = \omega_f^2 \tilde{F}_{\square}$; $\tilde{Y}_{\Delta np} = \frac{\Delta n}{N} Y_n - \frac{\Delta p}{P} Y_p$; $R_\Delta = R_n \Delta_n^2 + R_p \Delta_p^2$; $F = \frac{Z^2}{A^2} F_n + \frac{N^2}{A^2} F_p$; $F_{np} = \frac{F_n}{N} + \frac{F_p}{Z}$; $F_{n^2 p^2} = \frac{F_n}{N^2} + \frac{F_p}{Z^2}$ kısaltmaları kullanılarak denklem 3.59 düzenlenir. Bu denklemlerden elde edilen katsayılar matrisi, çözümlerin sıfırdan farklı olması için, determinantın sıfıra eşit olması gerektiğinden;

$$D(\omega_n) = -\omega^2 \begin{vmatrix} M(\omega_i) & -S_\Delta & 2\kappa_1 \omega_i \tilde{F}_{np} \\ S_\Delta & \beta - R_\Delta & 2\kappa_1 \tilde{Y}_{\Delta np} \\ -\omega_i \tilde{F}_{np} & \omega_i \tilde{Y}_{\Delta np} & -(1 + 2\kappa_1 F_{n^2 p^2}) \end{vmatrix} = 0 \tag{3.60}$$

olur. Buradan determinant sıfıra eşitlenerek TGI QRPA modelin seküler denklemi elde edilmiştir.

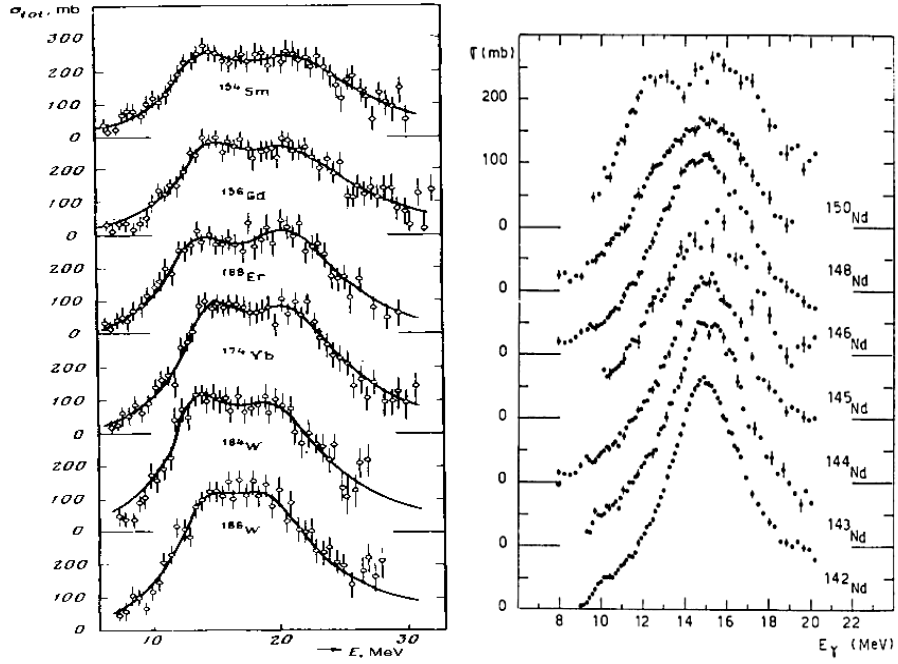
Öteleme ve Galileo değişmez modelde indirgenmiş geçiş ihtimali için denklem 3.35 ifadesini göz önüne alırsak, bu ifade denklem 3.51 ifadesinden elde edilen dalga fonksiyonunun genlik katsayısı $g_{qq'}$ yerine yazılırsa denklem 3.61 ifadesine ulaşılır.

$$M(0^+ \rightarrow 1^-K) = -\frac{1}{\sqrt{\omega_i Y}} \left\{ \frac{e_{eff}^p}{\sqrt{2}} \left(\frac{M_p}{2} + \frac{1}{2} \omega_i \frac{\bar{L}_i'}{\beta} \Delta_p K_p + \frac{1}{2} \kappa_1 \bar{L}_i \frac{F_p}{Z} \right) + \frac{e_{eff}^n}{\sqrt{2}} \left(\frac{M_n}{2} + \frac{1}{2} \omega_i \frac{\bar{L}_i'}{\beta} \Delta_n K_n - \frac{1}{2} \kappa_1 \bar{L}_i \frac{F_n}{N} \right) \right\} = 0 \quad (3.61)$$

Matris elemanı yerine yazılan ifade ile TGI-QRPA modeli için B(E1) değeri hesaplanmıştır (Denklem 3.1 ve elde edilen Denklem 3.61). Elde edilen sonuçlar, uyarılmalar arası geçiş özellikleri hakkında bilgi sağlamıştır ve bu sonuçlar Bulgular bölümünde detaylandırılmıştır.

3.5. Dipol Fotoabsorbsiyon Tesir Kesiti

Fotonlarla gerçekleştirilen deneyler, atom çekirdeğinin özelliklerinin anlaşılmasına büyük katkı sağlamıştır. Bu deneyler, çekirdeğin fotonlarla olan elektromanyetik etkileşiminin kuantum elektrodinamiği (QED) çerçevesinde iyi tanımlanmış olması ve fotonlarla yapılan nükleer deneylerin, atom çekirdeğinin yapısının neden olduğu reaksiyonların spesifik özelliklerini açıkça ortaya koymasıyla sonuçlanmıştır (Iskhanov ve Kapitanov, 2015). Özellikle E1 rezonans bölgesindeki fotonükleer etkileşimlerin detaylı incelenmesi, çekirdeğin temel özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlar. Bu alandaki çalışmalar, dev dipol E1 rezonans özelliklerinin (GDR) kütle numarasına göre nasıl değiştiğini anlamak için önemli bir konudur. Bu amaçla, birçok ağır çekirdek için fotoabsorbsiyon tesir kesiti çalışmaları yapılmıştır (Carlos ve ark, 1974; Gurevich ve ark, 1974, 1976a, 1978, 1980, 1981). Bu ölçümlerin genel amacı, GDR parametrelerinin kütle numarasıyla nasıl değiştiğini gözlemlemektir (Kuznetsov ve ark, 2017).



Şekil 3.1. Ağır kütleli çekirdeklerde tesir kesitlerinin enerjiye göre değişimi (Gurevich ve ark, 1980 (sol); Carlos ve ark, 1974 (sağ)).

Şekil 3.1’de, ağır çekirdeklerle yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen tesir kesitlerinin enerjiye bağlı olarak gösterimi verilmektedir. Zayıf bir P dış alanında uyarılmış bir çekirdeğin dipol fotoabsorpsiyon tesir kesiti $\sigma_{E1}(E)$ aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir (Ring ve Shuck, 2004).

$$\sigma_{E1}(E) = \frac{4\pi^2 e^2}{\hbar c} (E_f - E_0) \sum |\langle \Psi_f | M | \Psi_0 \rangle|^2 \delta(E_f - E_0) \quad (3.62)$$

Burada M, indirgenmiş geçiş matris elemanı, $\delta(E_f - E_0)$ ağırlık fonksiyonudur. Bu fonksiyon, $\delta(E_f - E_0) = \delta(\eta_i - \eta)$ notasyonu ile

$$\delta(\eta_i - \eta) = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta}{(\eta_i - \eta)^2 + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2} \quad (3.63)$$

olarak gösterilmektedir (Bohr ve Mottelson, 1997; Hinohara ve ark, 2013; Malov ve Soloviev, 1976). Bu ağırlık fonksiyonu Lorentz fonksiyonu olarak isimlendirilebilir. Ortalama enerji aralığı olan Δ hesaplama sonuçlarının sunum şeklini belirlemektedir (Malov ve ark, 1985). Uyarılmış çekirdeğin spektrumunu düzgün bir şekilde elde etmek için, enerji değişkeninin, sonlu hayali bir parçası olarak Δ parametresi kolaylık sağlamak adına yer almaktadır. Bu parametre, her uyarılma için ek bir yapay genişlik

anlamına gelmektedir. $(\eta_i - \eta)$ ya da $(\omega - \omega_i)$ uyarılmış ve taban seviyeleri arasındaki enerji farkıdır.

Geçiş matris elemanı, indirgenmiş geçiş olasılığı $\{B(E1; 0^+ \rightarrow 1^-) = B(\lambda, \eta)\}$ ifadesinde şu şekilde yer almaktadır (Ring ve Shuck, 2004):

$$B(\lambda, \eta) = \frac{1}{2I_i + 1} |\langle \Psi_f | \hat{M} | \Psi_0 \rangle|^2 \quad (3.64)$$

Güç fonksiyonu $(b(\lambda, \eta))$ genel olarak;

$$b(\lambda, \eta) = \sum_n \delta_\Delta(\eta - \eta_\Delta) B(\lambda, \eta) \quad (3.65)$$

olarak verilmektedir (Bohr ve Mottelson, 1997; Hinohara ve ark, 2013; Malov ve Soloviev, 1976). Yukarıdaki eşitliklerden hareketle güç fonksiyonu E1 uyarılmaları için aşağıdaki gibi yazılabilir (Malov ve ark, 1985; Soloviev ve ark, 1980).

$$S_{E1}(E) = b(E1, \eta) = \frac{1}{2\pi} \sum_i \frac{\Delta}{(\eta_i - \eta)^2 + \left(\frac{1}{2}\Delta\right)^2} B(E1; 0^+ \rightarrow 1^-) \quad (3.66)$$

O halde fotoabsorbsiyon tesir kesiti güç fonksiyonuna bağlı olarak aşağıdaki gibi olur (Khuong ve ark, 1979; Litvinova ve ark, 2018; Ponomarev ve ark, 1994).

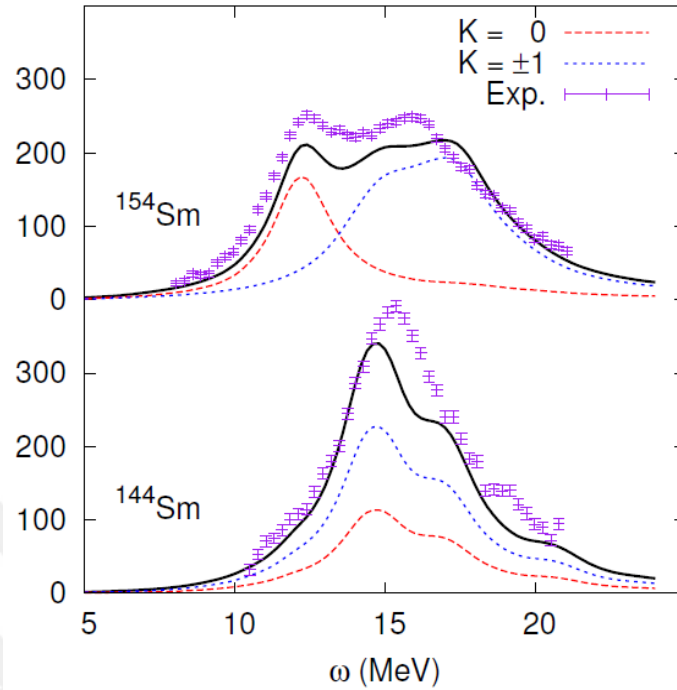
$$\sigma_{E1}(E) = \frac{16\pi^3 e^2}{9\hbar c} E S_{E1}(E) \quad (3.67)$$

Bu ifadede $\sigma_{E1}(E)$ fotoabsorbsiyon tesir kesiti, E enerji, $E S_{E1}(E)$ güç fonksiyonunu göstermektedir. Bu ifadedeki sabit değerler yerine yazılırsa ($\hbar c = 197,3 \text{ MeV} \cdot \text{fm}$, $e^2 = 1.44 \text{ MeV} \cdot \text{fm}$) en sade haliyle;

$$\sigma_{E1}(E) = 0,402 E S_{E1}(E) \quad (3.68)$$

olur (Bohr ve Mottelson, 1997; Oishi ve ark, 2016; Ponomarev ve ark, 1994). Denklem (3.68) bir model çerçevesinde kullanılan teori ile elde edilen değerlerin deneysel çalışmalarla karşılaştırılmasında kullanılan bir eşitliktir. Bu şekilde elde edilen fotoabsorbsiyon tesir kesitine bir örnek Şekil 3.2’de verilmiştir. Fotonların çekirdeklerle etkileşiminin absorpsiyon kesitindeki temel rezonans şekli, Şekil 3.2’de

gösterildiği gibi bir Lorentz eğrisinin şeklidir (Berman ve Fultz, 1975; Danos, 1958; Steinwedel ve Jensen, 1950).



Şekil 3.2. Çift-çift $^{144-154}\text{Sm}$ izotoplarında $K=0$ ve $K=1$ dalları için bulunan güç fonksiyonunun kullanılmasıyla bulunan dipol fotoabsorbsiyon tesir kesitinin enerjiye göre değişiminin teorik ve deneysel değerlerinin karşılaştırılması (Oishi ve ark, 2016).

Dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti, enerjiye göre değişim grafiğinde çekirdeğin küresel ya da deforme olmasına göre GDR pikinin şekli değişmektedir (Rezwani ve ark, 1970). Küresel çekirdekler için grafik, bir Lorentz çizgisinden oluşurken (Goldhaber ve Teller, 1948; Steinwedel ve Jensen, 1950), deforme çekirdekler için iki Lorentz eğrisinin üst üste yerleştirilmesiyle oluşur (Danos, 1958; Okamoto, 1956).

GDR ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda, deforme çekirdeklerin tesir kesiti enerji grafiklerinde birden fazla pikli yapı gözlemlenmiştir. Deforme çekirdeklerde, $E1$ dev rezonansının iki ayrı pike yarıldığı teorik olarak Okamoto (1958) ve Danos (1958) tarafından gösterilmiştir. Bu yarılmının açıklanmasında ölçeklendirme yöntemi kullanılmıştır (Iudice, 2000).

GDR'de nötron ve proton yoğunluklarının titreşimlerinin dalgalanma yoğunluğu genellikle sürekli dalgalar olarak görülür. Bu nedenle, özdeğerlerin dalga boylarının $\lambda_i \sim R^i$ yarıçap ile orantılı olduğu öngörülür. Özfekansların dalga boyu ile olan ilişkisi düşünüldüğünde, özfekanslar yaklaşık olarak $\omega_i \sim R^{-1}$ ile ölçeklendirilebilir. Deforme

çekirdeklerde yarıçap, çekirdeğin titreşim eksenine ile ilişkilidir. Deforme çekirdeklerde, simetri eksenine paralel yönde olan biri ve simetri eksenine dik olan diğer bir dipol titreşimi görülür (Ring ve Shuck, 2004). Bu nedenle, deforme olmuş nükleer sistemin ana eksenler boyunca yarıçap değişiminden etkilenen bir frekans kayması meydana gelir (Şekil 3.3). Bu kayma, rezonansın $K=0$ ve iki katlı $K=1$ değerlerine göre ikiye bölünmesidir (Bortignon, 2003; Iudice, 2000; Krane ve Steffen, 1970). Bu yüzden deforme çekirdeklerde frekansın ve dolayısıyla dalgaboyunun, yarıçap ($R_{\perp}$) ve ($R_{\parallel}$) arttıkça farklılaşabileceği beklenir.



Şekil 3.3. Deforme çekirdeklerde $K=0$ ve $K=1$ için proton-nötron ötelenme salınım modları (Iudice, 2000).

Elektrik dev dipol rezonans yarılmaması yaklaşık olarak aşağıdaki gibi verilir:

$$\frac{\omega_{\perp} - \omega_{\parallel}}{\omega} \approx \frac{R_{\perp} - R_{\parallel}}{R} = \delta \quad (3.69)$$

Eğer çekirdekler rastgele bir yönelme gösterirlerse, toplam absorpsiyon tesir kesiti aşağıdaki gibi verilir.

$$\sigma = \frac{1}{3}\sigma_{\parallel} + \frac{2}{3}\sigma_{\perp} \quad (3.70)$$

Burada, $\sigma_{\parallel}$ ve $\sigma_{\perp}$ sırasıyla simetri eksenine paralel ve dik (ekvatorial düzlem) polarize olmuş fotonlar için tesir kesitleridir. İstatistiksel çarpan, ekvatorial düzlemde meydana gelen salınım modlarında meydana gelen eş-enerjilik durumuna açıklama getirmektedir. $\sigma_{\parallel} \approx \sigma_{\perp}$ olduğundan, prolate çekirdekler için yarılmış olan eğrinin üst kısmı alt kısmının iki katı entegre edilmiş tesir kesitini içermektedir.

Şimdiye kadar mevcut deneysel veriler, enerji açısından meydana gelen bu yarılmada deneysel gözlem ile teorik hesaplamalar arasında uyumluluk olduğunu göstermektedir. Gözlenen bu iki pikli yapı (hörgüç), sadece deforme çekirdeklere özgü bir özelliktir. Bu iki pikten yüksek enerjili olanı, düşük enerjili olandan yaklaşık iki kat daha fazla şiddete sahiptir (Iudice, 2000).

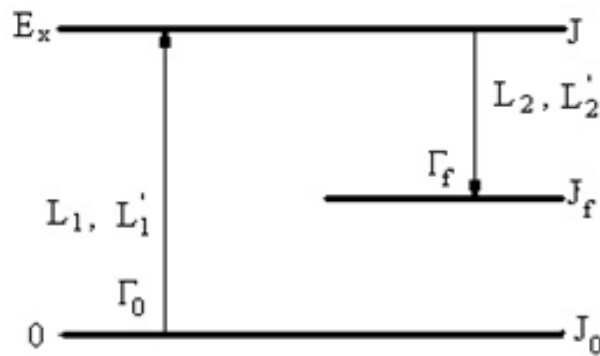
$$\frac{B(E1, 0^+ \rightarrow K^\pi = 1^-)}{B(E1, 0^+ \rightarrow K^\pi = 0^-)} = 2 \frac{w_{II}}{w} \simeq 2(1 - \delta) \simeq 1.5 \quad (3.71)$$

Denklem 3.71 bize deforme çekirdeklerde $K=1$ ve $K=0$ modlarında oluşan indirgenmiş geçiş olasılığı oranlarının yaklaşık olarak 1,5 olduğunu göstermektedir (Iudice, 2000).

3.6. Radyasyon Kalınlığı

Atom çekirdeğinin elektrik veya manyetik karakterli dipol uyarılmalarını araştırmak için temel olarak kullanılan yöntem, Nükleer Rezonans Floresans (NRF) yöntemidir (Romig ve ark, 2015). NRF yöntemi, elektromanyetik etkileşmelerin en iyi anlaşılan alanlarından biridir. Bu yöntemde, çekirdeğin bir seviyesi elektromanyetik radyasyonla uyarılır ve bu seviye radyasyon yayarak bozunurken, seviyenin enerjisi, spin ve paritesi herhangi bir modelden bağımsız olarak belirlenir (Kneissl ve ark, 1996; Pitz ve ark, 1990).

Basit bir şekilde Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, NRF yönteminde çekirdek, spini J_0 olan ilk seviyeden (taban durumu) J olan orta seviyeye ve J_f olan son seviyeye $L1$ veya $L1'$ çokkutuplu radyasyon durumlarıyla uyarılır. Orta seviyeden son seviyeye geçişte ise $L2$ veya $L2'$ çokkutuplu radyasyon salınımı gerçekleşir. Burada, Γ_0 ve Γ_f sırasıyla taban durumun ve son durumun dipol radyasyon genişlikleridir.



Şekil 3.4. Dipol radyasyon kalınlığı ve spin (Kneissl ve ark, 1996).

Dipol radyasyon kalınlığı, enerjiye bağlı diferansiyel kesit ile belirlenebilir. NRF deneylerinde genellikle sürekli foton kaynağı (Bremsstrahlung) kullanılır. Bu nedenle enerjiye bağlı diferansiyel kesit (I_s), saçılan fotonların spektrumundan elde edilir.

$$I_s = \frac{2J_0 + 1}{2J + 1} \left(\pi \frac{hc}{E_x} \right)^2 \frac{\Gamma_0 \Gamma_f}{\Gamma} \frac{W(\theta)}{4\pi} \quad (3.80)$$

ile elde edilir. Burada W açısal dağılım, Γ toplam dipol radyasyon kalınlığıdır. Esnek saçılmalarda ($\Gamma_0 = \Gamma_f$) olacağından, saçılma tesir kesiti Γ_0^2/Γ ile orantılı olacaktır.

Dipol radyasyon kalınlığının deneysel olarak belirlenebileceği bir başka yöntem, uyarılmış seviyenin yarı ömrünün ölçüm sonuçlarının kullanılmasıdır (Kneissl ve ark, 1996). Dipol radyasyon kalınlığı ile yarı ömür arasındaki ilişki denklem 3.81’de verilmiştir.

$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau} \quad (3.81)$$

Burada, $\hbar$ Planck sabiti ve deneysel olarak elde edilen yarı ömür (τ) büyüklükleri kullanılarak radyasyon kalınlığı belirlenebilmektedir.

Radyasyon kalınlığı (taban durumu Γ_0 olan) aynı zamanda dipol geçişlerin karakteristik özelliklerinden olan indirgenmiş geçiş olasılıkları ile orantılıdır.

$$\Gamma_0 = 8\pi \sum_{\Pi L=1}^{\infty} \frac{(L+1)(E_\gamma/\hbar c)^{2L+1}}{L[(2L+1)]^2} \frac{2J_0+1}{2J+1} B(\Pi L, E_\gamma) \uparrow \quad (3.82)$$

Denklem 3.82’de, $B(\Pi L, E_\gamma \uparrow)$ ($\Pi = E$ (elektrik) veya M (manyetik)) indirgenmiş geçiş olasılıklarıdır. Çift çift çekirdekler için elektrik dipol geçişlerdeki geçiş kalınlığı ve indirgenmiş geçiş olasılığı;

$$B(E1) \uparrow = 2,866.10^{-3} \cdot \frac{\Gamma_0}{E_\gamma^3} e^2 fm^2 \quad (3.83)$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada $g = \frac{2J_0+1}{2J+1}$ istatistiksel oranı spin faktörüdür ve E_γ uyarılma enerjisi MeV, Γ_0 dipol radyasyon kalınlığı ise meV birimlerindedir. Teorik olarak yapılan hesaplamalar ile deneysel verilerin karşılaştırılmasını sağlamak

amacıyla E1 geçişleri için, enerji ağırlıklı ($\Gamma_0(E1)$) ve enerji ağırlıksız olarak ($\Gamma_0^{red}(E1)$) elektrik dipol radyasyon kalınlığı için,

$$\Gamma_0(E1) = 0,349 w_i^3 B(E1) \text{ meV} \quad (3.84)$$

$$\Gamma_0^{red}(E1) = 0,349 B(E1) \text{ meV/MeV}^3 \quad (3.85)$$

eşitlikleri kullanılabilir (Guliyev ve ark, 2010; Soloviev ve ark, 1997).





4. BULGULAR

İzotop eğrisinde yer alan çekirdekler arasında, küresellikten deformasyona veya deformeden küreselliğe geçiş bölgesinde bulunanlar, genellikle son kabukları yarı dolu veya yarı doluya yakın olan çekirdeklerdir. Bu çekirdekler, deforme çekirdekler olarak bilinirler. Bu bölümde; deforme, çift-çift, parçacık-boşluk simetrisine sahip $130 \leq A \leq 170$ kütle bölgesinde yer alan, $N_\pi N_\nu$ pseudospin kuplajı kullanılarak eşleştirilen ^{132}Sm - ^{164}Yb , ^{134}Sm - ^{162}Yb , ^{136}Sm - ^{160}Yb , ^{132}Nd - ^{164}Hf , ^{132}Ce - ^{164}W , ^{136}Nd - ^{160}Hf , ^{166}Hf - ^{162}Yb , ^{168}Hf - ^{160}Er , ^{170}Yb - ^{160}Dy , ^{170}Hf - ^{158}Dy ve ^{166}Er - ^{162}Dy pseudo-ayna çekirdek ikililerinin dipol özellikleri karşılaştırılarak düşük enerji seviyelerinde gözlemlenen benzer seviye yapısı özelliklerinin sınırları incelenmiştir.

Yapılan çalışmada, matematiksel ve teorik büyüklükler için Fortran programında hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar, elektrik dipol uyarılmalarının spektroskopik bölge (0-4 MeV), PDR (4-8 MeV) ve GDR (8-25 MeV) bölgesindeki karakteristik özelliklerini içermektedir. Çalışmanın başlıca sonuçları şunlardır:

1. QRPA Metodu Hesaplamaları: QRPA yönteminin simetri kırınımına neden olan sahte durumları düzeltmek için Kuliev ve ark. (2000) geliştirdiği TGI model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.
2. İndirgenmiş Geçiş Olasılıkları: TGI QRPA yaklaşımına göre her çekirdeğin indirgenmiş dipol geçiş olasılıkları ($B(E1)$ değerleri) hesaplanmıştır.
3. Enerji: Tüm izotopların enerji spektrumları oluşturulmuş ve tek parçacık enerjileri deformasyondan kaynaklanan Woods-Saxon potansiyelinden hesaplanmıştır (Dudek ve ark, 1984).
4. Fotoabsorbsiyon Tesir Kesiti (FATK): İzotopların toplam elektrik dipol FATK'ları TGI QRPA yaklaşımı ile teorik olarak hesaplanmış ve deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler mevcut olmadığında, FATK değerleri TALYS ve EMPIRE reaksiyon kodları kullanılarak elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca, deforme çekirdeklerde $K=0$ ve $K=1$ dallarının toplam FATK'ya katkıları incelenmiş ve grafiklerle gösterilmiştir.

5. Radyasyon Kalınlığı: Tüm izotopların enerji ağırlıklı ve enerji ağırlıksız indirgenmiş dipol radyasyon kalınlıkları hesaplanmış ve şekillerle gösterilmiştir.

Bu hesaplamalar için kullanılan parametreler belirli kaynaklardan elde edilen ve serbest parametrelerle karıştırılmaması gereken fiziksel niceliklerdir. Süperakışkan modelin Δ ve λ parametreleri gibi bazı parametreler Soloviev (1976), Oishi ve ark. (2016) çalışmalarından seçilmiş aralıklardan alınmış ve tüm izotoplar için Tablo 4.1’de sunulmuştur. Deformasyon parametresi, çekirdeklerin elektrik dipol özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan önemli bir parametredir ve bu parametreler çekirdeğin elektriksel yük dağılımına karşılık gelen kuadrupol momentin deformasyon parametresiyle olan ilişkisini belirler.

$$Q_0 = \frac{3}{\sqrt{5\pi}} Z R_0^2 \beta_2 (1 + 0,36\beta_2) \quad (4.1)$$

ile verilmektedir. Bu ifadede yer alan Z çekirdekteki proton sayısını, R_0 ise çekirdek yarıçapını temsil etmektedir ($R_0 = 1,2A^{1/3} fm$). İki deformasyon parametresi arasındaki ilişki;

$$\delta_2 = 0,945\beta_2 [1 - 2,56A^{-2/3}] + 0,34\beta_2^2 \quad (4.2)$$

dir (Bohr ve Motelson, 1997). Bu çalışmada, nükleer data merkezi, Raman ve ark. (2001), Möller ve ark. (1995), Oishi ve ark. (2016), Gurevich ve ark. (1976a) gibi çalışmalardan β_2 deformasyon parametrelerinin alınıp (4.2) eşitliğinde yerine yazılmasıyla δ_2 deformasyon parametresi elde edilmiştir. Her iki parametreye ait değerler tüm izotoplar için Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Parçacık-boşluk simetrisine sahip incelenen çekirdeklerin Δn ve Δp çiftlenim etkileşme sabitleri, λ_p ve λ_n kimyasal potansiyelleri ile ortalama alan deformasyon parametreleri (δ_2).

Çekirdek	Δn	λ_n	Δp	λ_p	δ_2	β
^{132}Ce	1,28	-9,480	1,16	-4,772	0,2428	0,264
^{132}Nd	1,33	-10,395	1,16	-3,250	0,382	0,382
^{132}Sm	1,34	-11,758	1,03	-1,5617	0,323	0,323
^{134}Sm	1,33	-6,9307	1,03	-0,7822	0,326	0,366
^{136}Nd	1,20	-9,744	1,18	-4,240	0,2428	0,236
^{136}Sm	1,28	-10,7353	1,03	-2,633	0,293	0,293
^{158}Dy	1,12	-8,102	1,03	-6,253	0,285	0,327
^{160}Dy	1,07	-7,768	1,03	-6,839	0,293	0,3387
^{160}Er	1,12	-8,637	1,09	-5,058	0,265	0,304
^{160}Hf	1,16	-10,124	1,01	-2,306	0,152	0,152
^{160}Yb	1,15	-9,3739	1,17	-3,4732		0,230
^{162}Dy	1,01	-7,450	1,03	-7,440	0,297	0,3430
^{162}Yb	1,12	-9,0696	1,17	-3,9064	0,229	0,263
^{164}Hf	1,12	-9,417	1,01	-3,176	0,208	0,208
^{164}Hf	1,15	-10,294	0,96	-1,943	0,161	0,161
^{166}Er	0,95	-7,592	1,09	-6,695	0,300	0,344
^{166}Hf	1,07	-9,190	0,99	-3,637	0,217	0,250

Tablo 4.1. (Devamı) Parçacık-boşluk simetrisine sahip incelenen çekirdeklerin Δn ve Δp çiftlenim etkileşme sabitleri, λ_p ve λ_n kimyasal potansiyelleri ile ortalama alan deformasyon parametreleri (δ_2).

^{168}Hf	1,01	-8,928	0,99	-3,990	0,240	0,278
^{168}Yb	0,95	-8,102	0,98	-3,380	0,086	0,327
^{170}Hf	0,95	-8,588	0,99	-2,825	0,086	0,301

Güç parametresi; Çekirdeklerin elektrik dipol uyarılmalarının enerjilerini ve geçiş özelliklerini açıklamak için kullanılan parametrelerden biri χ güç parametresidir. Bu çalışmada, araştırılan izovektör dipol-dipol uyarılmaları için güç parametresi,

$$\chi = \wp A^{-5/3} fm^{-2} MeV \quad (4.3)$$

ile verilmektedir (Pyatov ve Salamov, 1977). İzovektör simetri potansiyeli ile bağlantılı olan χ güç parametresinde yer alan $\wp$ değeri, 100-600 aralığında (Pyatov ve Salamov, 1977; Guliyev ve ark, 2002; Linneman ve ark, 2003) değişen sabit bir sayıdır. Bu çalışmada, $\wp$ 'ye 300-500 aralığında değerler verilmiştir. A ise çekirdeğin kütle numarasını temsil etmektedir.

Aşağıda pseudo-ayna çekirdek çiftleri için yapılan hesaplamalar karşılaştırılmıştır. Bu bölümün sonunda, TGI QRPA ile araştırılan elektrik dipol özelliklerine ait elde edilen tüm veriler birleştirilerek; parçacık-boşluk simetrisine sahip çift-çift çekirdeklerde ($130 \leq A \leq 170$) $I^\pi = 1^-$ uyarılmış seviye özellikleri sistematik olarak incelenmiştir.

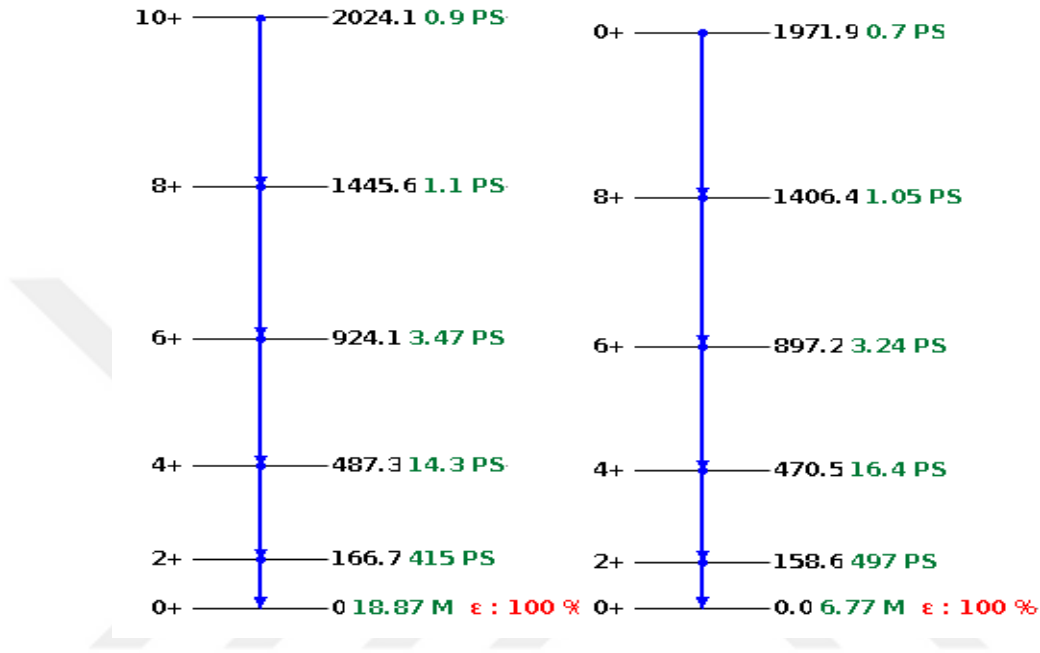
4.1. Parçacık-Boşluk Simetrisine Sahip Pseudo-Ayna Çekirdek İkililerinin Özelliklerinin Karşılaştırılmasına Ait Bulgular

4.1.1. ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

Parçacık boşluk simetrisine sahip, $N_p N_n$ sayıları 120 olan ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, TGI-QRPA yaklaşımı kullanılarak hesaplanan $B(E1)$ indirgenmiş geçiş olasılıklarının analizini, seviye diyagramlarının incelenmesini ve ulaşılabilen deneysel gözlemler ile teorik hesaplamalar arasındaki karşılaştırmalı değerlendirmeyi

içermektedir. Ek olarak, TALYS kod ile farklı yaklaşımlar kullanılarak iç tutarlılık araştırılmış ve belirtilen parçacık-boşluk simetrikli çekirdek çiftlerinin nükleer özelliklerini modellemedeki doğruluk ve güvenilirlik değerlendirilmiştir.

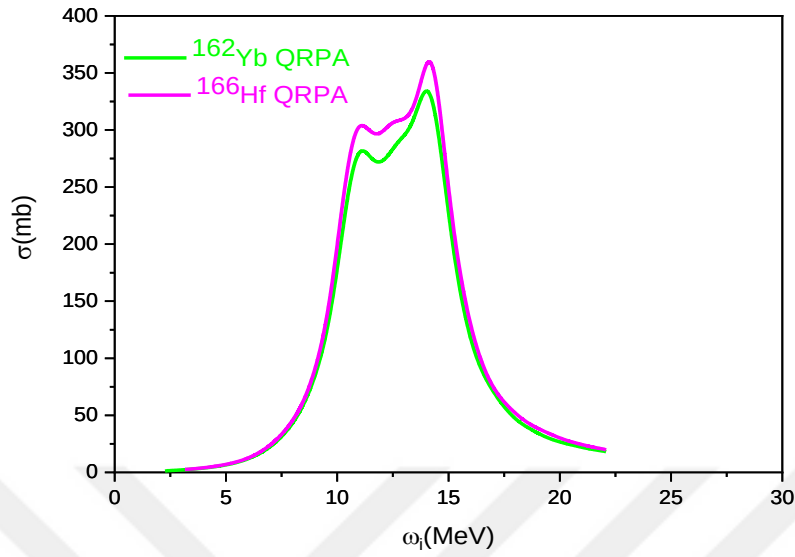
^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdeklerinin yrast bant seviye özelliklerinin karşılaştırılması aşağıdaki şekilde verilmiştir (National Nuclear Data Center [NuDat], 2024).



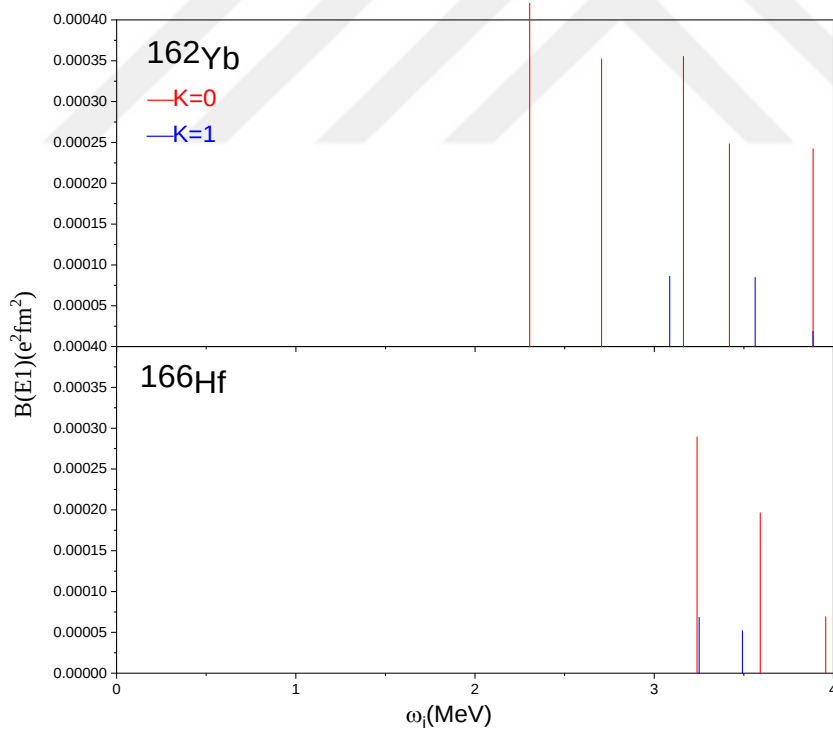
Şekil 4.1. ^{162}Yb (sol)- ^{166}Hf (sağ) çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

Şekil 4.1'den çekirdek çiftinin seviye enerjilerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdek çiftinin elektrik dipol uyarılma özelliklerinin incelenmesine Şekil 4.2'de elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özelliklerinin karşılaştırılması ile başlanmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti aşağıda verilmiştir. Ardından parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdek çiftine ait 0-4, 4-8, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki B(E1) değerleri K=0 ve K=1 modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan Kopecky-Uhl Genelleştirilmiş Lorentzian (s1), Brink-Axel Lorentzian (s2), Hartree-Fock BCS (s3), Hartree-Fock-Bogolyubov (s4), Goriely'nin Hibrit Modeli (s5), Goriely T'ye bağlı HFB (s6), T'ye bağlı RMF (relatif ortalama alan) (s7), Gogny D1M HFB+QRPA (s8) yaklaşımları ile fotoabsorbsiyon tesir kesitleri birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında bulunan

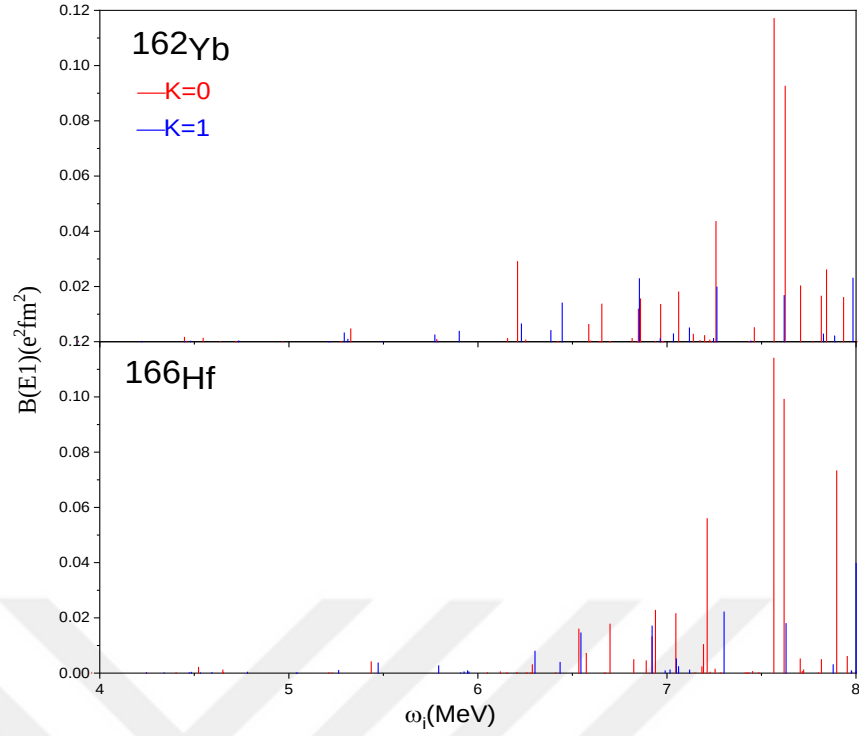
seviye sayıları yine karşılaştıran niceliklerden biridir. Bu işlemlere ait tüm bulgular Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8’de verilmiştir.



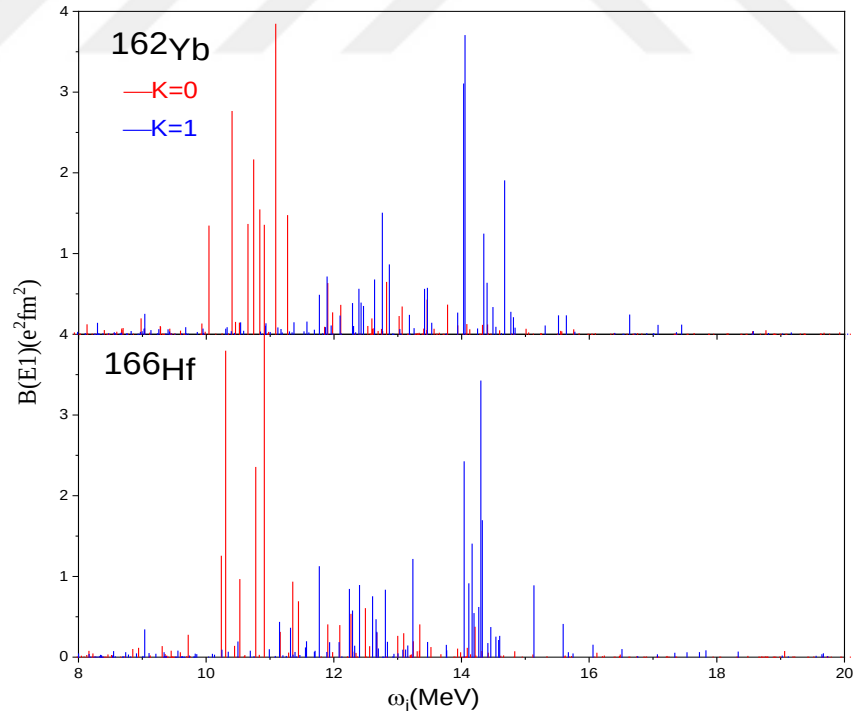
Şekil 4.2. ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.



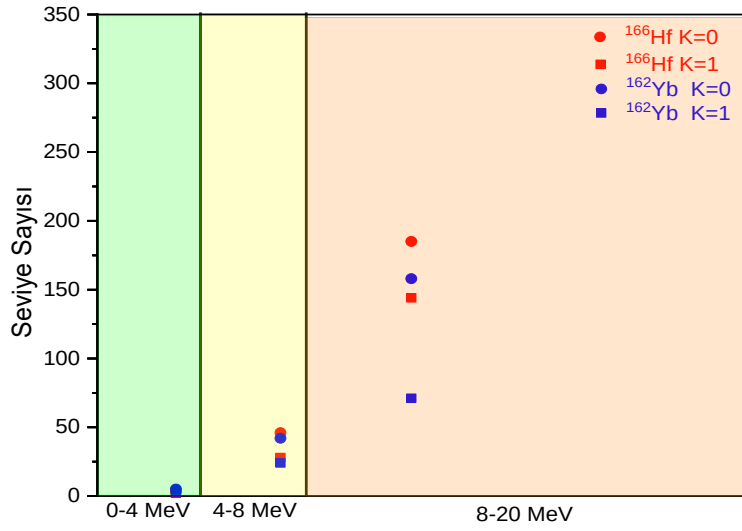
Şekil 4.3. ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



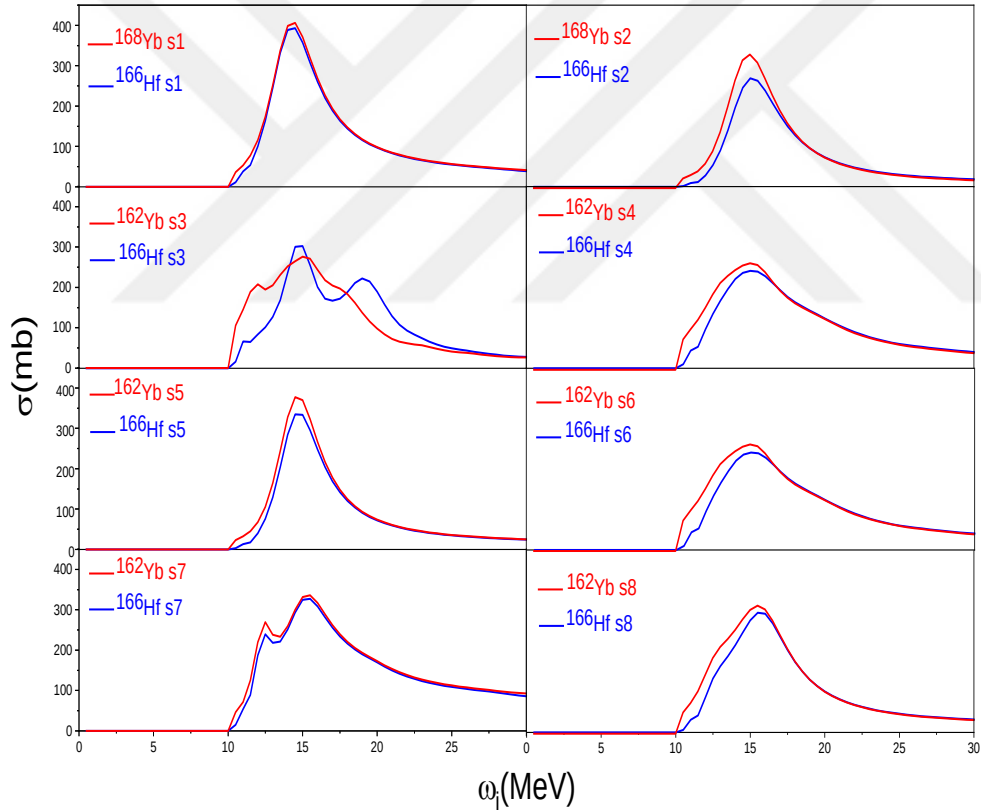
Şekil 4.4. ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



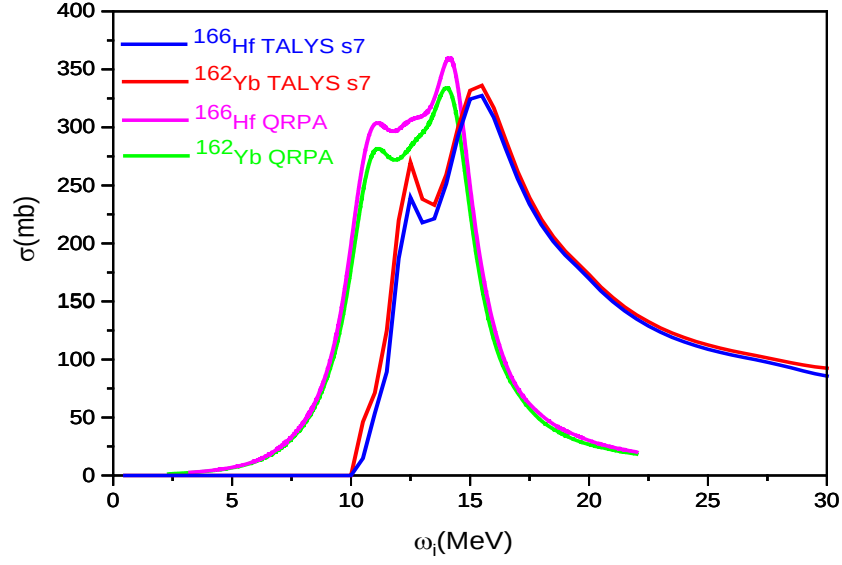
Şekil 4.5. ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.6. ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.7. ^{166}Hf ve ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.8. ^{166}Hf ve ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti ^{166}Hf - ^{162}Yb 'un TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)]$, toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)\omega]$ ve ortalama enerji $[\bar{\omega}]$ oranları ile toplam radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Gamma_0]$ ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Sigma \Gamma_{red}]$ oranları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.2, Tablo 4.3) sırasıyla verilmiştir.

Tablo 4.2. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{^{162}\text{Yb}}}{\Sigma B(E1)_{^{166}\text{Hf}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{^{162}\text{Yb}}}{\Sigma B(E1)_{^{166}\text{Hf}}}$		$\frac{\bar{\omega}_{^{162}\text{Yb}}}{\bar{\omega}_{^{166}\text{Hf}}}$	
	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	4,91	2,91	3,54	2,91	1	1
4-8	0,94	0,94	0,94	0,94	0,99	0,99
8-25	0,95	0,83	0,95	0,83	0,83	1

Tablo 4.3. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ ve $K=1$ modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma\Gamma_{0^{162}Yb}}{\Sigma B\Gamma_{0^{166}Hf}}$		$\frac{\Sigma\Gamma_{red\,^{162}Yb}}{\Sigma B\Gamma_{red\,^{166}Hf}}$	
	MeV	K=0	K=1	K=0
0-4	2,23	3,34	3,54	0,34
4-8	0,92	1,1	0,93	1
8-25	0,95	0,83	0,95	0,83

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti ^{166}Hf - ^{162}Yb 'un 0-25 MeV aralığındaki elektrik dipol spektrumunda bulunan tüm seviyelerin enerji (ω), elektrik dipol indirgenmiş geçiş olasılıkları $B(E1)$ değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca her bir benzer seviyenin bahsedilen değerlerinin oranı bulunarak bire yakınlığına bakılmıştır. Bu oranların bir olması karşılaştırılan niceliklerin örtüşme durumunu göstermektedir. Elde edilen tüm veriler tablolastırılmıştır. Bu tablo çok yer tuttuğu için EK-A da verilmiştir. Ayrıca ^{166}Hf - ^{162}Yb PMN çiftinin hem 0-10 MeV hem de 0-30 MeV enerji aralığındaki 1^- uyarılmalarının seviye şemaları karşılaştırılmıştır. Aynı karşılaştırma bu tezde çalışılan tüm PMN çiftleri için de yapılmıştır. Tüm PMN çiftlerine ait 0-10 MeV enerjisi aralığındaki $B(E1; 1^- \rightarrow 0^+)$ elektrik dipol geçişlerine ait seviye şemaları EK-B'de verilmiştir.

^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıkları için yukarıda verilen şekillerdeki ve tablolardaki verilere göre aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

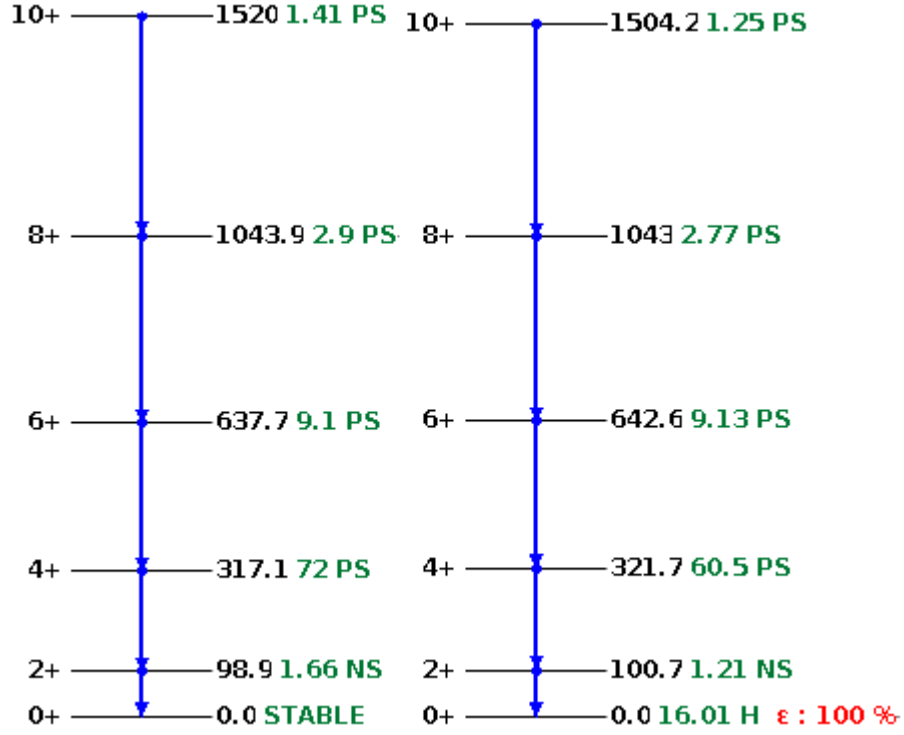
- Yrast bant seviye şemaları karşılaştırıldığında bu çekirdek çiftinin ilk uyarılmış seviyelerinin dejenere yapısına sahip olduğu görülmüştür.
- ^{162}Yb - ^{166}Hf pseudo-ayna çekirdekleri için fotoabsorbsiyon tesir kesitleri TGI-QRPA ile 0-30 MeV enerji aralığında hesaplanmıştır (20 MeV den sonraki seviyeler oldukça küçük çıktığı için grafiklerde 20 MeV'e kadar gösterilmiştir). Grafikte her iki çekirdeğin deforme olmalarından dolayı fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarında asimetric bir yapının olduğu görülmektedir. Pseudo-ayna ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının birbirleriyle neredeyse tamamen örtüştüğü bulunmuştur.
- 0-4 MeV enerji aralığındaki K=0 modu uyarılmaları incelendiğinde ^{166}Hf un 3, ^{62}Yb 'in 5 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. ^{166}Hf için toplam B(E1) $5.54\text{E-}01\text{e}^2\text{fm}^2$, ^{162}Yb için toplam B(E1) $1.96\text{E+}00\text{e}^2\text{fm}^2$ dir. K=1 modundaki seviyeler incelendiğinde ^{166}Hf un 2, ^{62}Yb 'in 3 seviyesi vardır. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmüştür.
- 4-8 MeV enerji aralığındaki K=0 modu uyarılmaları incelendiğinde ^{166}Hf 'un 46, ^{62}Yb 'in 42 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. K=1 modundaki seviye sayıları ^{166}Hf 'un, ^{62}Yb 'in 24 seviyesi vardır. Bu enerji aralığında hem K=0 hem K=1 modundaki seviyelerin dejenere oldukları belirlenmiştir.
- 8-25 MeV bölgesindeki K=0 modunda ^{166}Hf un 185, ^{62}Yb 'in 158 seviyenin olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede de ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdeklerin seviyelerin benzer yapısı karşımıza çıkmaktadır.
- Seviye sayılarının 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında birbirlerine yakın olduğu 8-25 MeV enerji aralığında ise ^{166}Hf 'un ^{162}Yb çekirdeğinden hem K=0 hem de K=1 modunda daha fazla seviye sayısına sahip olduğu belirlenmiştir.

- TALYS kod kullanılarak sekiz farklı yaklaşımda fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplandığında ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdeklerinin genel olarak tüm yaklaşımlarda benzer bir yapı gösterdikleri bulunmuştur.
- TGI-QRPA ve TALYS (s7) kodu kullanılarak hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılmasında hem yaklaşımlar arasında hem de çekirdekler arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega, \bar{\omega}$ değerleri oranlarından elde edilen sonuçlar bize bu iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini göstermiştir. 0-4 MeV enerji aralığında ise yalnızca ortalama enerjilerin oranları benzerdir.
- ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma \Gamma_0$, $\Sigma \Gamma_{red}$ oranlarından elde edilen sonuçlar, toplam $B(E1)$ lerde görülüne benzer olarak, iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini, 0-4 MeV enerji aralığında ise oranların birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir.
- ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol uyarılma spektrumunda, $K=0$ ve $K=1$ modlarındaki benzer bazı seviyelerin özelliklerinin EK-A'da verildiği tablolardan, her iki çekirdeğin spektrumunda enerji oranlarının bire yakın olduğu pek çok seviye olduğu, bu seviyelerin $B(E1)$ değerlerinin de genellikle bire yakın oranlarının olduğu belirlenmiştir.

4.1.2. ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

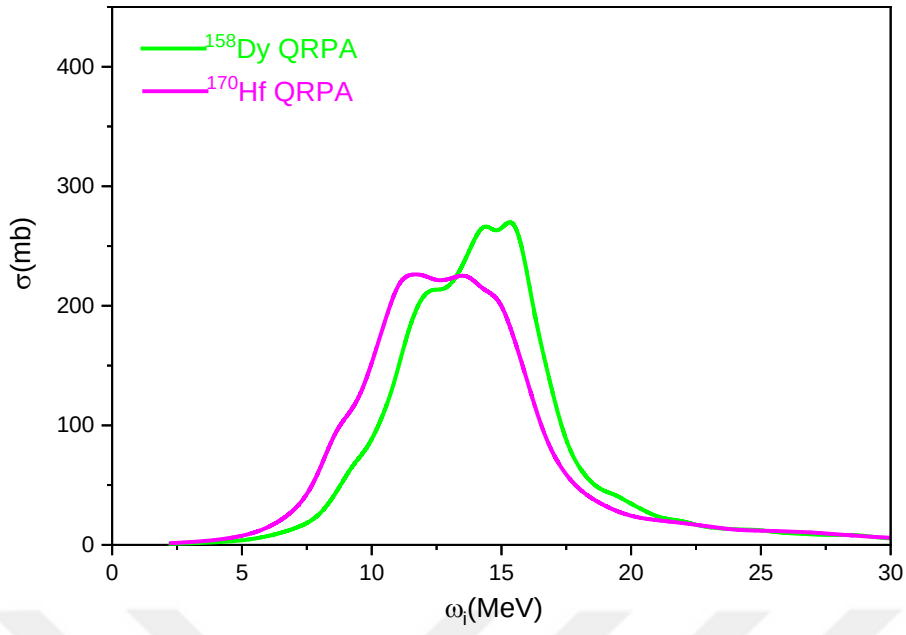
Parçacık boşluk simetrisine sahip, NpNn sayıları 160 olan ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, TGI-QRPA yaklaşımı kullanılarak hesaplanan $B(E1)$ indirgenmiş geçiş olasılıklarının analizini, seviye diyagramlarının incelenmesini ve ulaşılabilen deneysel gözlemler ile teorik hesaplamalar arasındaki karşılaştırmaları içermektedir. Ek olarak, TALYS kod ile fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplanmıştır.

^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin yrast bantı seviye özelliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.9'da verilmiştir (National Nuclear Data Center [NuDat], 2024).

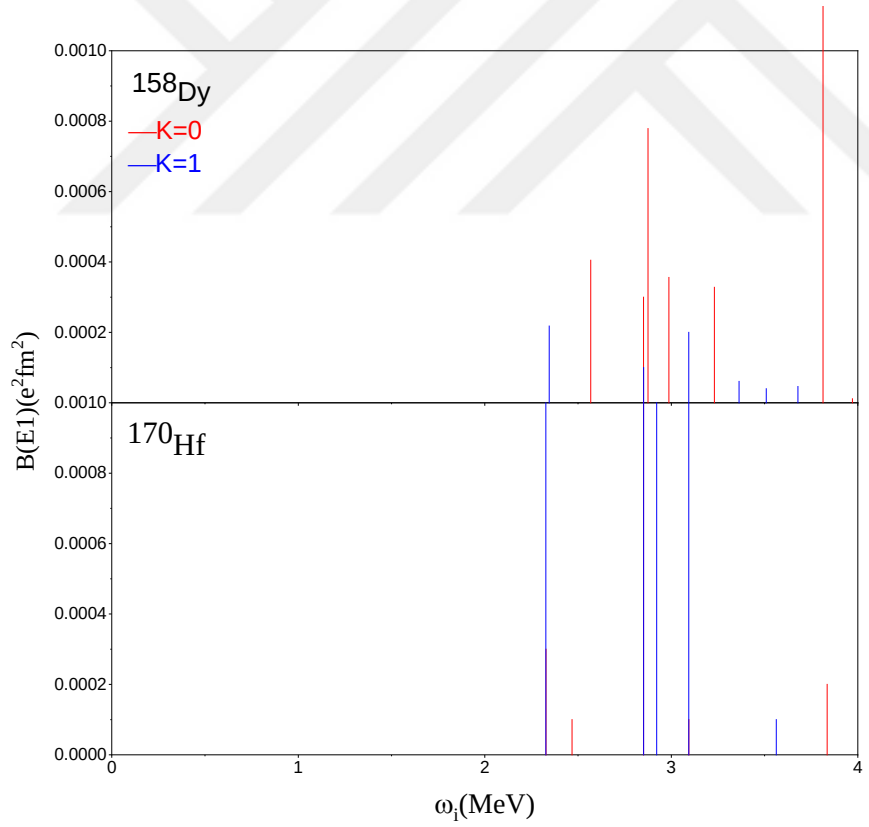


Şekil 4.9. ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

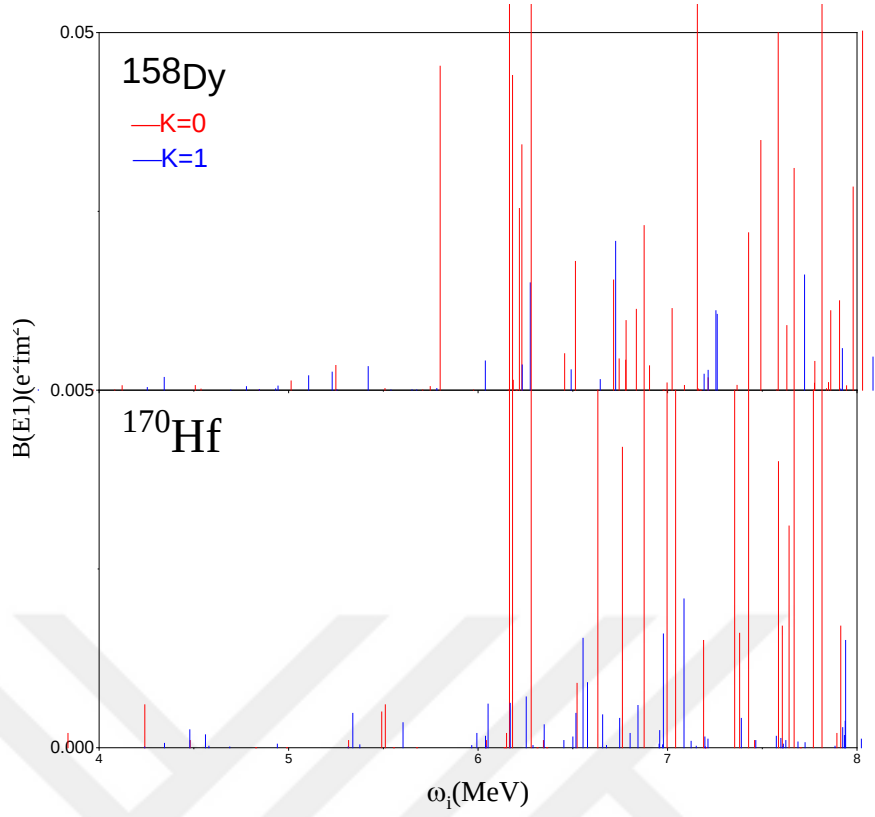
^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdek çiftinin elektrik dipol uyarılma özelliklerinin incelenmesine elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özelliklerinin karşılaştırılması ile başlanmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti Şekil 4.10'da verilmiştir. Ardından parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdek çiftine ait 0-4, 4-8, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki B(E1) değerleri K=0 ve K=1 modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan yaklaşımlar ile fotoabsorbsiyon tesir kesitleri birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında bulunan seviye sayıları da karşılaştırılmıştır. Bu işlemlere ait tüm bulgular aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16) sırasıyla verilmiştir.



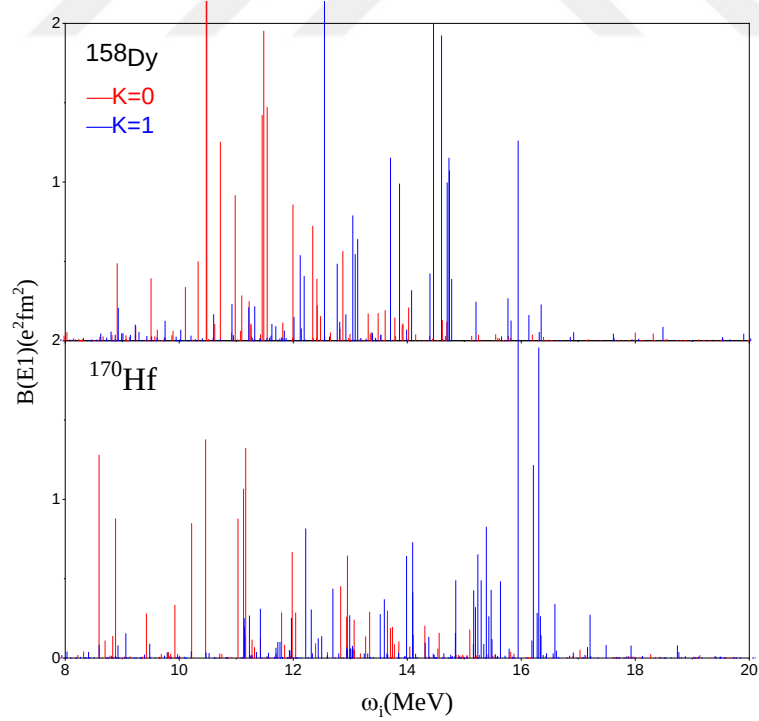
Şekil 4.10. ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.



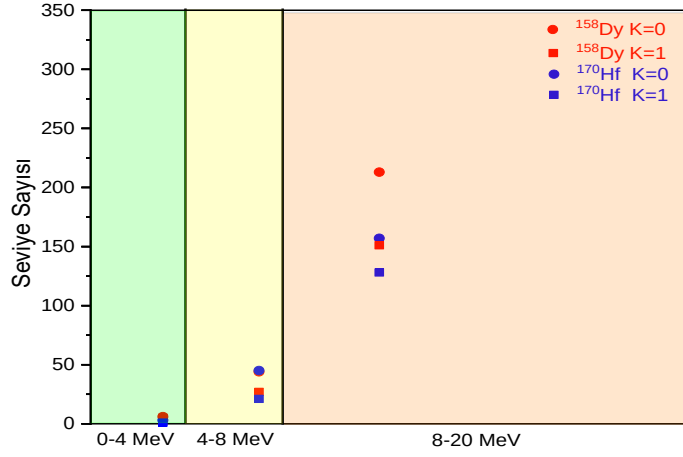
Şekil 4.11. ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki B (E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



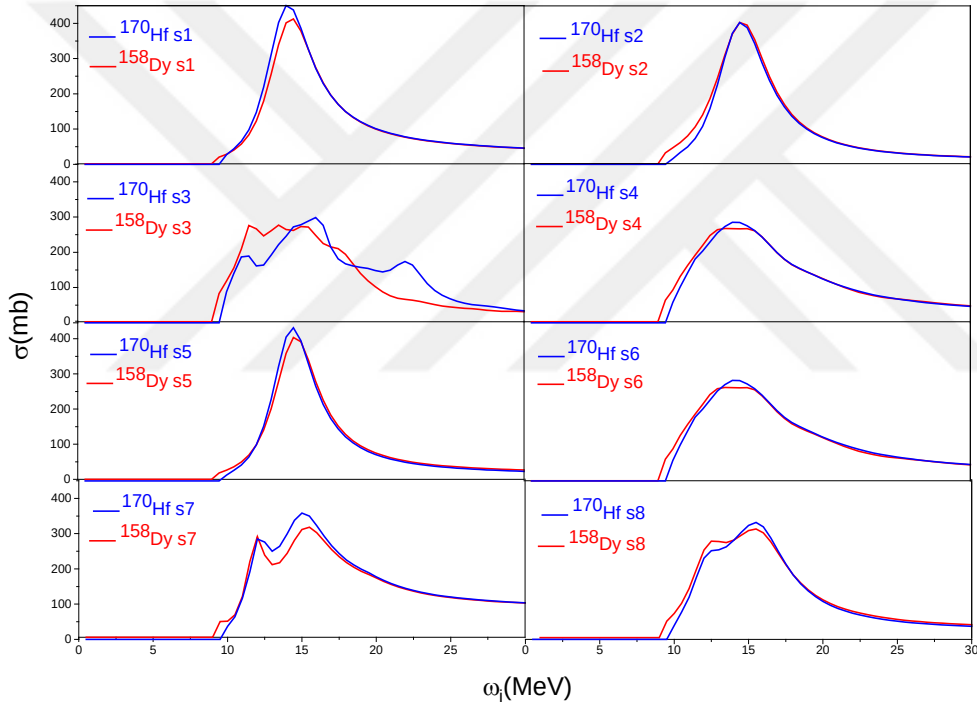
Şekil 4.12. ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki B (E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



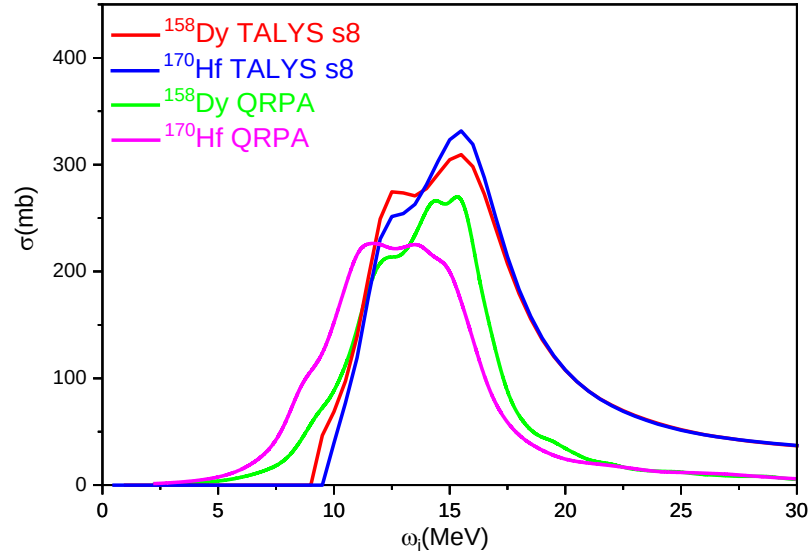
Şekil 4.13. ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki B (E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.14. ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.15. ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.16. ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s8) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti ^{158}Dy - ^{170}Hf 'un TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)]$, toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)\omega]$ ve ortalama enerji $[\bar{\omega}]$ oranları ile toplam radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Gamma_0]$ ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Sigma \Gamma_{red}]$ oranları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.4, Tablo 4.5) sırasıyla verilmiştir.

Tablo 4.4. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{170}Hf - ^{158}Dy çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{^{158}\text{Dy}}}{\Sigma B(E1)_{^{170}\text{Hf}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{^{158}\text{Dy}}}{\Sigma B(E1)_{^{170}\text{Hf}}}$		$\frac{\bar{\omega}_{^{158}\text{Dy}}}{\bar{\omega}_{^{170}\text{Hf}}}$	
	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	3,31	18,05	3,31	17,9	1,34	1,07
4-8	0,18	0,10	0,18	0,10	0,95	0,87
8-25	1,20	0,87	1,20	0,87	1,28	1,36

Tablo 4.5. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{170}Hf - ^{158}Dy çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma \Gamma_{0^{158} Dy}}{\Sigma B \Gamma_{0^{170} Hf}}$		$\frac{\Sigma \Gamma_{red^{158} Dy}}{\Sigma B \Gamma_{red^{170} Hf}}$	
	MeV	K=0	K=1	K=0
0-4	3,31	24,72	3,31	18
4-8	0,16	0,07	0,18	0,10
8-25	2,25	2	1,20	0,87

^{170}Hf - ^{158}Dy çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki benzer seviyelerden, çok fazla yer tuttuğu için, yalnızca 0-8 MeV aralığındaki bazı seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve bunların oranları Tablo 4.6, Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.6. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{170}Hf - ^{158}Dy çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-7 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{158}Dy		^{170}Hf		$^{158}\text{Dy}/^{170}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
2,5679	0,2850	2,3281	0,2931	1,10	0,97
4,0828	0,0150	5,5535	0,0147	0,74	1,02
5,7077	0,0142	5,5535	0,0147	1,02	0,97
6,1595	0,0114	6,3111	0,0161	0,98	0,70
6,2191	13,2000	6,1659	13,3912	1	0,99
7,4935	17,9000	7,7698	18,1602	0,96	0,99
6,9768	0,0005	7,7007	0,0008	0,90	0,63
6,8359	6,8400	7,4277	7,1855	0,92	0,95

Tablo 4.7. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{170}Hf - ^{158}Dy çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-7 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{158}Dy		^{170}Hf		$^{158}\text{Dy}/^{170}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
3,36350	0,0447	2,0825	0,0483	1,61	0,93
4,34370	1,2300	4,5613	1,7590	0,95	1,06
4,69510	0,0082	4,9307	0,0079	0,95	1,03

Tablo 4.7. (Devamı) Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{170}Hf - ^{158}Dy çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{158}Dy		^{170}Hf		$^{158}\text{Dy}/^{170}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
4,77780	0,3410	5,3761	0,3586	0,89	0,95
4,94420	0,4000	4,9404	0,5109	1	0,78
5,23010	1,7600	6,0391	1,6135	0,87	1,09
5,54050	0,0056	5,5663	0,0035	1	1,55
5,78240	0,1580	5,3143	0,1228	1,08	1,28
6,23290	2,2400	6,9588	2,3853	0,90	0,94
6,64500	0,9780	6,4530	0,9739	1,02	1

^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-20 MeV enerji aralıkları için yukarıda verilen şekillerdeki ve tablolardaki verilere göre aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Yrast bant seviye şemaları karşılaştırıldığında bu çekirdek çiftinin ilk uyarılmış seviyelerinin dejenere yapısına sahip olduğu görülmüştür.
- ^{158}Dy - ^{170}Hf pseudo-ayna çekirdekleri için fotoabsorbsiyon tesir kesitleri TGI-QRPA ile 0-30 MeV enerji aralığında hesaplanmıştır. Grafikte her iki çekirdeğin deforme olmalarından dolayı fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarında asimetric bir yapının olduğu görülmektedir. Pseudo-ayna ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının birbirleriyle oldukça örtüştüğü bulunmuştur.
- 0-4 MeV enerji aralığındaki K=0 modu uyarılmaları incelendiğinde ^{158}Dy 'nin 6, ^{170}Hf 'de 3 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. K=1 modundaki

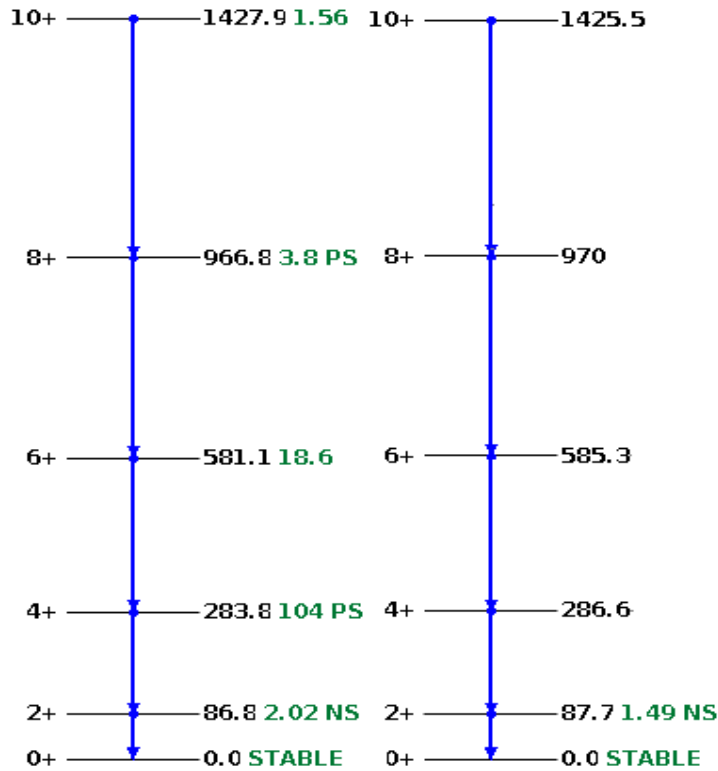
seviyeler incelendiğinde ^{170}Hf 'un 1, ^{158}Dy 'un 5 seviyesi vardır. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmüştür.

- 4-8 MeV enerji aralığındaki $K=0$ modu uyarılmaları incelendiğinde ^{158}Dy un 44, ^{170}Hf 'in 45 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. $K=1$ modundaki seviye sayıları ^{158}Dy 'un 27, ^{170}Hf 'in 21 seviyesi vardır. Bu enerji aralığında hem $K=0$ hem $K=1$ modundaki seviyelerin dejenere oldukları belirlenmiştir.
- 8-25 MeV bölgesindeki $K=0$ modunda ^{158}Dy 'nin 151, ^{170}Hf 'de 128 seviyenin olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede de ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerin seviyelerin dejenere yapısı karşımıza çıkmaktadır.
- Seviye sayılarının 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında birbirlerine yakın olduğu 8-25 MeV enerji aralığında ise ^{158}Dy 'nin ^{170}Hf çekirdeğinden hem $K=0$ hem de $K=1$ modunda daha fazla seviye sayısına sahip olduğu belirlenmiştir.
- TALYS kod kullanılarak sekiz farklı yaklaşımda fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplandığında ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin genel olarak tüm yaklaşımlarda benzer bir yapı gösterdikleri bulunmuştur.
- TGI-QRPA ve TALYS (s7) kodu kullanılarak hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılmasında hem yaklaşımlar arasında hem de çekirdekler arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerleri oranlarından elde edilen sonuçlar bize bu iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini göstermiştir. 0-4 MeV enerji aralığında ise ortalama enerjilerin oranları bir çıkmıştır.
- ^{158}Dy - ^{170}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma \Gamma_0$, $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ oranlarından elde edilen sonuçlar, toplam $B(E1)$ lerde görülüne benzer olarak, iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini, 0-4 MeV enerji aralığında ise oranların birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir.

- $^{158}\text{Dy}-^{170}\text{Hf}$ çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol uyarılma spektrumunda, $K=0$ ve $K=1$ modlarındaki benzer bazı seviyelerin özelliklerinin verildiği tablodan, her iki çekirdeğin spektrumunda enerji oranlarının bire yakın olduğu çok sayıda seviye olduğu, bu seviyelerin $B(E1)$ değerlerinin de genellikle bire yakın oranlarının olduğu belirlenmiştir.

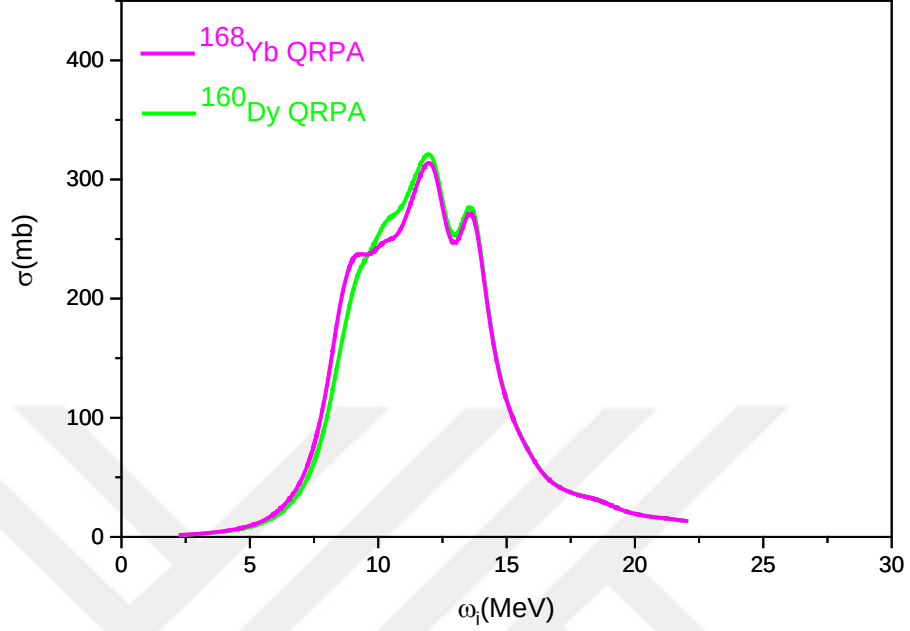
4.1.3. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

Parçacık boşluk simetrisine sahip, $N_p N_n$ sayıları 192 olan $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. TGI-QRPA yaklaşımı kullanılarak hesaplanan $B(E1)$ indirgenmiş geçiş olasılıkları, seviye şemaları, deneysel veriler ve teorik hesaplama sonuçları karşılaştırılmıştır. Ek olarak, TALYS kod ile farklı yaklaşımlar kullanılarak parçacık-boşluk simetrik çekirdek çiftlerinin fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplanmıştır. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdeklerinin taban durum bandı (yrast bant) seviye özelliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.17’de verilmiştir (National Nuclear Data Center [NuDat], 2024).



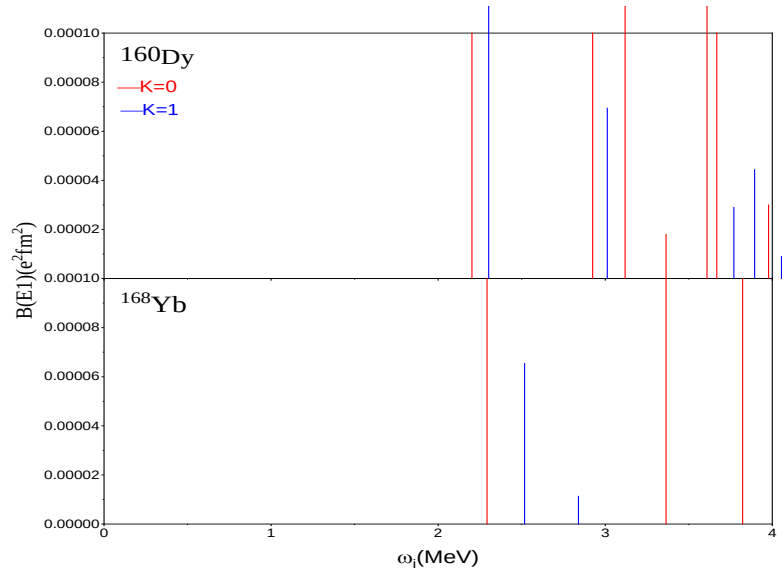
Şekil 4.17. $^{160}\text{Dy}-^{168}\text{Yb}$ çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek çiftinin elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özellikleri karşılaştırılmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti Şekil 4.18’de verilmiştir.

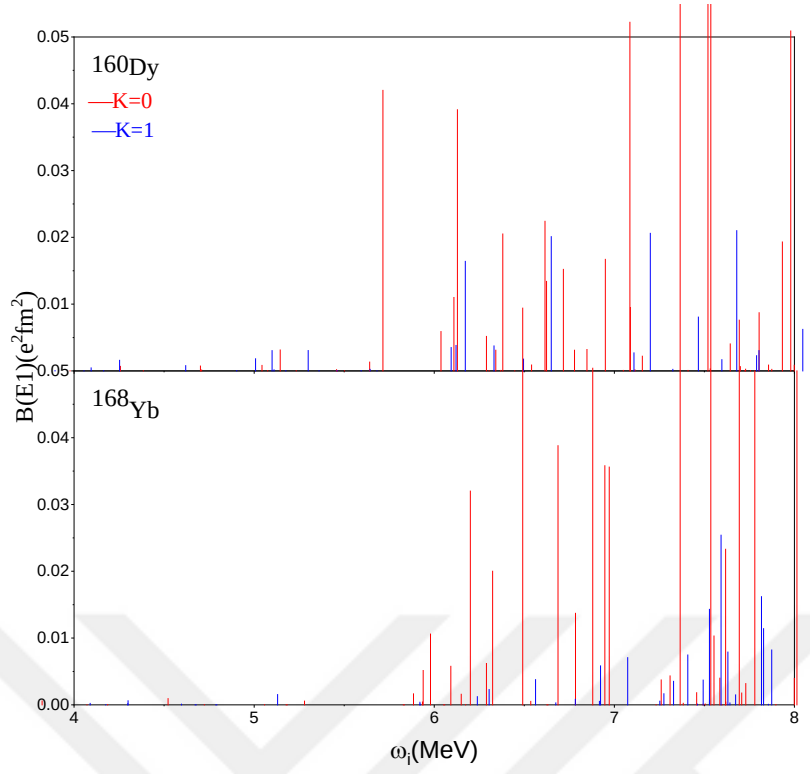


Şekil 4.18. ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan $K=0$, $K=1$ ve toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon kesiti dağılımı.

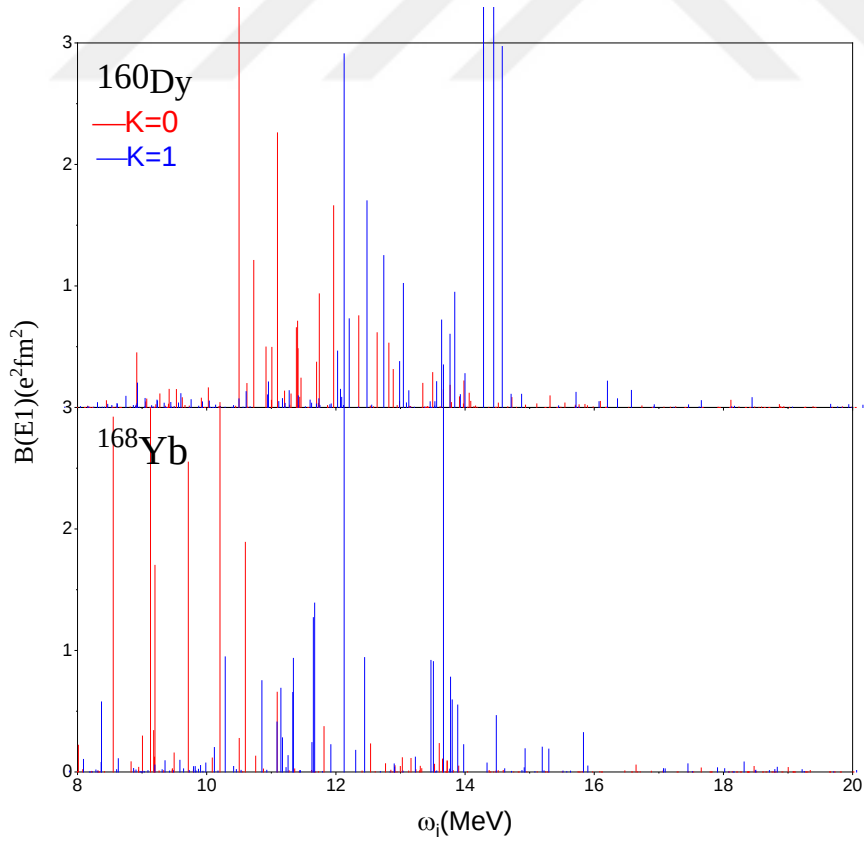
Parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek çiftine ait 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $B(E1)$ değerleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.19. ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değerlerinin $K=0$ ve $K=1$ modları için enerjiye göre dağılımı.

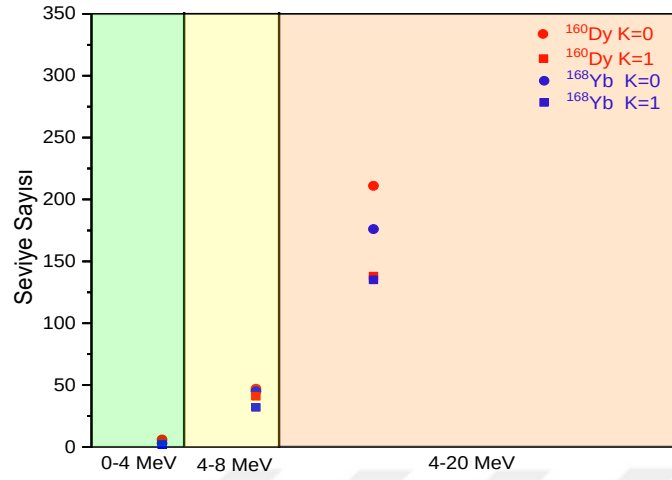


Şekil 4.20. ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değerlerinin $K=0$ ve $K=1$ modları için enerjiye göre dağılımı.



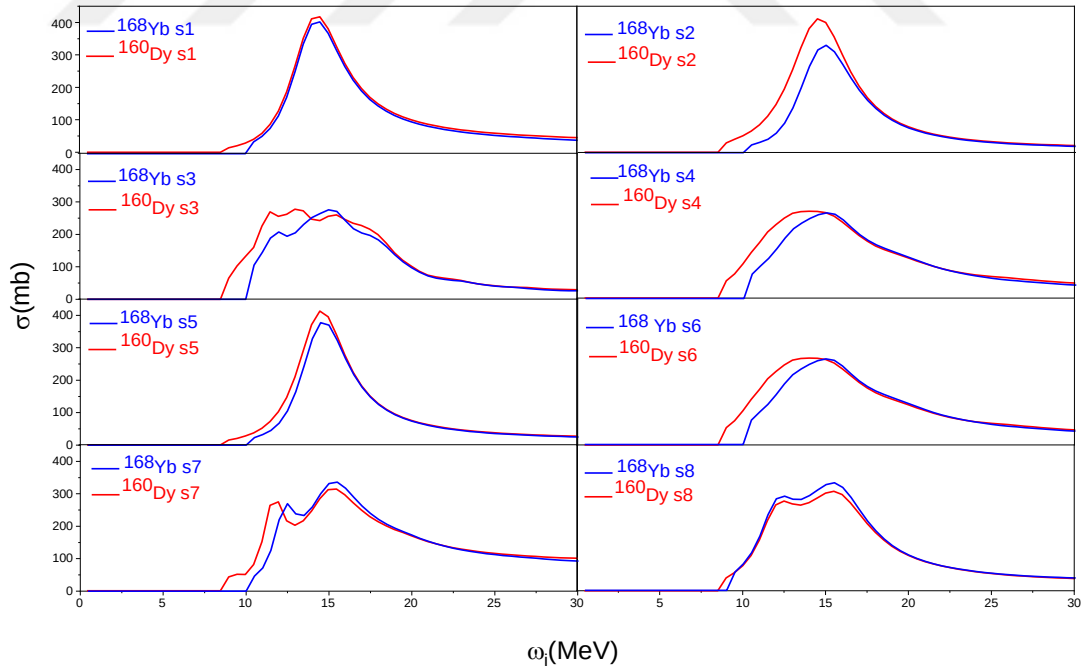
Şekil 4.21. ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değerlerinin $K=0$ ve $K=1$ modları için enerjiye göre dağılımı.

Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında bulunan seviye sayıları Şekil 4.22’de karşılaştırılmıştır.

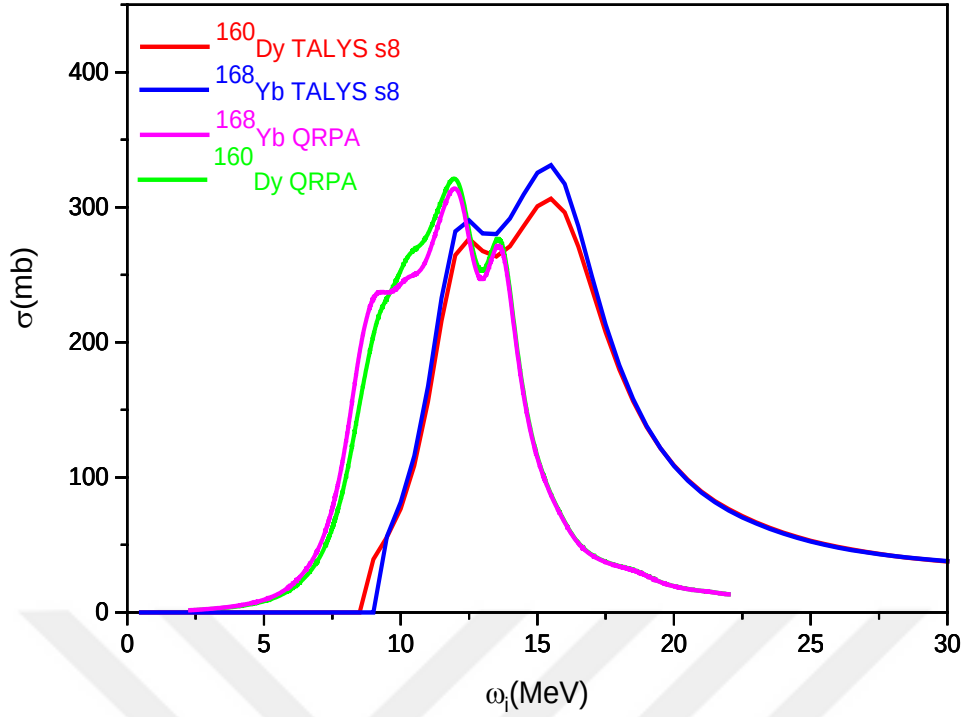


Şekil 4.22. ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeğinin K=0 ve K=1 modları için seviye sayılarının karşılaştırılması.

Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan sekiz yaklaşıma göre fotoabsorbsiyon tesir kesitleri birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.23 ve Şekil 4.24).



Şekil 4.23. ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeğinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodunda farklı yaklaşımlar kullanılarak elde edilen değerleri.



Şekil 4.24. ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeğinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir değerinin TGI-QRPA ve TALYS kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti olan ^{168}Yb - ^{160}Dy 'un TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)]$, toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)\omega]$ ve ortalama enerji $[\bar{\omega}]$ oranları ile toplam radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Gamma_0]$ ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Sigma \Gamma_{red}]$ oranları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.8, Tablo 4.9) sırasıyla verilmiştir.

Ardından ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ ve $K=1$ modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve bunların hesaplanan oranları Tablo 4.10, Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.8. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{^{160}\text{Dy}}}{\Sigma B(E1)_{^{168}\text{Yb}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{^{160}\text{Dy}}}{\Sigma B(E1)_{^{168}\text{Yb}}}$		$\frac{\bar{\omega}_{^{160}\text{Dy}}}{\bar{\omega}_{^{168}\text{Yb}}}$	
MeV	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	2,82	0,58	2,83	4,47	0,96	1,08
4-8	0,47	0,95	0,47	0,95	0,95	0,91
8-25	1,09	0,92	1,08	0,92	1,14	1,09

Tablo 4.9. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma \Gamma_{0^{160}\text{Dy}}}{\Sigma B \Gamma_{0^{168}\text{Yb}}}$		$\frac{\Sigma \Gamma_{red^{160}\text{Dy}}}{\Sigma B \Gamma_{red^{168}\text{Yb}}}$	
MeV	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	2,43	6,54	2,82	0,58
4-8	0,42	0,74	0,47	0,25
8-25	1,55	1,19	1,08	0,87

Tablo 4.10. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{160}Dy		^{168}Yb		$^{160}\text{Dy}/^{168}\text{Yb}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
2,2025	$4,9 \cdot 10^{-4}$	2,2924	$3,17 \cdot 10^{-4}$	0,96	1,55
5,2337	$2,11 \cdot 10^{-5}$	5,0575	$2,73 \cdot 10^{-5}$	1,03	0,77
6,0373	$5,89 \cdot 10^{-3}$	6,0923	$5,77 \cdot 10^{-3}$	0,99	1,02
6,1287	0,0391	6,2007	0,0320	0,99	1,22
6,2901	$5,16 \cdot 10^{-3}$	6,2899	$6,19 \cdot 10^{-3}$	1	0,84
6,3807	0,0205	6,3244	0,0200	1	1
6,8480	$3,21 \cdot 10^{-3}$	6,9716	$3,56 \cdot 10^{-3}$	0,98	0,90
7,5199	0,142	7,3657	0,129	1,02	1,10
7,5328	$2,99 \cdot 10^{-4}$	7,3828	$2,35 \cdot 10^{-4}$	1,02	1,27
7,7249	$3,47 \cdot 10^{-5}$	7,5980	$4,17 \cdot 10^{-5}$	1,01	0,83

Tablo 4.11. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{160}Dy		^{168}Yb		$^{160}\text{Dy}/^{168}\text{Yb}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
4,0947	0,448	4,3000	0,607	0,95	0,74
4,2530	1,58	5,1304	1,54	0,83	1,02
5,0079	1,81	5,1304	1,54	0,98	1,17
5,0996	3,03	5,9206	3,93	0,86	0,77
5,1105	0,155	4,2983	0,172	1,18	0,90
5,2999	3,05	6,3046	2,28	0,84	1,33
5,6438	0,232	6,6752	0,290	0,85	0,80
6,0938	3,49	7,3288	3,52	0,83	0,99
6,1726	16,2	7,5280	14,3	0,82	1,13
6,3318	3,74	7,4935	3,70	0,84	1,01
6,4960	1,77	7,2753	1,66	0,89	1,06
6,6498	20,1	7,5929	25,4	0,88	0,79
7,4665	8,05	7,6306	7,90	0,98	1,01
7,5973	1,68	7,2753	1,66	1,04	1,01
7,6799	21,0	7,5929	25,4	1,01	0,83
7,7900	2,27	6,3046	2,28	1,23	1

^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-20 MeV enerji aralıkları için yukarıda verilen şekillerdeki ve tablolardaki verilere göre aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

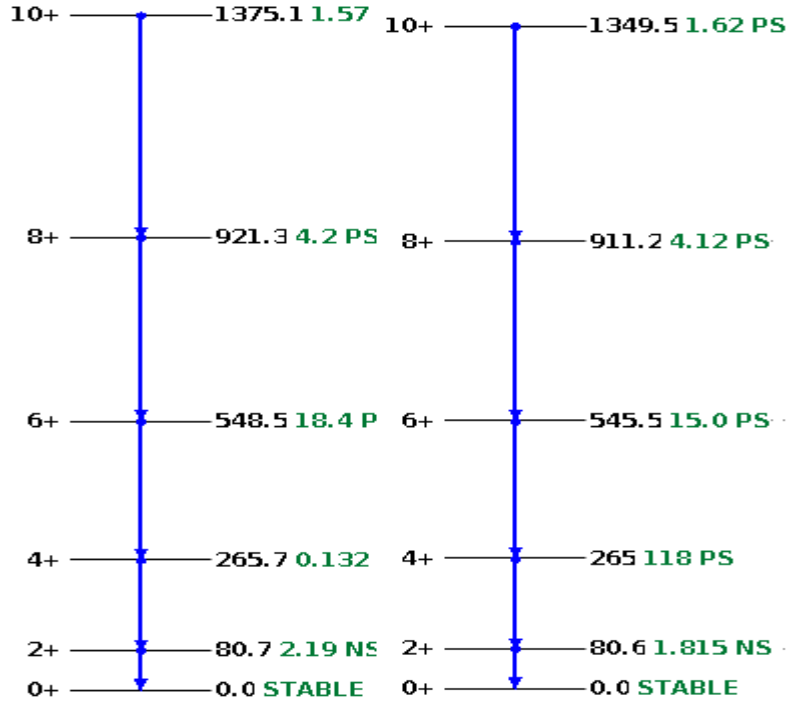
- Yrast bant seviye şemaları karşılaştırıldığında bu çekirdek çiftinin ilk uyarılmış seviyelerinin dejenere yapısına sahip olduğu görülmüştür.
- ^{160}Dy - ^{168}Yb pseudo-ayna çekirdekleri için fotoabsorbsiyon tesir kesitleri TGI-QRPA ile 0-30 MeV enerji aralığında hesaplanmıştır. Grafikte her iki çekirdeğin deforme olmalarından dolayı fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarında asimetrik bir yapının olduğu görülmektedir. Pseudo-ayna ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının birbirleriyle neredeyse tamamen örtüştüğü bulunmuştur.
- 0-4 MeV enerji aralığındaki K=0 modu uyarılmaları incelendiğinde ^{160}Dy 'de 6, ^{168}Yb 'de 3 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. K=1 modundaki seviyeler incelendiğinde ^{160}Dy un 4, ^{168}Yb 'in 2 seviyesi vardır. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmüştür.
- 4-8 MeV enerji aralığındaki K=0 modu uyarılmaları incelendiğinde ^{160}Dy 'de 47, ^{168}Yb 'de 45 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. K=1 modundaki seviye sayıları ^{160}Dy 'de 41, ^{168}Yb 'de 32 seviyesi vardır. Bu enerji aralığında hem K=0 hem K=1 modundaki seviyelerin dejenere oldukları belirlenmiştir.
- 8-25 MeV bölgesindeki K=0 modunda ^{160}Dy 'de 211, ^{168}Yb 'de 176 seviyenin olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede de ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerin seviyelerin dejenere yapısı karşımıza çıkmaktadır.
- ^{160}Dy için 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam B(E1) 24,491 e²fm², ^{168}Yb için toplam B(E1) 26,560 e²fm² dir.
- Seviye sayılarının 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında birbirlerine yakın olduğu 8-25 MeV enerji aralığında ise ^{160}Dy 'un ^{168}Yb çekirdeğinden hem K=0 hem de K=1 modunda daha fazla seviye sayısına sahip olduğu belirlenmiştir.
- TALYS kod kullanılarak sekiz farklı yaklaşımda fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplandığında ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerinin genel olarak tüm yaklaşımlarda benzer bir yapı gösterdikleri bulunmuştur.

- TGI-QRPA ve TALYS (s8) kodu kullanılarak hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılmasında hem yaklaşımlar arasında hem de çekirdekler arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerleri oranlarından elde edilen sonuçlar bize bu iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini göstermiştir. 0-4 MeV enerji aralığında ise yalnızca ortalama enerjilerin oranlarının yakın değerler verdiğini bulunmuştur.
- ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma \Gamma_0$, $\Sigma \Gamma_{red}$ oranlarından elde edilen sonuçlar, toplam $B(E1)$ lerde görülüne benzer olarak, iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini, 0-4 MeV enerji aralığında ise oranların birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir.
- ^{160}Dy - ^{168}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol uyarılma spektrumunda, $K=0$ ve $K=1$ modlarındaki benzer bazı seviyelerin özelliklerinin verildiği tablodan, her iki çekirdeğin spektrumunda enerji oranlarının bire yakın olduğu seviyelerin olduğu, bu seviyelerin $B(E1)$ değerlerinin de genellikle bire yakın oranlarının olduğu belirlenmiştir.

4.1.4. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

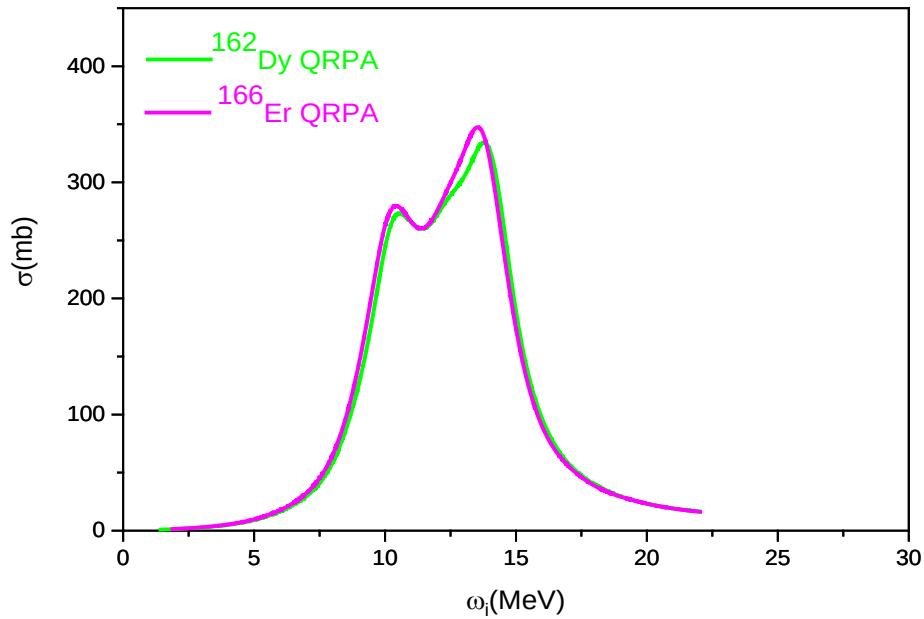
Parçacık boşluk simetrisine sahip, $N_p N_n$ sayıları 224 olan ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. TGI-QRPA yaklaşımı kullanılarak $B(E1)$ indirgenmiş geçiş olasılıkları, fotoabsorbsiyon tesir kesiti, radyasyon kalınlığı hesaplanmış, seviye şemaları, ulaşılabilen deneysel karşılaştırılmıştır. Ayrıca TALYS kod ile farklı yaklaşımlar kullanılarak fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerleri hesaplanmıştır.

^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin yrast bant seviye özelliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.25’de verilmiştir (National Nuclear Data Center [NuDat], 2024).



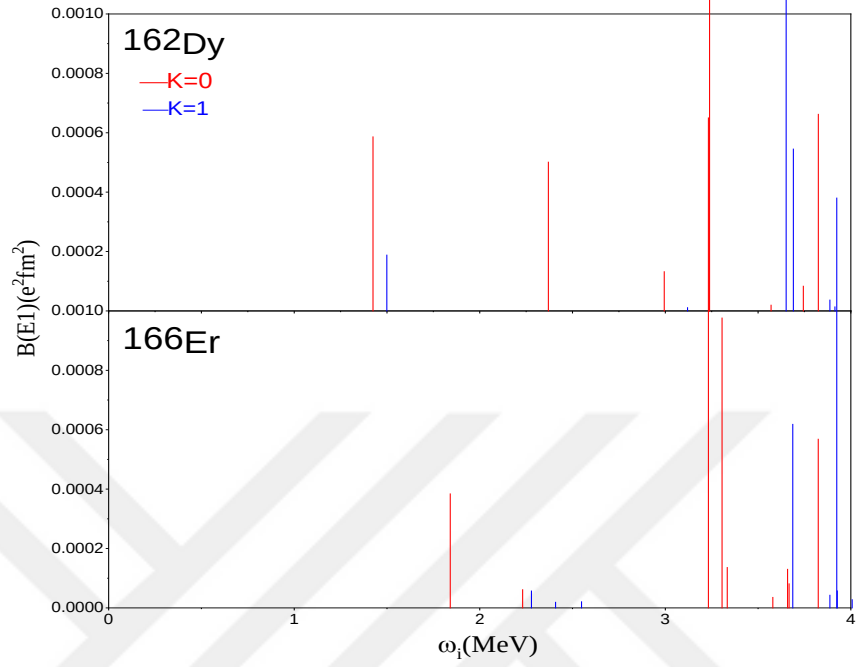
Şekil 4.25. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek çiftinin elektrik dipol uyarılma özelliklerinin incelenmesine elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özelliklerinin karşılaştırılması ile başlanmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti Şekil 4.26’da verilmiştir.

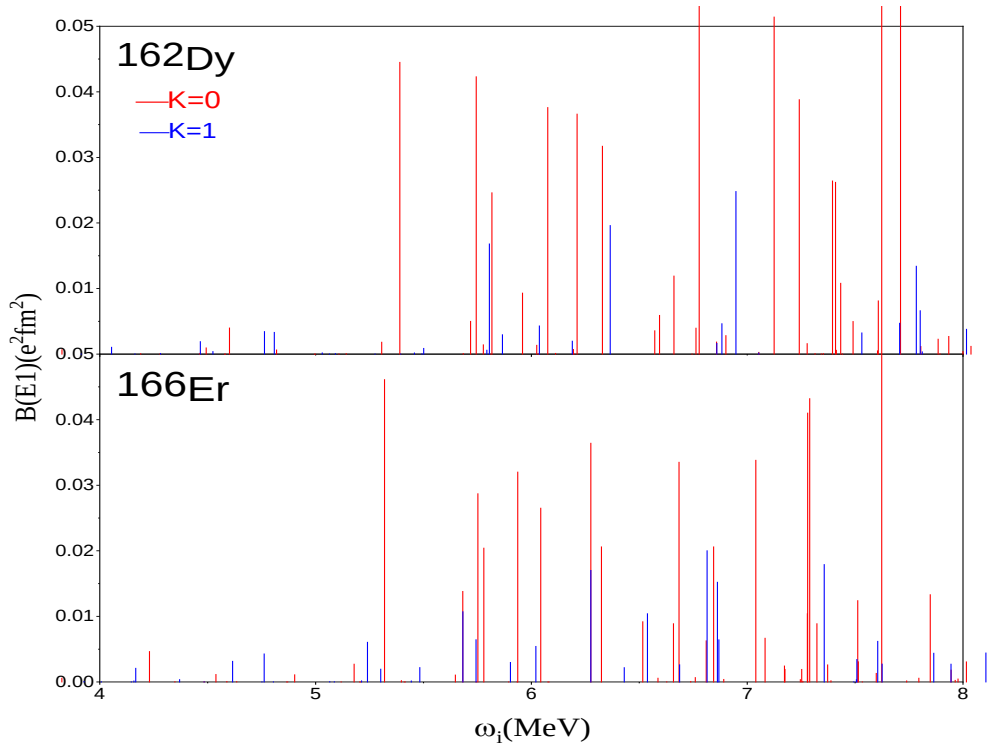


Şekil 4.26. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.

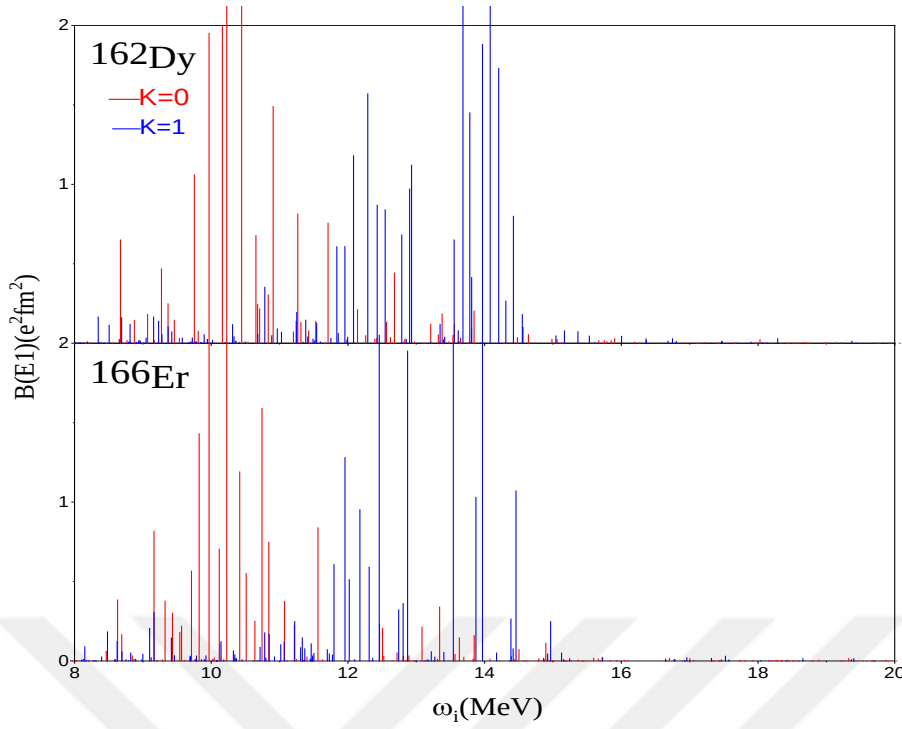
Parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek çiftine ait 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $B(E1)$ değerleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29’da karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.27. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.

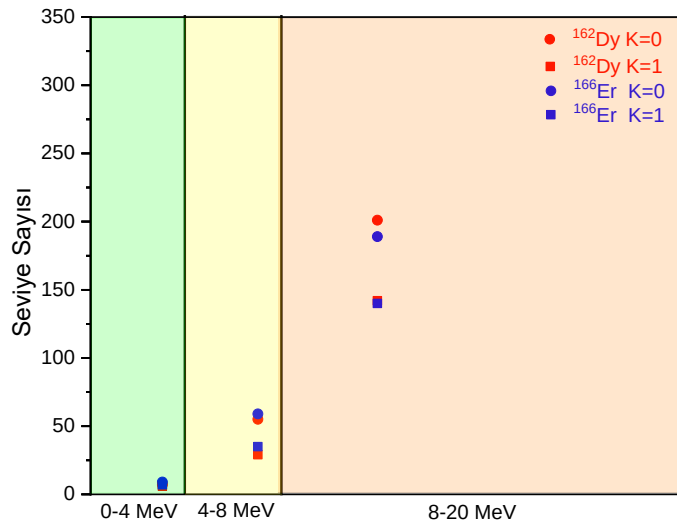


Şekil 4.28. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.



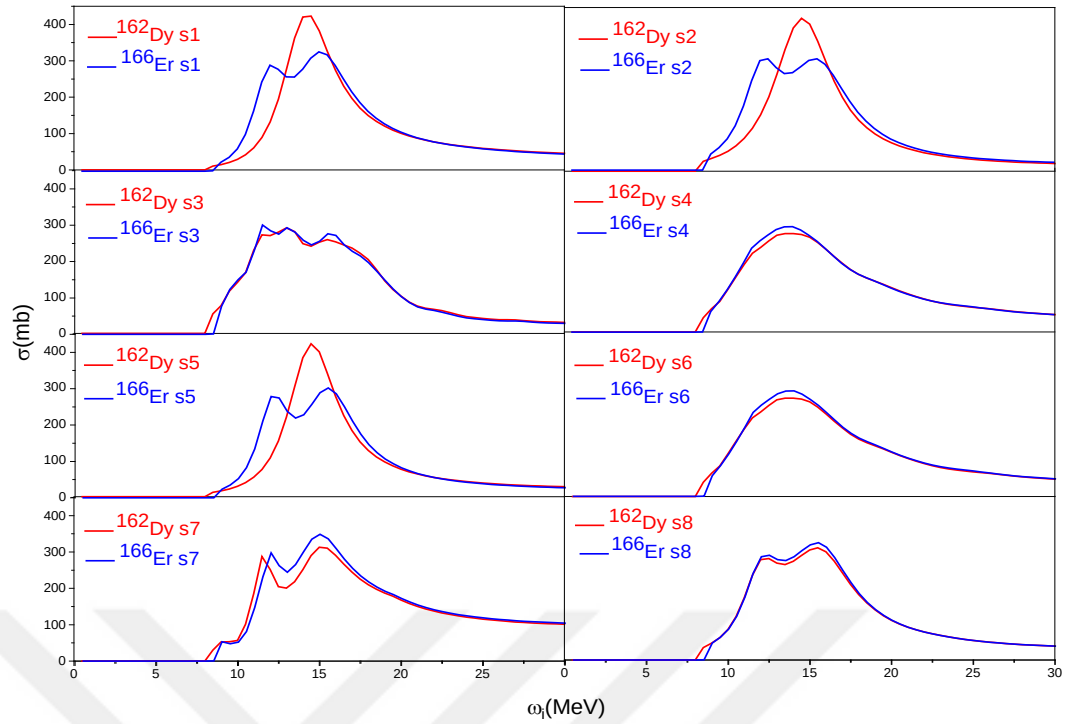
Şekil 4.29. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.

Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında bulunan seviye sayılarının karşılaştırılması Şekil 4.30'da verilmiştir.

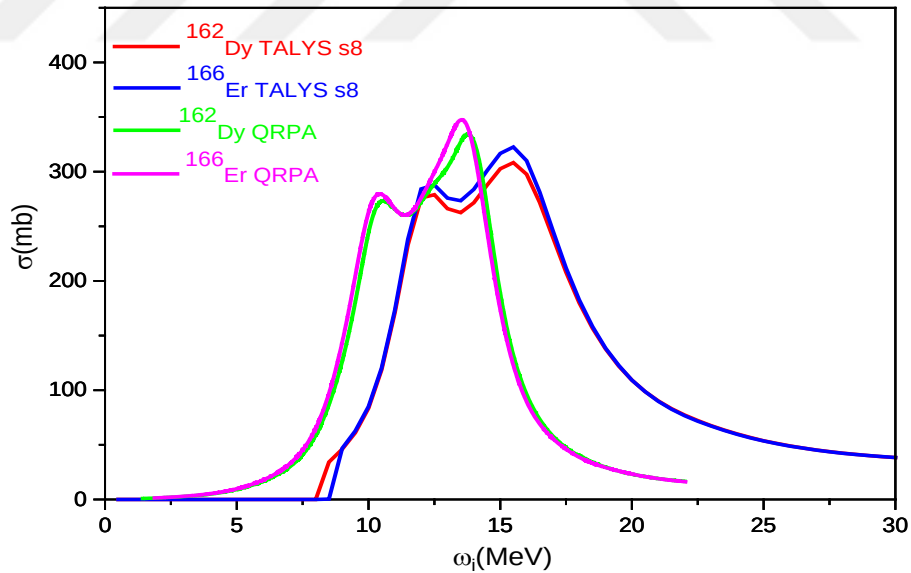


Şekil 4.30. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.

Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan sekiz farklı yaklaşım ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesitleri birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.31, Şekil 4.32).



Şekil 4.31. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.32. ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s8) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti olan ^{162}Dy - ^{166}Er 'un TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)]$, toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı

$[\Sigma B(E1)\omega]$ ve ortalama enerji $[\bar{\omega}]$ oranları ile toplam radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Gamma_0]$ ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Sigma \Gamma_{red}]$ oranları Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'te sırasıyla verilmiştir.

Tablo 4.12. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{^{162}\text{Dy}}}{\Sigma B(E1)_{^{166}\text{Er}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{^{162}\text{Dy}}}{\Sigma B(E1)_{^{166}\text{Er}}}$	$\frac{\overline{\omega}_{^{162}\text{Dy}}}{\overline{\omega}_{^{166}\text{Er}}}$		
MeV	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	0,80	1,82	0,80	1,82	0,90	0,94
4-8	0,94	0,56	0,94	0,56	0,99	0,97
8-25	0,98	0,96	0,98	0,96	1,01	1

Tablo 4.13. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma \Gamma_{0^{162}Dy}}{\Sigma B \Gamma_{0^{166}Er}}$		$\frac{\Sigma \Gamma_{red^{162}Dy}}{\Sigma B \Gamma_{red^{166}Er}}$		
	MeV	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	0,67	1,56	0,8	1,82	
4-8	0,92	0,51	0,94	0,56	
8-25	1,02	0,96	0,98	0,96	

^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve

indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve bunların oranlarının hesaplandığı tablolar (Tablo 4.14, Tablo 4.15) verilmiştir.

Tablo 4.14. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{162}Dy - ^{166}Er ekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{162}Dy		^{166}Er		$^{162}\text{Dy}/^{166}\text{Er}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
3,8249	0,662	3,8242	0,568	1	1,16
3,7438	0,0832	3,6674	0,0810	1	1
2,9944	0,132	3,3338	0,136	0,89	0,97
4,2784	0,0262	4,4837	0,0296	0,95	0,89
5,1080	0,0177	5,8948	0,0100	0,87	1,77
5,3902	44,5	5,3193	46,1	1	0,97
5,7446	42,3	5,3193	46,1	1	0,92
5,7774	1,42	5,6480	1,05	1	1,35
5,8128	0,0156	5,8948	0,0100	0,99	1,56
5,8172	24,6	5,9368	32	0,98	0,77
5,9589	9,3	6,5161	9,18	1	1
6,0760	37,6	6,2755	36,4	0,97	1
6,1947	0,718	6,7597	0,668	0,92	1
7,2414	38,8	7,0398	33,8	1	1,14
6,8578	1,84	7,1750	1,91	0,96	0,96

Tablo 4.15. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{162}Dy		^{166}Er		$^{162}\text{Dy}/^{166}\text{Er}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
3,1199	0,0110	2,4085	0,0188	1,30	0,59
3,6515	1,53	3,9242	1,38	0,93	1,10
3,6901	0,545	3,6869	0,618	1	0,88
4,1628	0,0228	4,0073	0,0275	1,03	0,83
4,4661	1,90	5,3020	1,95	0,84	0,97
4,5242	0,392	4,3698	0,347	1,03	1,13
4,7631	3,44	4,6156	3,14	1,03	1,09
4,8086	3,32	4,6156	3,14	1,04	1,05
5,0309	0,181	5,2131	0,159	0,97	1,13
5,0644	0,0110	4,8047	0,0150	1,05	0,74
5,2759	0,0125	4,7513	0,0176	1,11	0,71
5,4583	0,168	5,2131	0,159	1,04	1,05
5,8055	16,8	6,2753	17,0	0,93	0,99
5,8657	2,95	5,9027	2,97	0,99	0,99
6,0372	4,29	4,7617	4,27	1,27	1
6,1895	1,97	5,3020	1,95	1,17	1,01
6,3654	19,6	6,8144	20,0	0,93	0,98
6,8593	1,63	5,3020	1,95	1,29	0,84

Tablo 4.15. (Devamı) Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{162}Dy		^{166}Er		$^{162}\text{Dy}/^{166}\text{Er}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
6,9478	24,8	6,8144	20,0	1,01	1,24
7,0536	0,172	5,4436	0,148	1,30	1,16
7,5311	3,23	7,5083	3,42	1	0,95
7,7063	4,70	7,8644	4,38	0,98	1,07
7,7838	13,4	6,8622	15,2	1,13	0,88
7,8018	6,61	6,8686	6,42	1,13	1,02
7,8112	0,342	7,5062	0,342	1,04	1

^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-20 MeV enerji aralıkları için yukarıda verilen şekillerdeki ve tablolardaki verilere göre aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Yrast bant seviye şemaları karşılaştırıldığında bu çekirdek çiftinin ilk uyarılmış seviyelerinin dejenere yapısına sahip olduğu görülmüştür.
- ^{162}Dy - ^{166}Er pseudo-ayna çekirdekleri için fotoabsorbsiyon tesir kesitleri TGI-QRPA ile 0-30 MeV enerji aralığında hesaplanmıştır. Grafikte her iki çekirdeğin deforme olmalarından dolayı fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarında asimetric bir yapının olduğu görülmektedir. Pseudo-ayna ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının birbirleriyle neredeyse tamamen örtüştüğü bulunmuştur.
- 0-4 MeV enerji aralığındaki K=0 modu uyarılmaları incelendiğinde ^{162}Dy un 7, ^{166}Er 'in 9 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. K=1 modundaki

seviyeler incelendiğinde ^{162}Dy 'un 6, ^{166}Er 'in 7 seviyesi vardır. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmüştür.

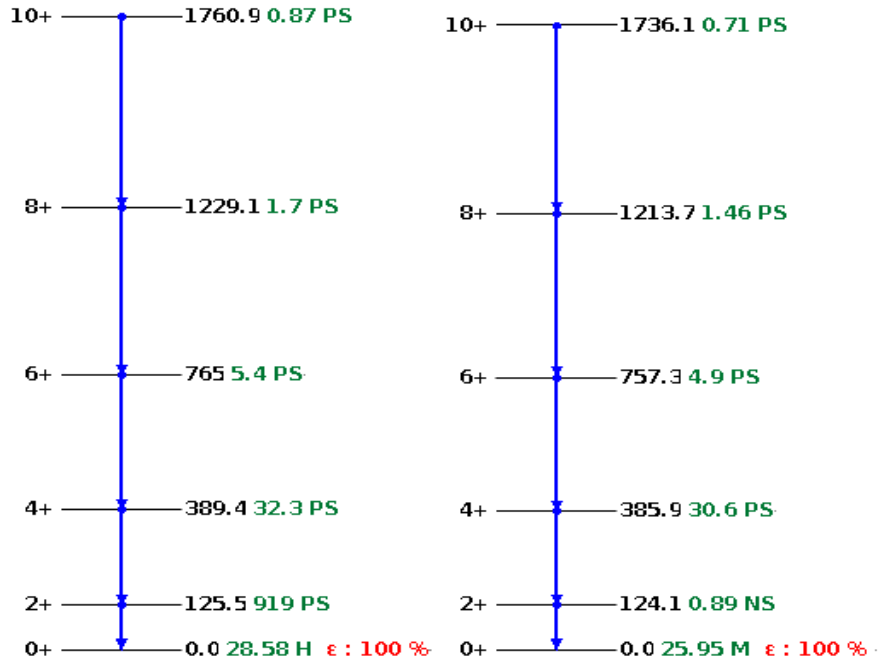
- 4-8 MeV enerji aralığındaki $K=0$ modu uyarılmaları incelendiğinde ^{162}Dy un 55, ^{166}Er 'in 59 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. $K=1$ modundaki seviye sayıları ^{162}Dy un 29, ^{166}Er 'in 35 seviyesi vardır. Bu enerji aralığında hem $K=0$ hem $K=1$ modundaki seviyelerin dejenere oldukları belirlenmiştir.
- 8-25 MeV bölgesindeki $K=0$ modunda ^{162}Dy un 201, ^{166}Er 'in 189 seviyenin olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede de ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerin seviyelerin dejenere yapısı karşımıza çıkmaktadır.
- ^{162}Dy için toplam $B(E1)$ 25,566 e^2fm^2 , ^{166}Er için toplam $B(E1)$ 26,637 e^2fm^2 dir.
- Seviye sayılarının 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında birbirlerine yakın olduğu 8-25 MeV enerji aralığında ise ^{162}Dy 'un ^{166}Er çekirdeğinden hem $K=0$ hem de $K=1$ modunda daha fazla seviye sayısına sahip olduğu bulunmuştur.
- TALYS kod kullanılarak sekiz farklı yaklaşımda fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplandığında ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin genel olarak tüm yaklaşımlarda benzer bir yapı gösterdikleri bulunmuştur.
- TGI-QRPA ve TALYS (s8) kodu kullanılarak hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılmasında hem yaklaşımlar arasında hem de çekirdekler arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerleri oranlarından elde edilen sonuçlar bize bu iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini göstermiştir. 0-4 MeV enerji aralığında ise yalnızca ortalama enerjilerin oranları benzer çıkmıştır.
- ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma \Gamma_0$, $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ oranlarından elde edilen sonuçlar, toplam $B(E1)$ lerde görülüne benzer olarak, iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler

verdiğini, 0-4 MeV enerji aralığında ise oranların birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir.

- ^{162}Dy - ^{166}Er çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol uyarılma spektrumunda, $K=0$ ve $K=1$ modlarındaki benzer bazı seviyelerin özelliklerinin verildiği tablodan, her iki çekirdeğin spektrumunda enerji oranlarının bire yakın olduğu seviyelerin olduğu, bu seviyelerin $B(E1)$ değerlerinin de genellikle bire yakın oranlarının olduğu belirlenmiştir.

4.1.5. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

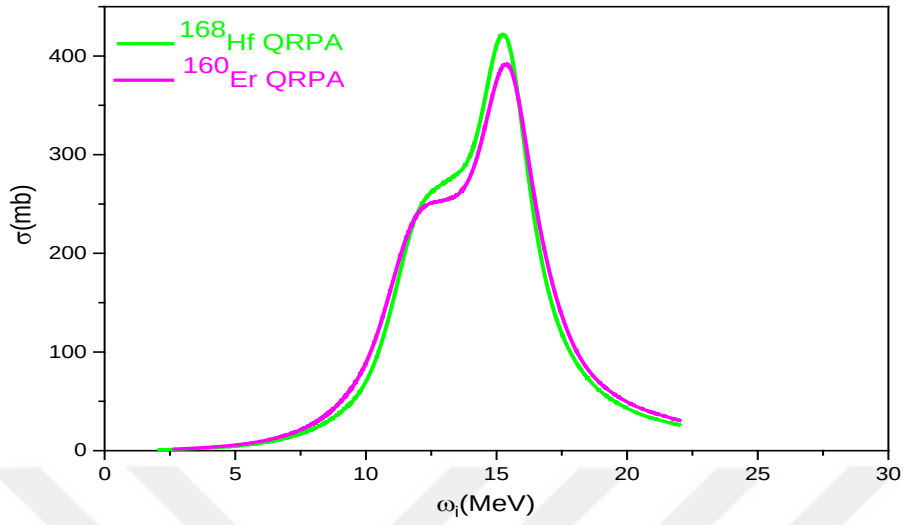
Parçacık boşluk simetrisine sahip, $NpNn$ sayıları 140 olan ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, TGI-QRPA yaklaşımı kullanılarak hesaplanan $B(E1)$ indirgenmiş geçiş olasılıklarının analizini, seviye diyagramlarının incelenmesini içermektedir. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin yrast bant seviye özellikleri Şekil 4.33'te verilmiştir (National Nuclear Data Center [NuDat], 2024).



Şekil 4.33. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

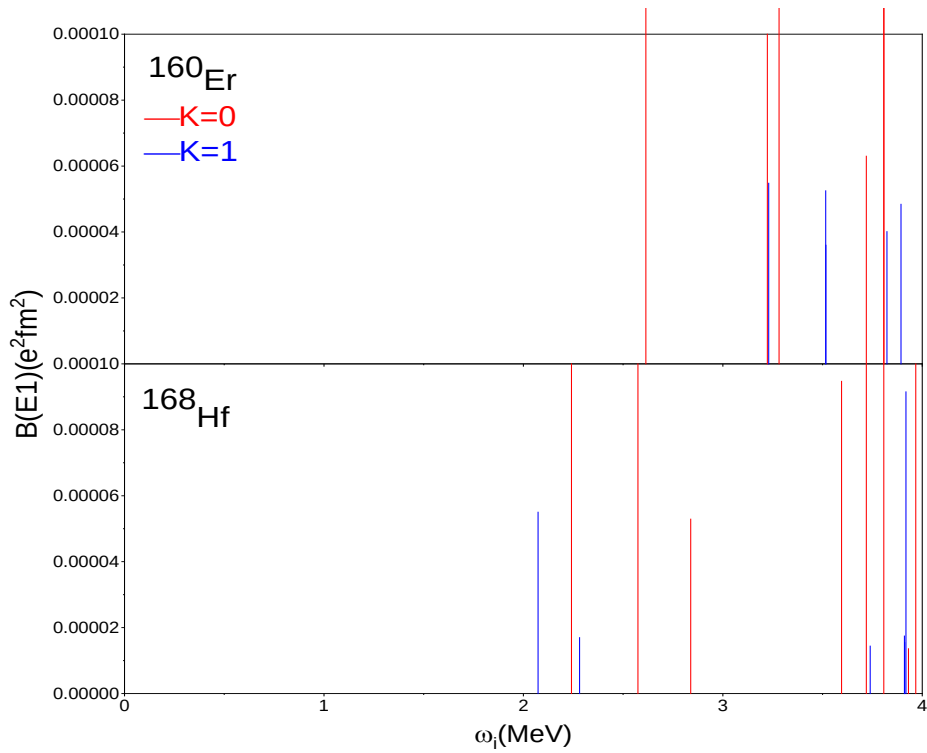
^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek çiftinin elektrik dipol uyarılma özelliklerinin incelenmesine elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özelliklerinin karşılaştırılması ile

başlanmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti Şekil 4.34'te verilmiştir.

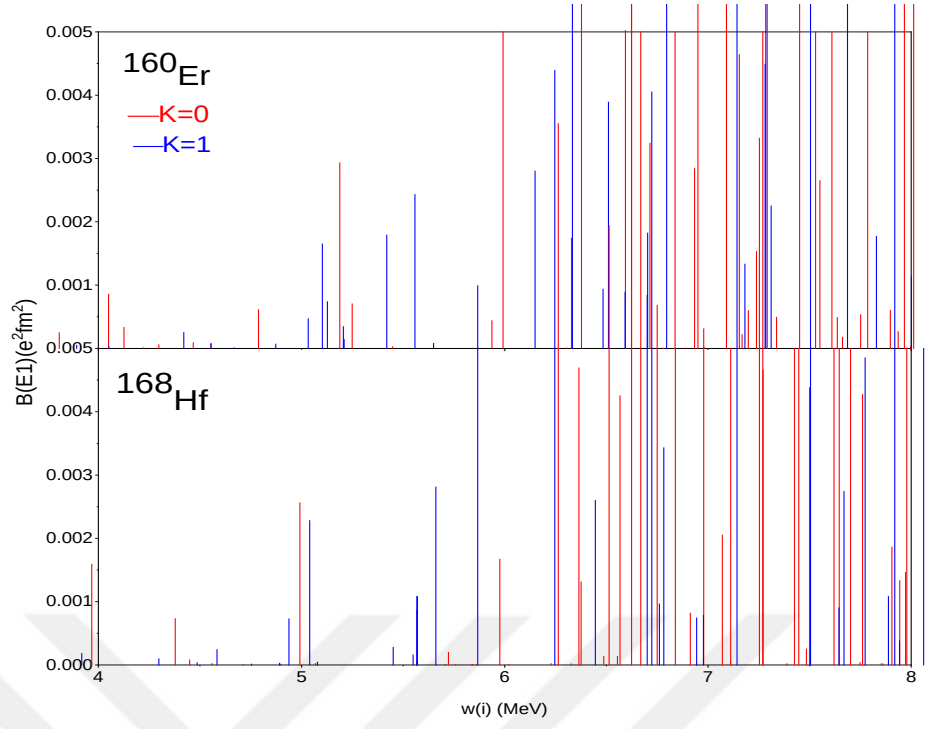


Şekil 4.34. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.

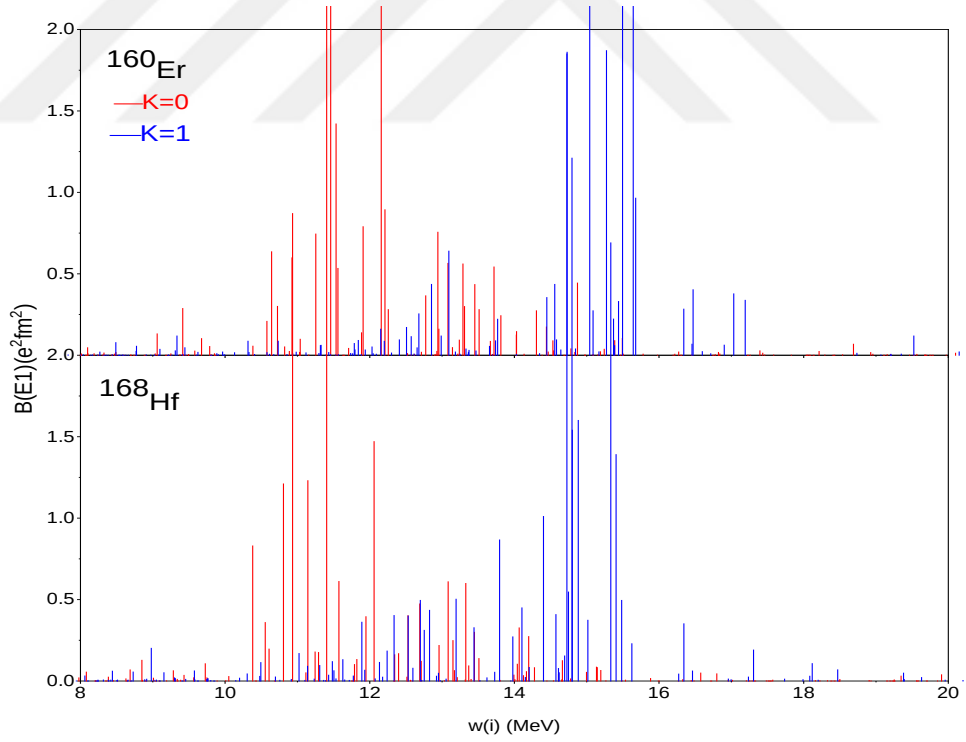
Parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek çiftine ait 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $B(E1)$ değerleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.35. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.

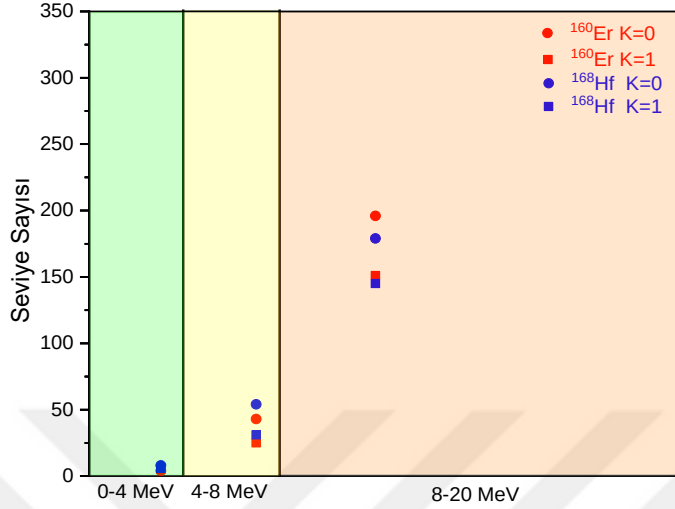


Şekil 4.36. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.



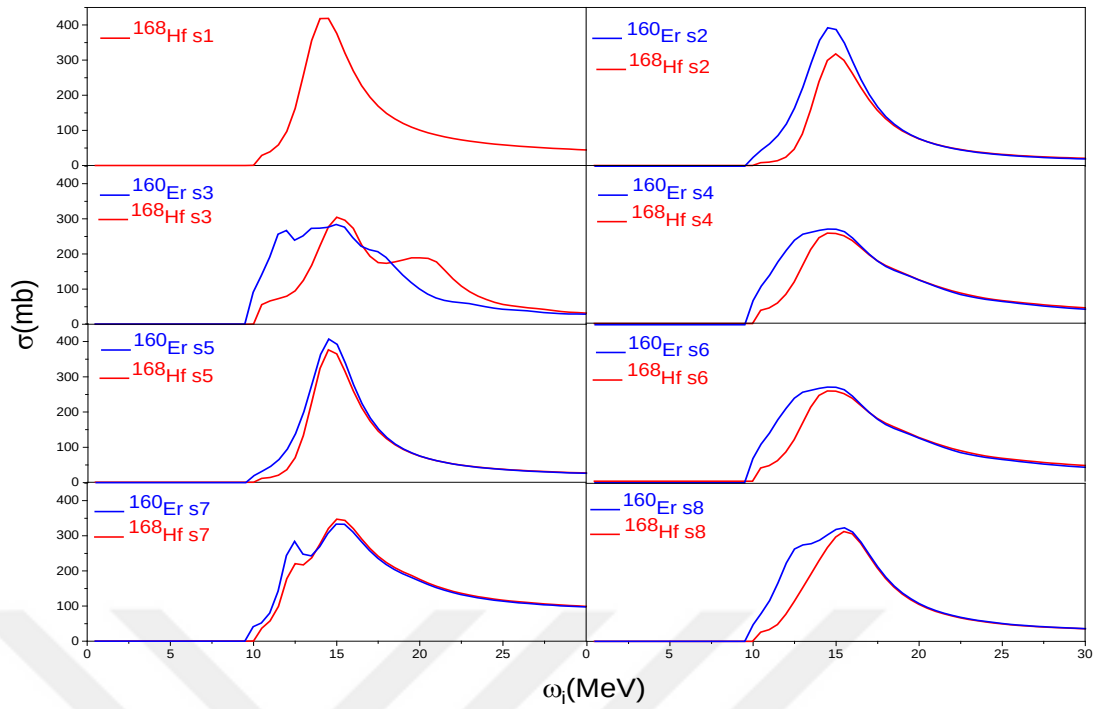
Şekil 4.37. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.

Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında bulunan seviye sayıları 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında K=0 ve K=1 modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır (Şekil 4.38).

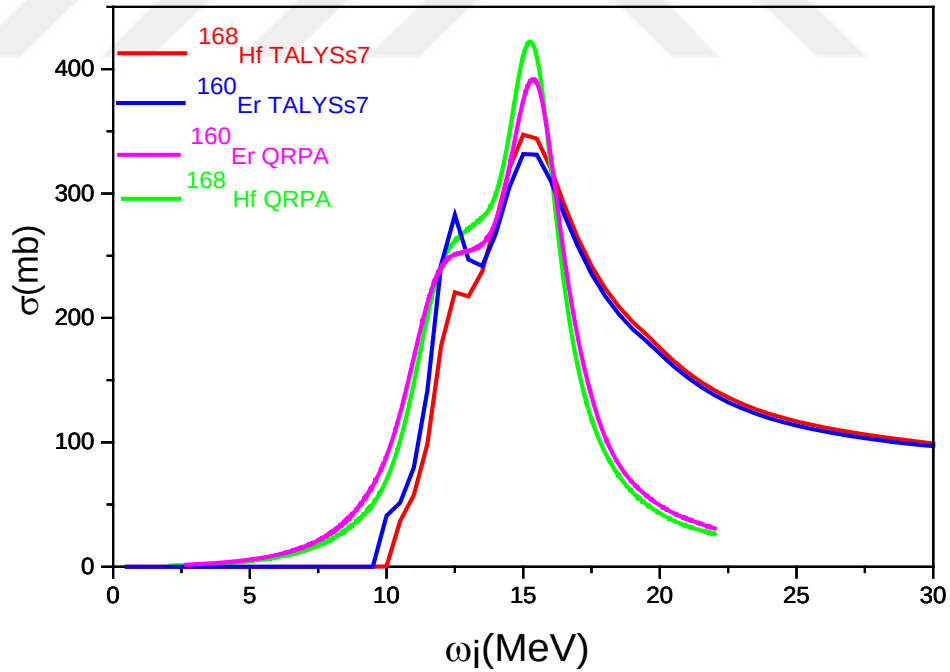


Şekil 4.38. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan Kopecky-Uhl Genelleştirilmiş Lorentzian (s1), Brink-Axel Lorentzian (s2), Hartree-Fock BCS (s3), Hartree-Fock-Bogolyubov (s4), Goriely'nin Hibrit Modeli (s5), Goriely T'ye bağlı HFB (s6), T'ye bağlı RMF (relatif ortalama alan) (s7), Gogny D1M HFB+QRPA (s8) yaklaşımları ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesitleri birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu işlemlere ait tüm bulgular Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da sırasıyla verilmiştir.



Şekil 4.39. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.40. ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti olan ^{160}Er - ^{168}Hf 'un TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)]$, toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)\omega]$ ve ortalama enerji $[\bar{\omega}]$ oranları ile toplam radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Gamma_0]$ ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Sigma \Gamma_{red}]$ oranları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.16, Tablo 4.17) sırasıyla verilmiştir.

Tablo 4.16. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{\text{Er}^{160}}}{\Sigma B(E1)_{\text{Hf}^{168}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{\text{Er}^{160}}}{\Sigma B(E1)_{\text{Hf}^{168}}}$		$\frac{\overline{\omega}_{\text{Er}^{160}}}{\overline{\omega}_{\text{Hf}^{168}}}$	
	MeV	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0
0-4	1,32	3,01	1,31	3,01	0,93	1,13
4-8	2,14	2,18	2,14	2,18	0,94	0,98
8-25	1,05	1,02	1,05	1,02	0,88	0,90

Tablo 4.17. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma \Gamma_{0^{160}Er}}{\Sigma B \Gamma_{0^{168}Hf}}$		$\frac{\Sigma \Gamma_{red^{160}Er}}{\Sigma B \Gamma_{red^{168}Hf}}$	
	MeV	K=0	K=1	K=0
0-4	1,02	3,81	1,30	3,02
4-8	1,83	2,07	2,14	2,18
8-25	0,74	0,77	1,05	1,02

Ardından ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve bunların oranlarının hesaplandığı tablolar (Tablo 4.18, Tablo 4.19) verilmiştir.

Tablo 4.18. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{160}Er		^{168}Hf		$^{160}\text{Er}/^{168}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
4,0502	0,855	4,3784	0,729	0,93	1,17
4,2231	0,951	4,7134	0,819	0,90	1,16
4,4668	0,0897	4,4492	0,0783	1	1,15
4,7882	0,610	4,3784	0,729	1,09	0,84
5,1883	2,93	4,9918	2,56	1,03	1,14
5,2492	0,704	4,3784	0,729	1,20	0,97
5,4476	0,0239	5,5662	0,0296	0,98	0,81
6,3284	1,74	5,9757	1,67	1,05	1,04
6,6238	7,86	6,2631	8,55	1,05	0,92
6,8381	19,9	6,6242	12,4	1,03	1,60
6,9507	8,26	6,2631	8,55	1,10	0,97
7,1541	4,64	7,2710	4,66	0,98	1
7,1677	0,218	7,4844	0,250	0,96	0,87
7,2385	1,53	7,9724	1,46	0,90	1,04
7,2698	27,4	7,7014	25,7	0,94	1,06

Tablo 4.19. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{160}Er		^{168}Hf		$^{160}\text{Er}/^{168}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
4,0519	0,0254	4,8917	0,0249	0,83	1,02
4,4202	0,249	4,5839	0,241	0,96	1,03
5,1269	0,736	4,9377	0,727	1,03	1,01
5,2095	0,140	5,5487	0,156	0,94	0,90
5,5579	2,43	5,0401	2,28	1,10	1,06
6,1488	2,80	6,4455	2,60	0,95	1,07
6,3328	9,44	6,7232	9,05	0,94	1,04
6,4836	0,935	6,7610	0,963	0,96	0,97
6,5102	3,89	6,7827	3,43	0,96	1,13
6,5919	0,888	7,6447	0,901	0,86	0,99
6,7965	12,2	7,9190	12,6	0,86	0,97
7,2813	4,49	7,7731	4,85	0,94	0,93

^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-20 MeV enerji aralıkları için yukarıda verilen şekillerdeki ve tablolardaki verilere göre aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Yrast bant seviye şemaları karşılaştırıldığında bu çekirdek çiftinin ilk uyarılmış seviyelerinin dejenere yapısına sahip olduğu görülmüştür.
- ^{160}Er - ^{168}Hf pseudo-ayna çekirdekleri için fotoabsorbsiyon tesir kesitleri TGI-QRPA ile 0-30 MeV enerji aralığında hesaplanmıştır. Grafikte her iki çekirdeğin deforme olmalarından dolayı fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarında asimetric bir yapının olduğu görülmektedir. Pseudo-ayna ^{160}Er -

^{168}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının birbirleriyle neredeyse tamamen örtüştüğü bulunmuştur.

- 0-4 MeV enerji aralığındaki $K=0$ modu uyarılmaları incelendiğinde ^{160}Er un 4, ^{168}Hf 'un 8 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. $K=1$ modundaki seviyeler incelendiğinde ^{160}Er un 5, ^{168}Hf 'un 6 seviyesi vardır. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmüştür.
- 4-8 MeV enerji aralığındaki $K=0$ modu uyarılmaları incelendiğinde ^{160}Er un 43, ^{168}Hf 'un 54 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. $K=1$ modundaki seviye sayıları ^{160}Er 'un 25, ^{168}Hf 'un 31 seviyesi vardır. Bu enerji aralığında hem $K=0$ hem $K=1$ modundaki seviyelerin dejenere oldukları belirlenmiştir.
- 8-25 MeV bölgesindeki $K=0$ modunda ^{160}Er un 196, ^{168}Hf 'un 179 seviyenin olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede de ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerin seviyelerin dejenere yapısı karşımıza çıkmaktadır.
- ^{160}Er için toplam $B(E1)$ 25,377 e^2fm^2 , ^{168}Hf için toplam $B(E1)$ 26,002 e^2fm^2 dir.
- Seviye sayılarının 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında birbirlerine yakın olduğu 8-25 MeV enerji aralığında ise ^{160}Er 'un ^{168}Hf çekirdeğinden hem $K=0$ hem de $K=1$ modunda daha fazla seviye sayısına sahip olduğu belirlenmiştir.
- TALYS kod kullanılarak sekiz farklı yaklaşımda fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplandığında ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin genel olarak tüm yaklaşımlarda benzer bir yapı gösterdikleri bulunmuştur.
- TGI-QRPA ve TALYS (s7) kodu kullanılarak hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılmasında hem yaklaşımlar arasında hem de çekirdekler arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerleri oranlarından elde edilen sonuçlar bize bu iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini göstermiştir. 0-

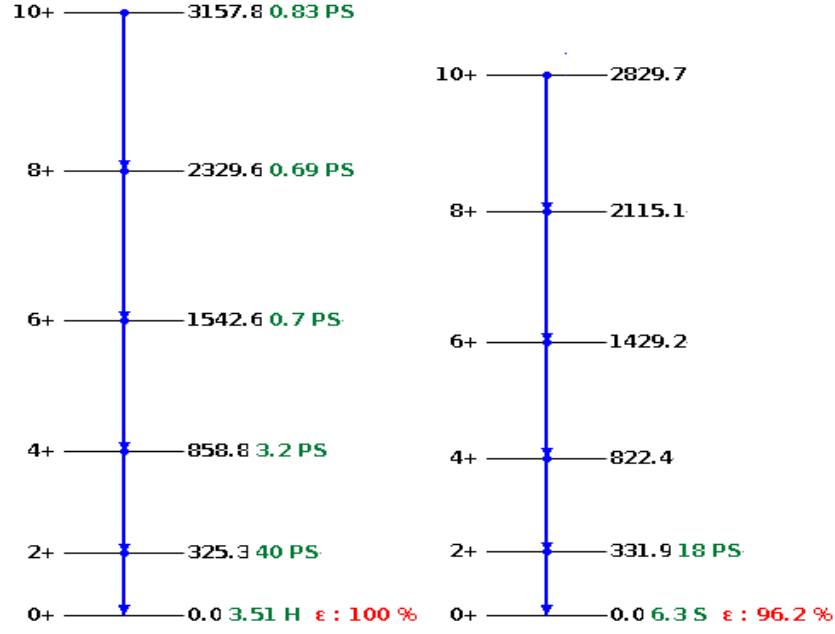
4MeV enerji aralığında ise yalnızca ortalama enerjilerin oranları benzer çıkmıştır.

- ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\sum \Gamma_0$, $\sum \Sigma \Gamma_{red}$ oranlarından elde edilen sonuçlar, toplam $B(E1)$ lerde görülüne benzer olarak, iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini, 0-4 MeV enerji aralığında ise oranların birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir.
- ^{160}Er - ^{168}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol uyarılma spektrumunda, $K=0$ ve $K=1$ modlarındaki benzer bazı seviyelerin özelliklerinin verildiği tablodan, her iki çekirdeğin spektrumunda enerji oranlarının bire yakın olduğu pek çok seviye olduğu, bu seviyelerin $B(E1)$ değerlerinin de genellikle bire yakın oranlarının olduğu belirlenmiştir.

4.1.6. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

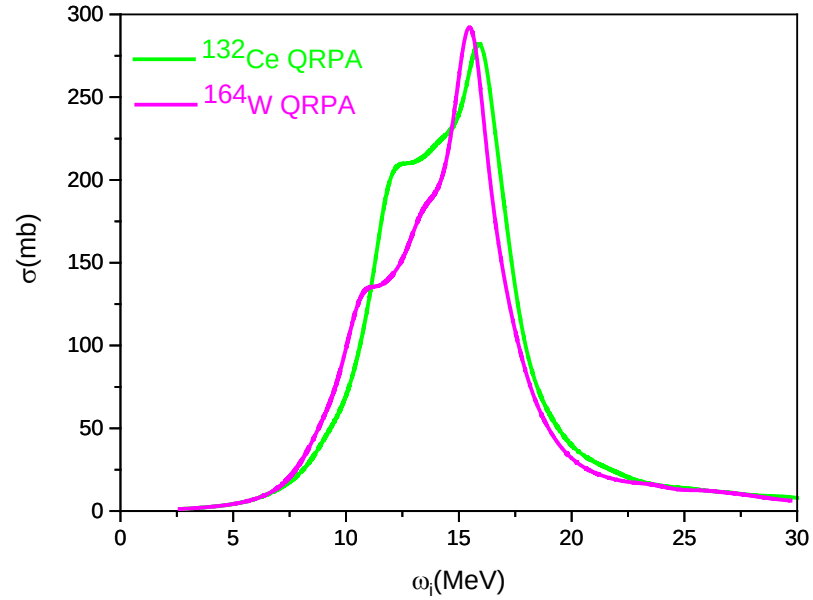
Parçacık boşluk simetrisine sahip, NpNn sayıları 64 olan ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri $K = 0$ ve $K = 1$ modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, TGI-QRPA yaklaşımı kullanılarak hesaplanan $B(E1)$ indirgenmiş geçiş olasılıklarının analizini, seviye diyagramlarının incelenmesini ve ulaşılabilen deneysel gözlemler ile teorik hesaplamalar arasındaki karşılaştırmalı değerlendirmeyi içermektedir. Ek olarak, TALYS kod ile farklı yaklaşımlar kullanılarak iç tutarlılık araştırılmış ve belirtilen parçacık-boşluk simetrik çekirdek çiftlerinin nükleer özelliklerini modellemedeki doğruluk ve güvenilirlik değerlendirilmiştir.

^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin taban durum bandı (yrast bant) seviye özelliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.41'de verilmiştir (National Nuclear Data Center [NuDat], 2024).



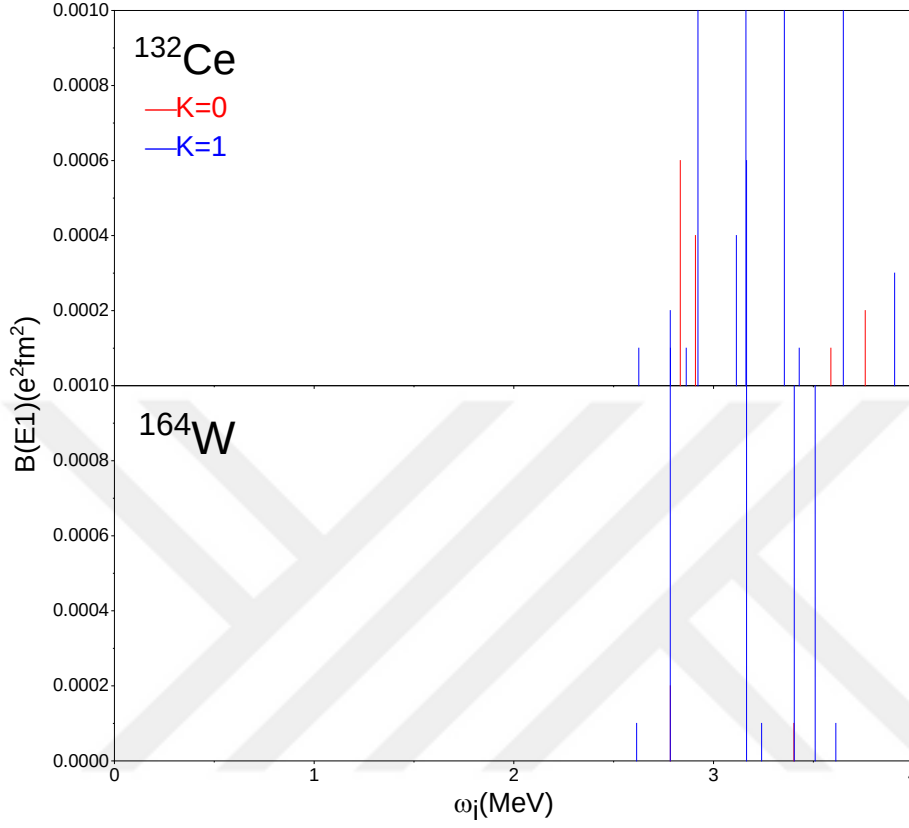
Şekil 4.41. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

^{132}Ce - ^{164}W çekirdek çiftinin elektrik dipol uyarılma özelliklerinin incelenmesine elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özelliklerinin karşılaştırılması ile başlanmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti aşağıda verilmiştir (Şekil 4.42).

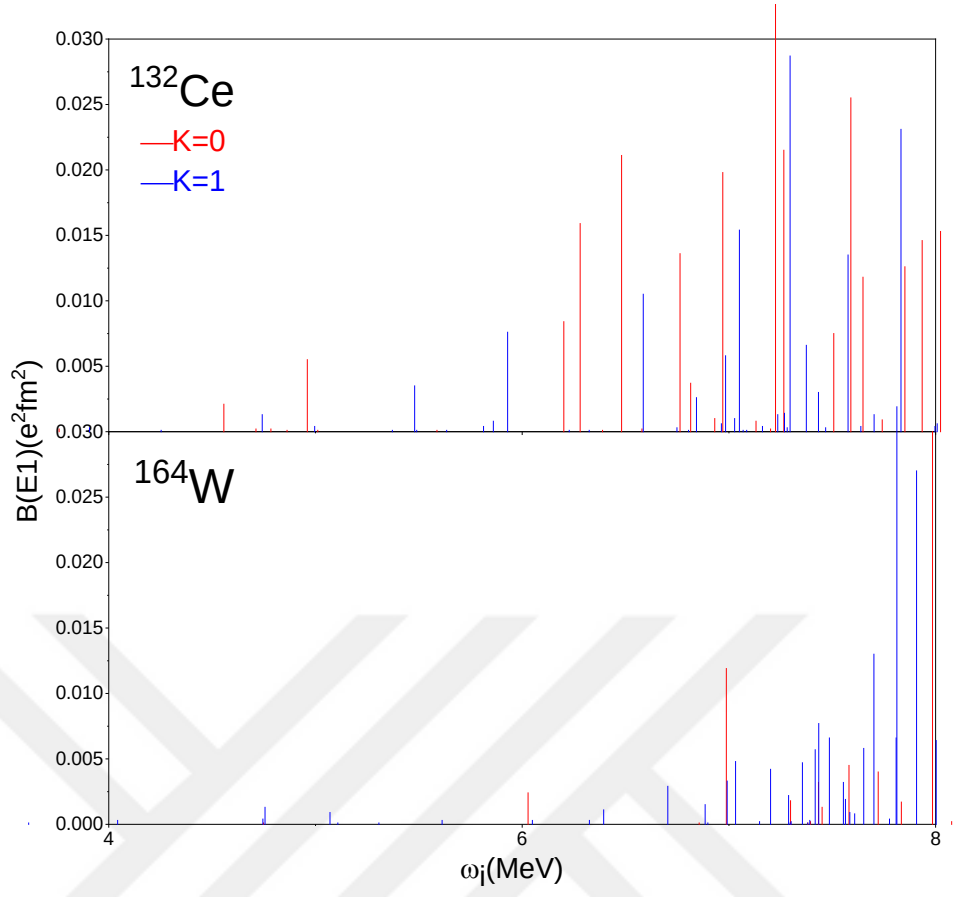


Şekil 4.42. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.

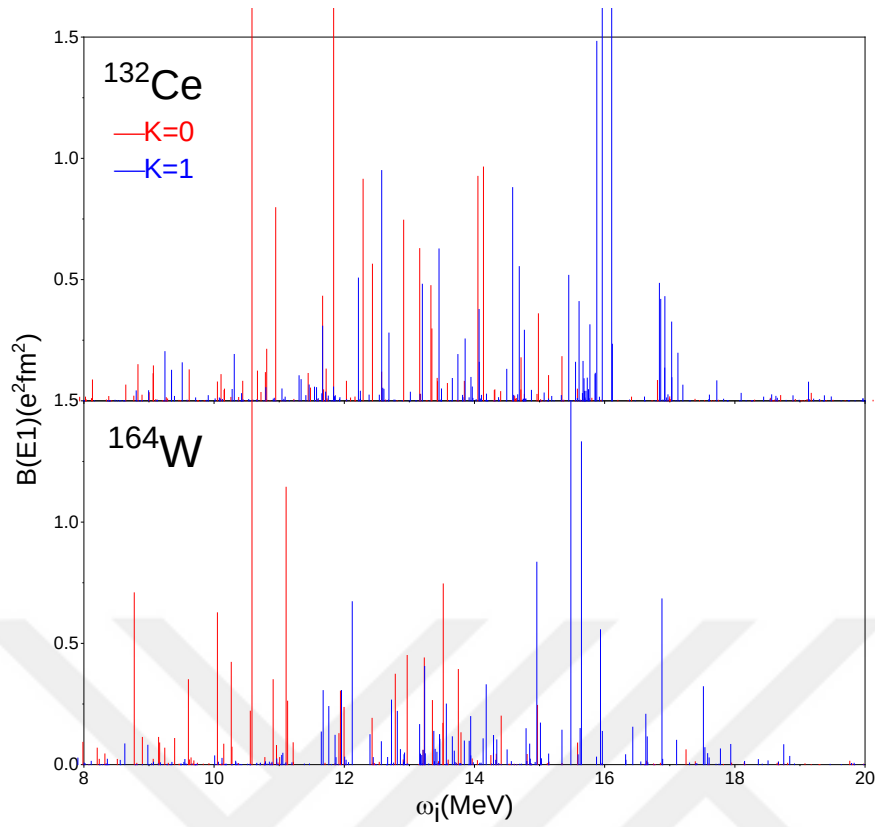
Ardından parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek çiftine ait 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $B(E1)$ değerleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.43. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.

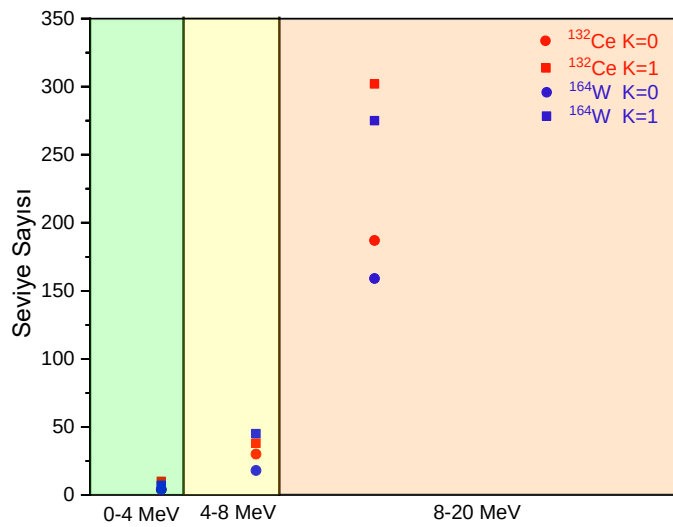


Şekil 4.44. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



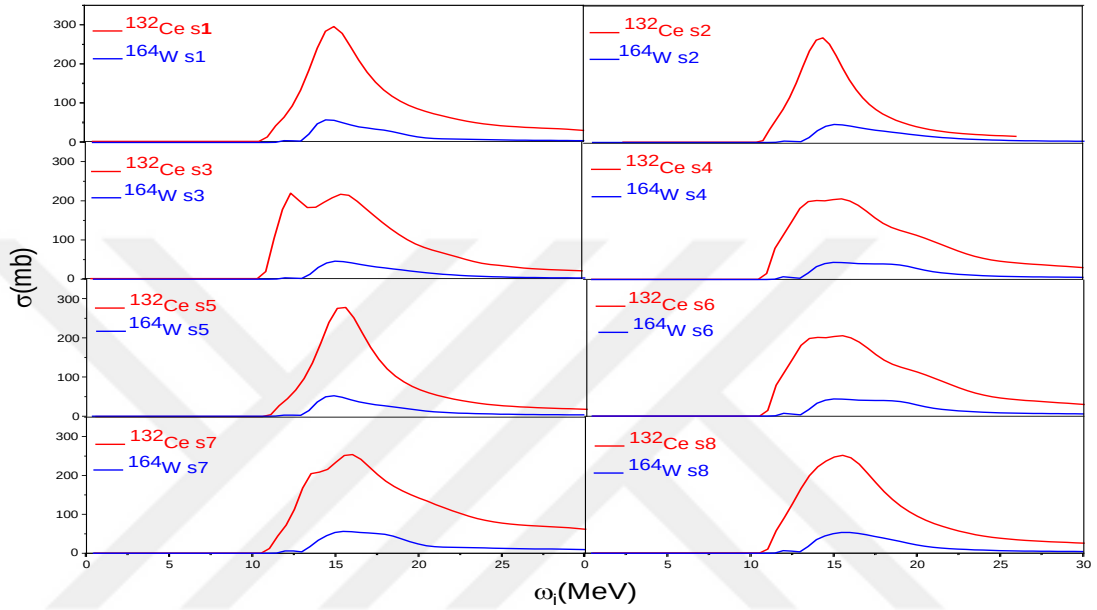
Şekil 4.45. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralıklarında bulunan K=0 ve K=1 modlarına ait seviye sayıları Şekil 4.46’da karşılaştırılmıştır.

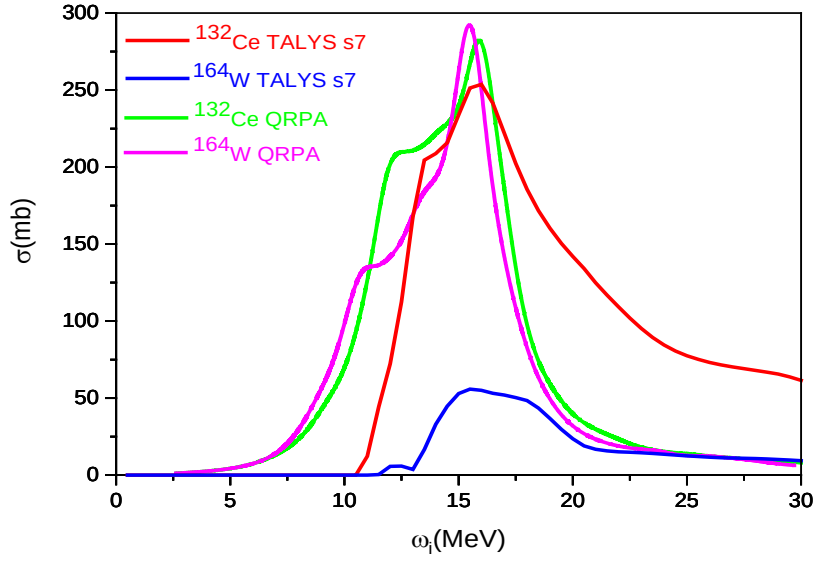


Şekil 4.46. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan Kopecky-Uhl Genelleştirilmiş Lorentzian (s1), Brink-Axel Lorentzian (s2), Hartree-Fock BCS (s3), Hartree-Fock-Bogolyubov (s4), Goriely'nin Hibrit Modeli (s5), Goriely T'ye bağlı HFB (s6), T'ye bağlı RMF (relatif ortalama alan) (s7), Gogny D1M HFB+QRPA (s8) yaklaşımları ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.47 ve Şekil 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.47. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.48. ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti olan ^{132}Ce - ^{164}W 'in TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)]$, toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)\omega]$ ve ortalama enerji $[\bar{\omega}]$ oranları ile toplam radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Gamma_0]$ ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Sigma \Gamma_{red}]$ oranları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.20, Tablo 4.21) sırasıyla verilmiştir.

Tablo 4.20. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ ve $K=1$ modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{^{132}\text{Ce}}}{\Sigma B(E1)_{^{164}\text{W}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{^{132}\text{Ce}}}{\Sigma B(E1)_{^{164}\text{W}}}$		$\frac{\bar{\omega}_{^{132}\text{Ce}}}{\bar{\omega}_{^{164}\text{W}}}$	
	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	3,38	1,27	3,43	1,17	1,01	0,92
4-8	1,90	0,93	1,73	0,88	0,91	0,93
8-25	1,15	1,01	1,25	1,02	1,08	1

Tablo 4.21. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma \Gamma_{0^{132}Ce}}{\Sigma B \Gamma_{0^{164}W}}$		$\frac{\Sigma \Gamma_{red^{132}Ce}}{\Sigma B \Gamma_{red^{164}W}}$	
	MeV	K=0	K=1	K=0
0-4	3,55	1	3,38	1,27
4-8	1,44	0,80	1,90	0,93
8-25	1,44	1,04	1,15	1,01

^{132}Ce - ^{164}W PMN çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve bunların oranlarının hesaplandığı tablolar (Tablo 4.22, Tablo 4.23) verilmiştir.

Tablo 4.22. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV enerji aralıklarındaki $K=0$ modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{132}Ce		^{164}W		$^{132}\text{Ce}/^{164}\text{W}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
3,5878	0,0798	3,4026	0,0535	1,05	1,49
4,2427	0,0169	3,6127	0,0206	1,17	0,82
4,5566	2,1182	6,0283	2,3830	0,76	0,89
4,8626	0,0761	6,8564	0,0736	0,70	1,03
5,1625	0,0090	4,7563	0,0096	1,08	0,94
5,5879	0,1199	4,7486	0,1290	1,17	0,93
6,5795	0,1944	7,3951	0,1741	0,89	1,11
6,8149	3,7108	7,4333	3,2246	0,92	1,15
7,2018	0,1616	7,3951	0,1741	0,97	0,93
7,2659	21,4969	8,2351	21,7681	0,88	0,99
7,6485	11,7575	6,9878	11,8776	1,09	0,99
7,8409	0,0107	7,7123	0,0103	1,01	1,03

Tablo 4.23. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri.

^{132}Ce		^{164}W		$^{132}\text{Ce}/^{164}\text{W}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
2,9219	10,1196	3,4044	10,3283	0,86	0,98
3,6500	1,0370	2,7836	1,1767	1,31	0,88
4,0484	0,0226	4,2250	0,0375	0,96	0,60
4,2532	0,0610	3,6127	0,0699	1,17	0,87
4,3051	0,0325	4,2250	0,0375	1,01	0,87
4,7426	1,3044	4,7558	1,2575	1	1,03
5,4796	3,4823	6,9917	3,2766	0,78	1,06
5,4898	0,0673	5,3069	0,0579	1,03	1,16
5,6346	0,0691	5,1082	0,0704	1,10	0,98
5,8131	0,4023	4,7455	0,4123	1,23	0,98
5,8606	0,8114	5,0704	0,8818	1,15	0,92
6,3242	0,0910	6,8983	0,0905	0,92	1
6,7403	0,0155	5,7022	0,0176	1,18	0,88
6,7486	0,2533	6,0493	0,2815	1,11	0,90
6,8046	0,0724	5,1082	0,0704	1,33	1,02
6,8433	2,5673	6,7045	2,8589	1,02	0,90
7,0690	0,1103	7,3813	0,1169	0,96	0,94
7,2822	0,3101	7,7768	0,3521	0,94	0,88

Tablo 4.23. (Devamı) Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Ce - ^{164}W çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri.

^{132}Ce		^{164}W		$^{132}\text{Ce}/^{164}\text{W}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
7,2959	28,6502	7,9080	27,0420	0,92	1,05
7,3745	6,6384	7,8088	6,5718	0,94	1,01
7,5765	13,5493	7,7014	12,9579	0,98	1,04

^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-20 MeV enerji aralıkları için yukarıda verilen şekillerdeki ve tablolardaki verilere göre aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Yrast bant seviye şemaları karşılaştırıldığında bu çekirdek çiftinin ilk uyarılmış seviyelerinin dejenere yapısına sahip olduğu görülmüştür.
- ^{132}Ce - ^{164}W pseudo-ayna çekirdekleri için fotoabsorbsiyon tesir kesitleri TGI-QRPA ile 0-30 MeV enerji aralığında hesaplanmıştır. Grafikte her iki çekirdeğin deforme olmalarından dolayı fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarında asimetric bir yapının olduğu görülmektedir. Pseudo-ayna ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının birbirleriyle neredeyse tamamen örtüştüğü bulunmuştur.
- 0-4 MeV enerji aralığındaki K=0 modu uyarılmaları incelendiğinde ^{132}Ce un 4, ^{164}W 'in 8 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. K=1 modundaki seviyeler incelendiğinde ^{132}Ce 'un 5, ^{164}W 'in 6 seviyesi vardır. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmüştür.
- 4-8 MeV enerji aralığındaki K=0 modu uyarılmaları incelendiğinde ^{132}Ce un 43, ^{164}W 'in 54 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. K=1 modundaki

seviye sayıları ^{132}Ce 'un 25, ^{164}W 'in 31 seviyesi vardır. Bu enerji aralığında hem $K=0$ hem $K=1$ modundaki seviyelerin dejenere oldukları belirlenmiştir.

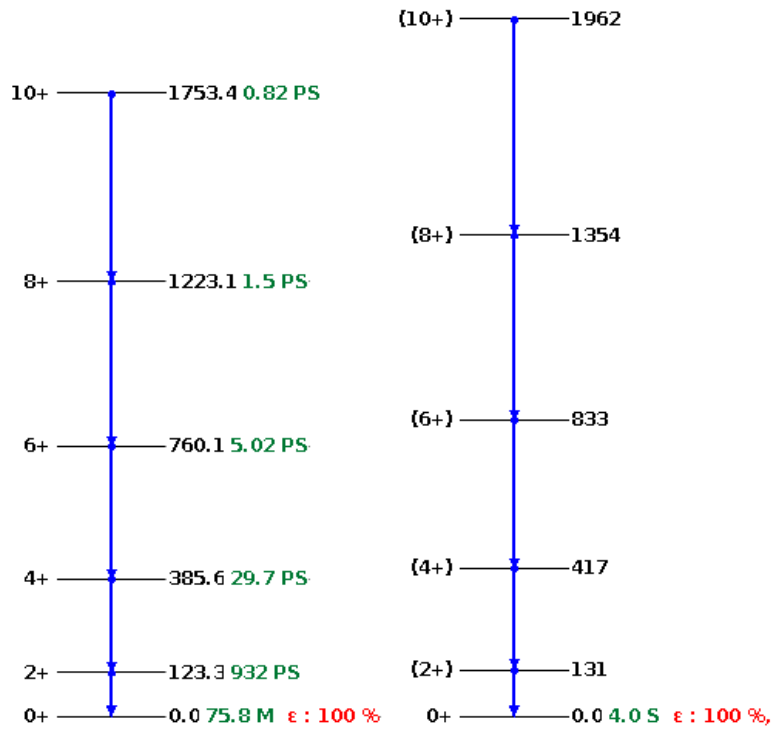
- 8-25 MeV bölgesindeki $K=0$ modunda ^{132}Ce 'un 196, ^{164}W 'in 179 seviyenin olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede de ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerin seviyelerin dejenere yapısı karşımıza çıkmaktadır.
- ^{132}Ce için toplam $B(E1)$ 20,9788469 e^2fm^2 , ^{164}W için toplam $B(E1)$ 20,5941564 e^2fm^2 dir.
- Seviye sayılarının 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında birbirlerine yakın olduğu 8-25 MeV enerji aralığında ise ^{166}Hf 'un ^{162}Yb çekirdeğinden hem $K=0$ hem de $K=1$ modunda daha fazla seviye sayısına sahip olduğu belirlenmiştir.
- TALYS kod kullanılarak sekiz farklı yaklaşımda fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplandığında ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin genel olarak tüm yaklaşımlarda benzer bir yapı gösterdikleri bulunmamıştır.
- TGI-QRPA ve TALYS (s7) kodu kullanılarak hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılmasında hem yaklaşımlar arasında hem de çekirdekler arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerleri oranlarından elde edilen sonuçlar bize bu iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini göstermiştir. 0-4 MeV enerji aralığında ise yalnızca ortalama enerjilerin oranları yakın çıkmıştır.
- ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma \Gamma_0$, $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ oranlarından elde edilen sonuçlar, toplam $B(E1)$ lerde görülüne benzer olarak, iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini, 0-4 MeV enerji aralığında ise oranların birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir.
- ^{132}Ce - ^{164}W çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol uyarılma spektrumunda, $K=0$ ve $K=1$ modlarındaki benzer bazı seviyelerin özelliklerinin verildiği tablodan, her iki

çekirdeğin spektrumunda enerji oranlarının bire yakın olduğu pek çok seviye olduğu, bu seviyelerin B(E1) değerlerinin de genellikle bire yakın oranlarının olduğu belirlenmiştir.

4.1.7. ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

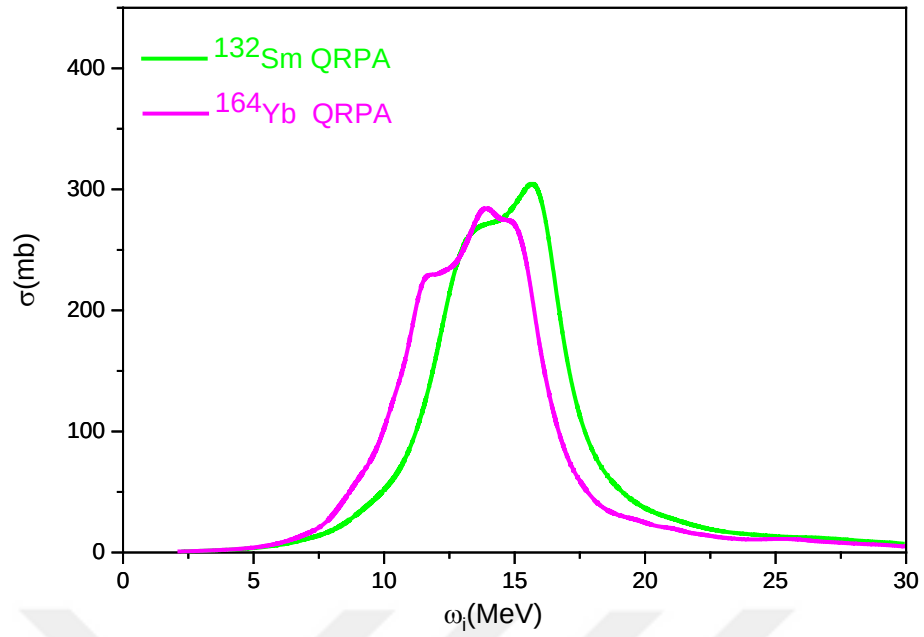
Parçacık boşluk simetrisine sahip, NpNn sayıları 144 olan ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri K=0 ve K=1 modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdeklerinin yrast bant seviye özelliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.49'da verilmiştir (National Nuclear Data Center [NuDat], 2024).



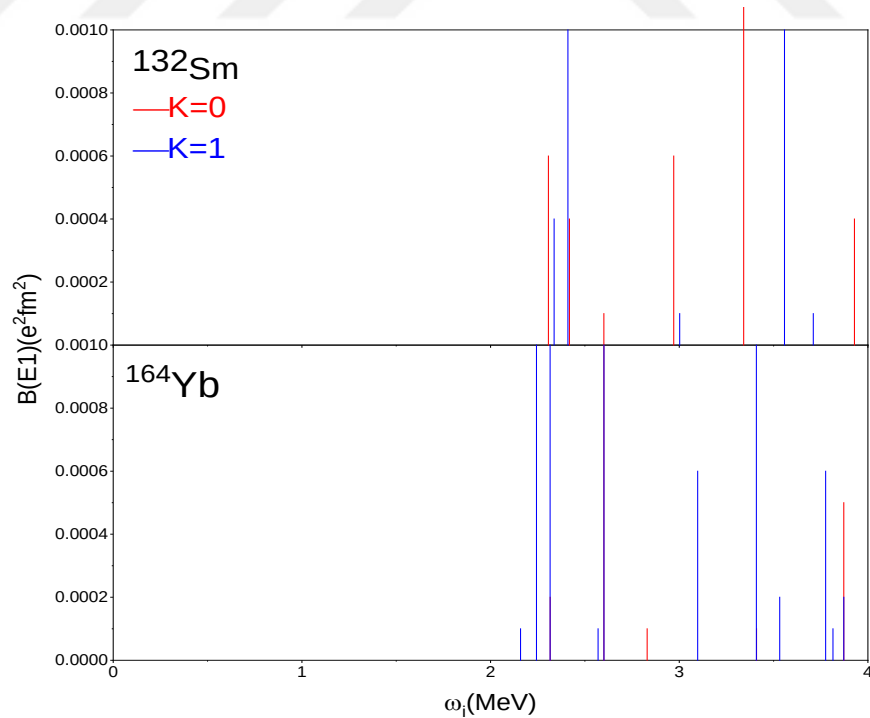
Şekil 4.49. ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

^{132}Sm - ^{164}Yb , çekirdek çiftinin elektrik dipol uyarılma özelliklerinin incelenmesine elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özelliklerinin karşılaştırılması ile başlanmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti Şekil 4.50'de verilmiştir.

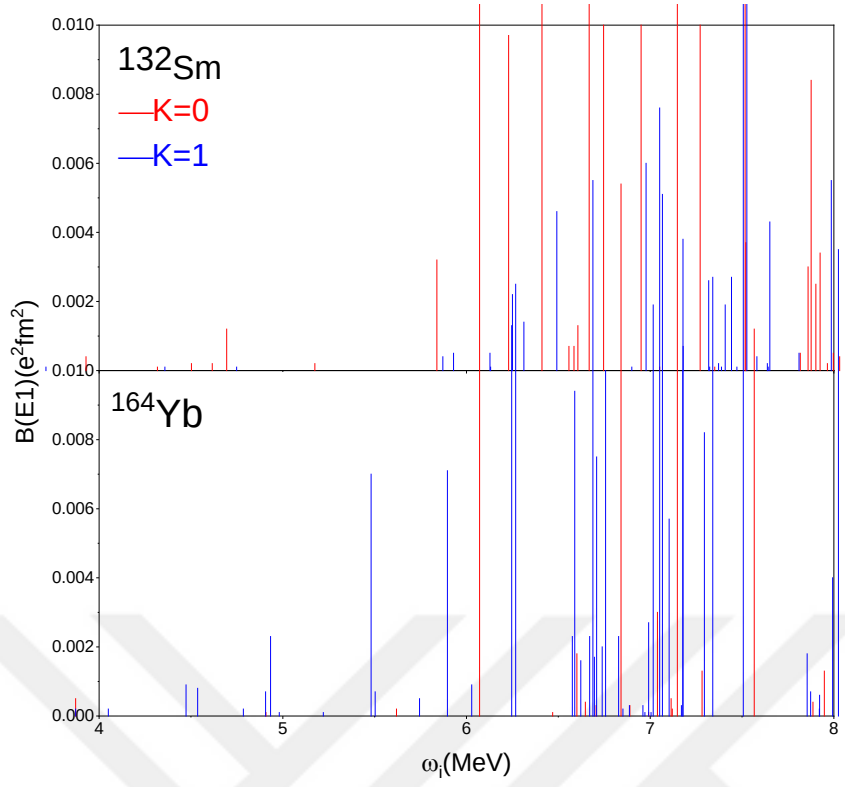


Şekil 4.50. ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.

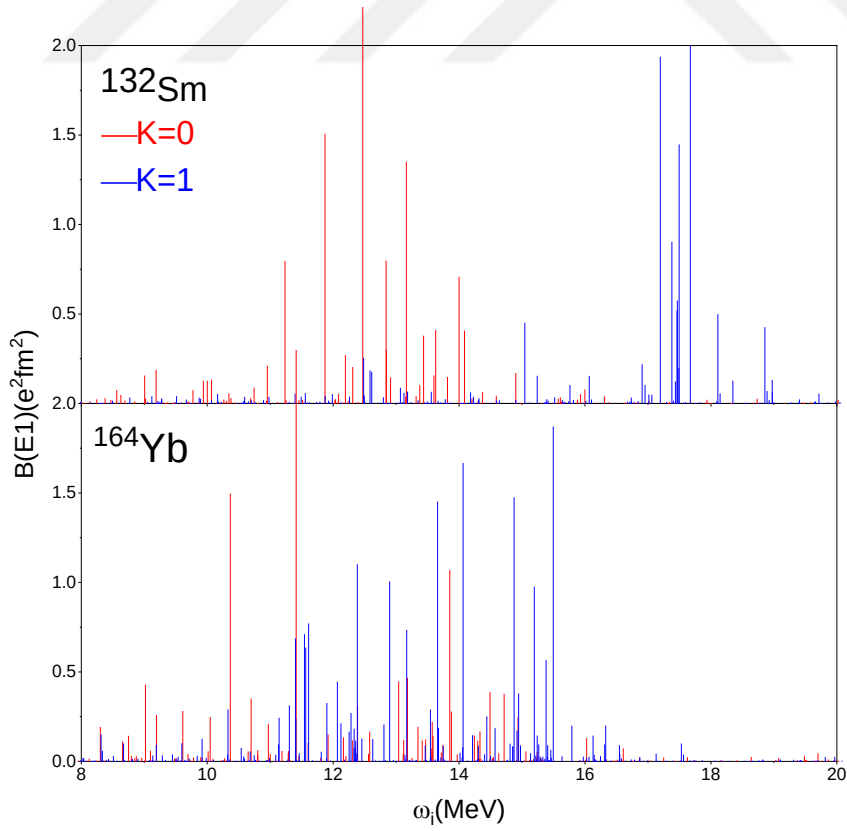
Ardından parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{162}Yb - ^{166}Hf çekirdek çiftine ait 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $B(E1)$ değerleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı Şekil 4.51, Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.51. ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.

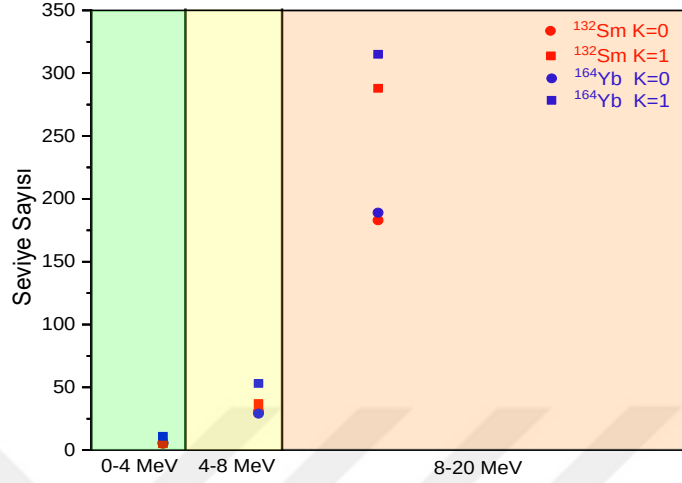


Şekil 4.52. ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



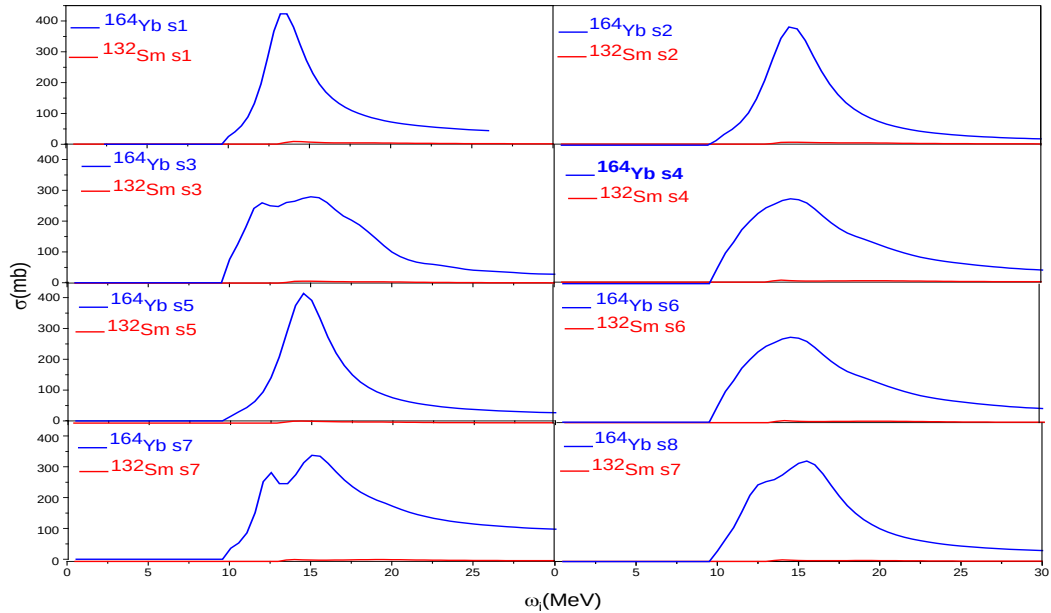
Şekil 4.53. ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için seviye sayıları Şekil 4.54'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.54. ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan sekiz yaklaşıma göre hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesitleri birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile Şekil 4.55'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.55. ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti olan ^{132}Sm - ^{164}Yb 'un TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)]$, toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)\omega]$ ve ortalama enerji $[\bar{\omega}]$ oranları ile toplam radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Gamma_0]$ ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Sigma \Gamma_{red}]$ oranları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.24, Tablo 4.25) sırasıyla verilmiştir.

Tablo 4.24. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{^{132}\text{Sm}}}{\Sigma B(E1)_{^{164}\text{Yb}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{^{132}\text{Sm}}}{\Sigma B(E1)_{^{164}\text{Yb}}}$		$\frac{\overline{\omega}_{^{132}\text{Sm}}}{\overline{\omega}_{^{164}\text{Yb}}}$	
MeV	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	1,94	0,27	1,80	0,29	1,04	1,06
4-8	2,90	0,18	2,97	0,19	1,03	1,03
8-25	1,17	0,77	1,21	0,96	1,02	1,26

Tablo 4.25. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma \Gamma_{0\text{ }^{132}\text{Sm}}}{\Sigma B \Gamma_{0\text{ }^{164}\text{Yb}}}$		$\frac{\Sigma \Gamma_{red\text{ }^{132}\text{Sm}}}{\Sigma B \Gamma_{red\text{ }^{164}\text{Yb}}}$	
	MeV	K=0	K=1	K=0
0-4	1,91	0,32	1,72	0,27
4-8	3,10	0,21	2,90	0,18
8-25	1,21	1,48	1,17	0,77

^{132}Sm - ^{164}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve bunların oranlarının hesaplandığı tablolar (Tablo 4.26, Tablo 4.27) verilmiştir.

Tablo 4.26. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{132}Sm		^{164}Yb		$^{132}\text{Sm}/^{164}\text{Yb}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
2,4182	0,4313	3,8724	0,4519	0,62	0,95
4,5028	0,1506	4,9082	0,1320	0,92	1,14
4,8637	0,0056	3,6002	0,0066	1,35	0,85
5,1746	0,1801	5,6191	0,1713	0,92	1,05
6,3519	0,0118	6,4135	0,0155	0,99	0,76
6,6678	25,1610	6,0715	28,7233	1,09	0,88
7,0515	0,0835	6,9918	0,0836	1	1

Tablo 4.27. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{132}Sm		^{164}Yb		$^{132}\text{Sm}/^{164}\text{Yb}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
2,4099	3,0377	2,2433	3,1650	1,07	0,96
3,7106	0,1100	2,1589	0,1215	1,71	0,90
4,3579	0,0877	2,5700	0,0745	1,69	1,17

Tablo 4.27. (Devamı) Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{164}Yb - ^{132}Sm çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{132}Sm		^{164}Yb		$^{132}\text{Sm}/^{164}\text{Yb}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
4,8708	0,0466	4,9426	0,0457	0,99	1,01
5,7390	0,0053	5,3660	0,0070	1,06	0,76
6,2503	2,1912	6,6707	2,2828	0,94	0,96
6,3013	0,0077	5,3660	0,0070	1,17	1,10
6,3127	1,4456	6,6222	1,5940	0,95	0,91
6,6550	0,0306	6,0310	0,0335	1,10	0,91
6,9002	0,0523	6,6869	0,0403	1,03	1,30
7,3184	2,6259	6,9916	2,6639	1,04	0,99
7,3241	0,1470	7,0049	0,1456	1,04	1
7,4426	2,7365	6,9916	2,6639	1,06	1,02
7,5265	16,1211	7,0667	15,0783	1,06	1,06
7,6378	0,2199	7,9211	0,2231	0,96	0,99

^{132}Sm - ^{164}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-20 MeV enerji aralıkları için yukarıda verilen şekillerdeki ve tablolardaki verilere göre aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Yrast bant seviye şemaları karşılaştırıldığında bu çekirdek çiftinin ilk uyarılmış seviyelerinin dejenere yapısına sahip olduğu görülmüştür.
- ^{132}Sm - ^{164}Yb pseudo-ayna çekirdekleri için fotoabsorbsiyon tesir kesitleri TGI-QRPA ile 0-30 MeV enerji aralığında hesaplanmıştır. Grafikte her iki çekirdeğin deforme olmalarından dolayı fotoabsorbsiyon tesir kesiti

dağılımlarında asimetrik bir yapının olduğu görülmektedir. Pseudo-ayna ^{132}Sm - ^{164}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının birbirleriyle neredeyse tamamen örtüştüğü bulunmuştur.

- 0-4 MeV enerji aralığındaki $K=0$ modu uyarılmaları incelendiğinde ^{132}Sm un 5, ^{164}Yb 'in 6 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. $K=1$ modundaki seviyeler incelendiğinde ^{132}Sm un 5, ^{164}Yb 'in 11 seviyesi vardır. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmüştür.
- 4-8 MeV enerji aralığındaki $K=0$ modu uyarılmaları incelendiğinde ^{132}Sm un 31, ^{164}Yb 'in 29 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. $K=1$ modundaki seviye sayıları ^{132}Sm un 37, ^{164}Yb 'in 53 seviyesi vardır. Bu enerji aralığında hem $K=0$ hem $K=1$ modundaki seviyelerin dejenere oldukları belirlenmiştir.
- 8-25 MeV bölgesindeki $K=0$ modunda ^{132}Sm un 183, ^{164}Yb 'in 189 seviyenin olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede de ^{132}Sm - ^{164}Yb çekirdeklerin seviyelerin dejenere yapısı karşımıza çıkmaktadır.
- ^{132}Sm için toplam $B(E1)$ 17,695 e^2fm^2 , ^{164}Yb için toplam $B(E1)$ 23,103 e^2fm^2 dir.
- Seviye sayılarının 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında birbirlerine yakın olduğu 8-25 MeV enerji aralığında ise ^{132}Sm 'un ^{164}Yb çekirdeğinden hem $K=0$ hem de $K=1$ modunda daha fazla seviye sayısına sahip olduğu belirlenmiştir.
- TALYS kod kullanılarak sekiz farklı yaklaşımda fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplandığında ^{132}Sm - ^{164}Yb çekirdeklerinin genel olarak tüm yaklaşımlarda benzer bir yapı gösterdikleri bulunmuştur.
- TGI-QRPA ve TALYS (s7) kodu kullanılarak hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılmasında hem yaklaşımlar arasında hem de çekirdekler arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- ^{132}Sm - ^{164}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerleri oranlarından elde edilen sonuçlar bize bu iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini göstermiştir. 0-

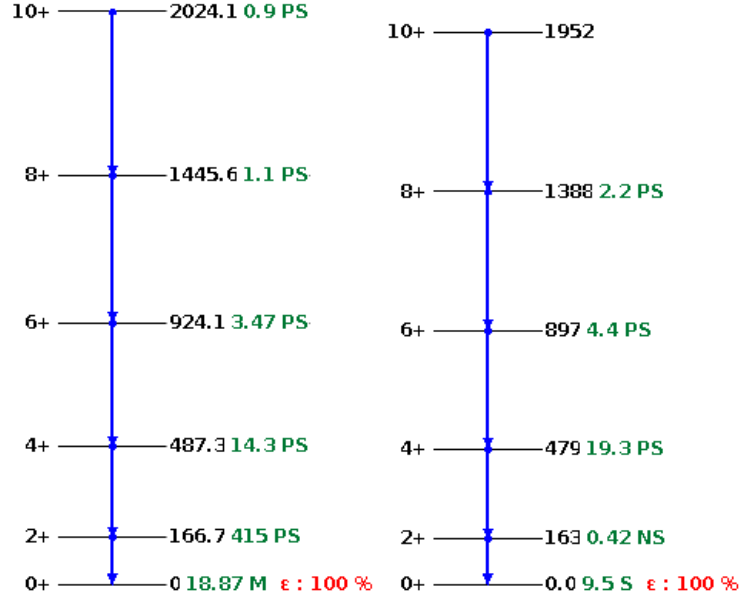
4MeV enerji aralığında ise yalnızca ortalama enerjilerin oranları benzer çıkarken toplam (BE1) ve enerji ağırlıklı B(E1) oranlarında ^{132}Sm 'un ^{164}Yb çekirdeğinden yaklaşık 2,5-5 kat aralığında daha fazladır.

- ^{132}Sm - ^{164}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\sum \Gamma_0$, $\sum \Sigma \Gamma_{red}$ oranlarından elde edilen sonuçlar, toplam B(E1) larde görülüne benzer olarak, iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini, 0-4 MeV enerji aralığında ise oranların birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir.
- ^{132}Sm - ^{164}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol uyarılma spektrumunda, K=0 ve K=1 modlarındaki benzer bazı seviyelerin özelliklerinin verildiği tablodan, her iki çekirdeğin spektrumunda enerji oranlarının bire yakın olduğu pek çok seviye olduğu, bu seviyelerin B(E1) değerlerinin de genellikle bire yakın oranlarının olduğu belirlenmiştir.

4.1.8. ^{162}Yb - ^{134}Sm çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

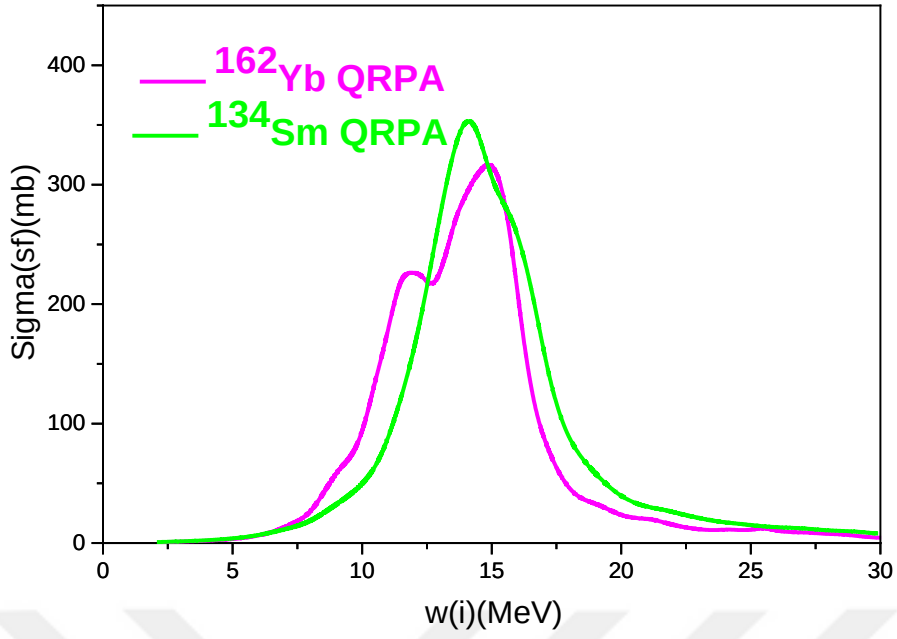
Parçacık boşluk simetrisine sahip, NpNn sayıları 120 olan ^{162}Yb - ^{134}Sm çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri K=0 ve K=1 modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

^{162}Yb - ^{134}Sm çekirdeklerinin yrast bant seviye özelliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.56'da verilmiştir.

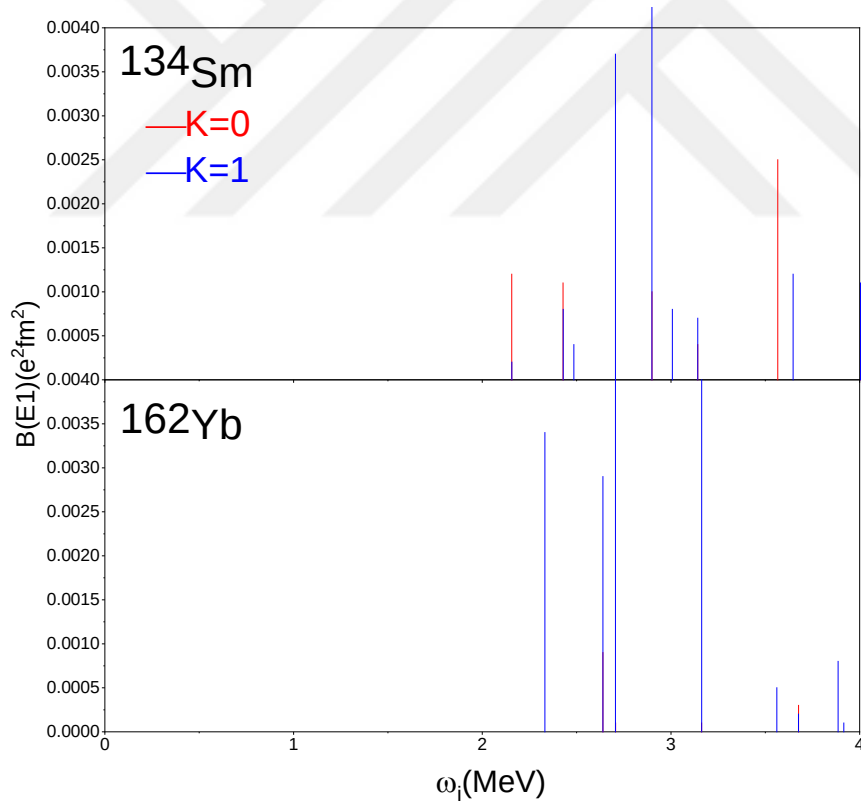


Şekil 4.56. ^{162}Yb - ^{134}Sm çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

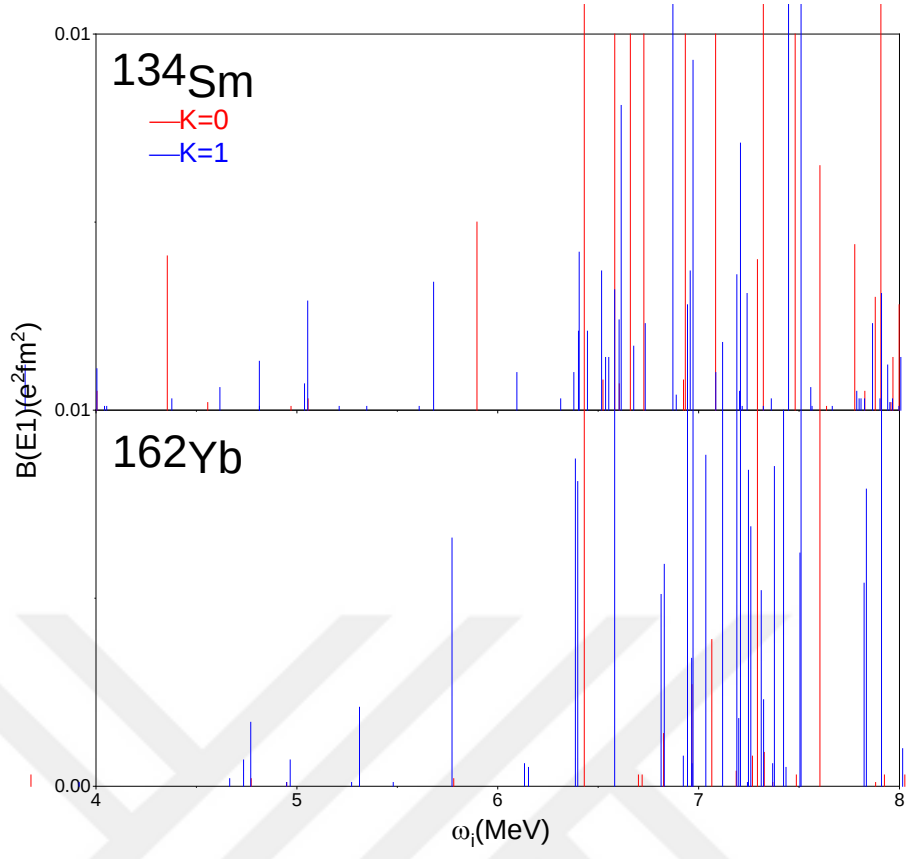
^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek çiftinin elektrik dipol uyarılma özelliklerinin incelenmesine elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özelliklerinin karşılaştırılması ile başlanmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti aşağıda verilmiştir. Ardından parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek çiftine ait 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki B(E1) değerleri K=0 ve K=1 modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan Kopecky-Uhl Genelleştirilmiş Lorentzian (s1), Brink-Axel Lorentzian (s2), Hartree-Fock BCS (s3), Hartree-Fock-Bogolyubov (s4), Goriely'nin Hibrit Modeli (s5), Goriely T'ye bağlı HFB (s6), T'ye bağlı RMF (relatif ortalama alan) (s7), Gogny D1M HFB+QRPA (s8) yaklaşımları ile fotoabsorbsiyon tesir kesitleri birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında bulunan seviye sayıları yine karşılaştıran niceliklerden biridir. Bu işlemlere ait tüm bulgular aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61, Şekil 4.62 ve Şekil 4.63) sırasıyla verilmiştir.



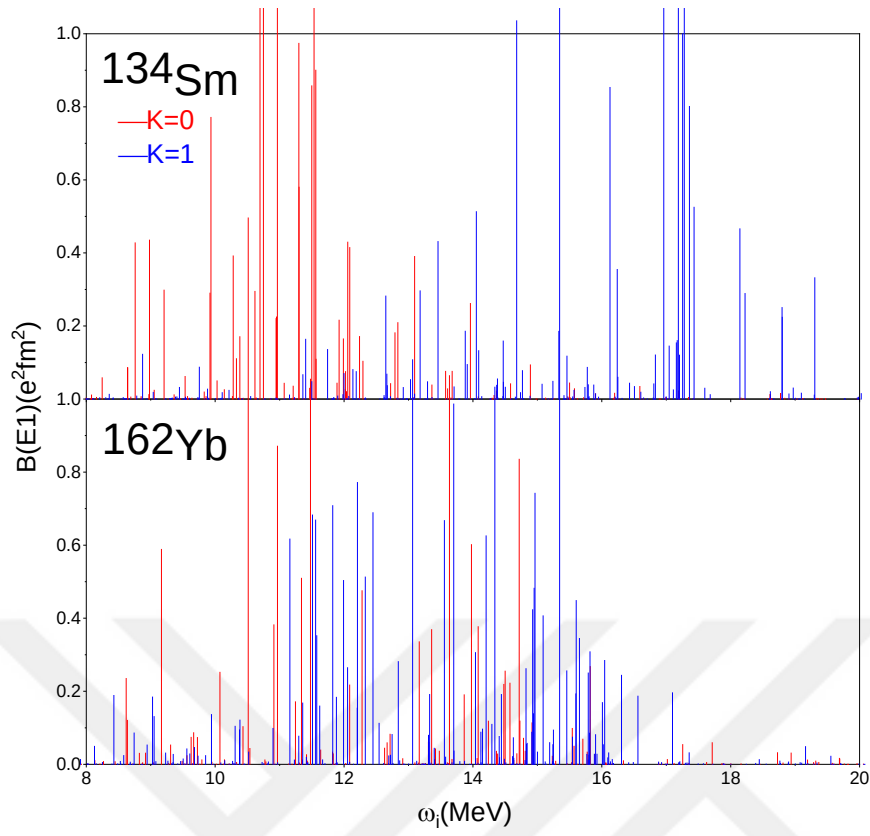
Şekil 4.57. ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.



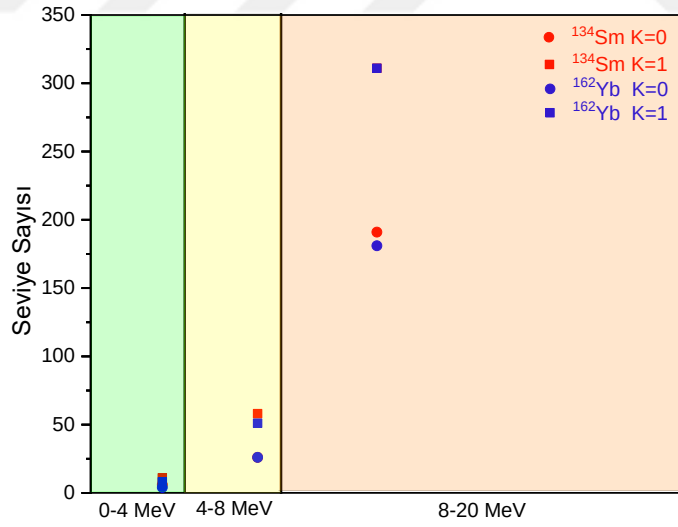
Şekil 4.58. ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



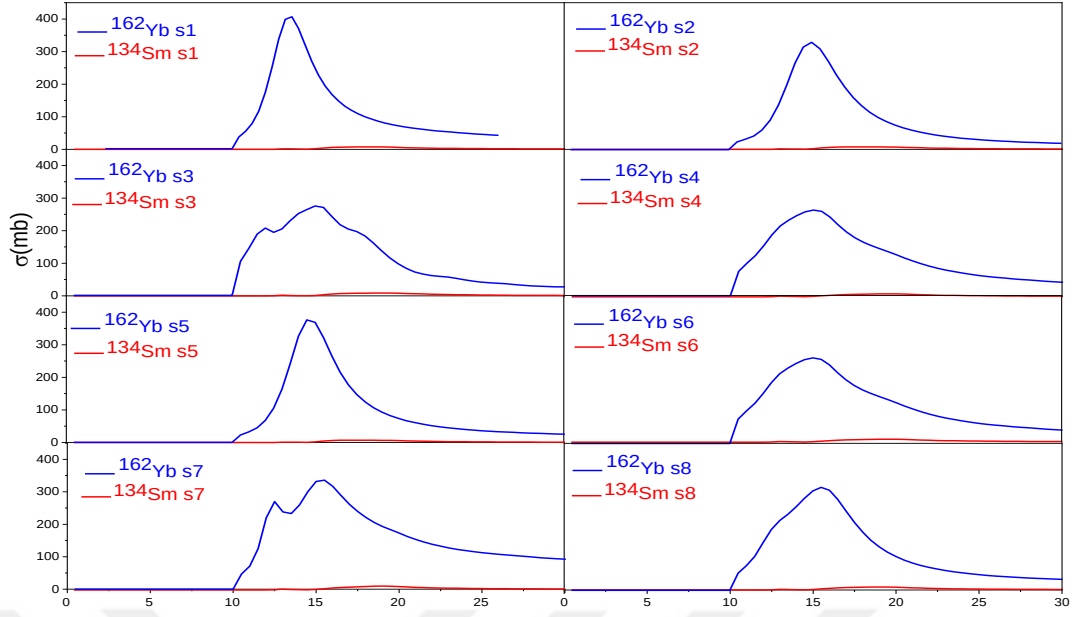
Şekil 4.59. ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



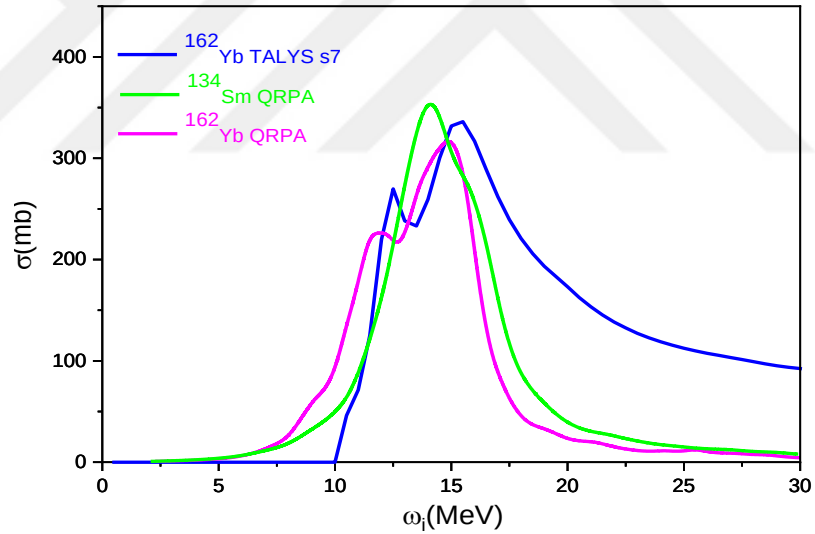
Şekil 4.60. ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki B(E1) değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.61. ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.62. ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.63. ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti olan ^{134}Sm - ^{162}Yb 'un TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)]$, toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)\omega]$ ve ortalama enerji $[\bar{\omega}]$ oranları ile toplam radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Gamma_0]$ ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Sigma \Gamma_{red}]$ oranları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.28, Tablo 4.29) sırasıyla verilmiştir. Ardından ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-

QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve bunların oranlarının hesaplandığı tablolar (Tablo 4.30, Tablo 4.31) verilmiştir.

Tablo 4.28. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{^{134}\text{Sm}}}{\Sigma B(E1)_{^{162}\text{Yb}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{^{134}\text{Sm}}}{\Sigma B(E1)_{^{162}\text{Yb}}}$		$\frac{\overline{\omega}^{^{134}\text{Sm}}}{\overline{\omega}^{^{162}\text{Yb}}}$	
MeV	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	2,28	0,05	0,10	1,51	1,03	0,88
4-8	1,16	$6,25 \cdot 10^{-4}$	0,09	0,04	0,95	0,90
8-25	$8,07 \cdot 10^{-4}$	$8,54 \cdot 10^{-4}$	0,10	0,15	0,99	1,21

Tablo 4.29. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma \Gamma_{0^{134}Sm}}{\Sigma B \Gamma_{0^{162}Yb}}$		$\frac{\Sigma \Gamma_{red^{134}Sm}}{\Sigma B \Gamma_{red^{162}Yb}}$	
	MeV	K=0	K=1	K=0
0-4	3,46	31,6	3,16	46,1
4-8	1	0,54	1,17	0,63
8-25	0,80	1,53	0,83	0,85

Tablo 4.30. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{134}Sm		^{162}Yb		$^{134}\text{Sm}/^{162}\text{Yb}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
2,8996	0,9671	2,6393	0,9474	1,09	1,02
3,6121	0,0349	4,1375	0,0375	0,87	0,93
4,9708	0,0580	4,9491	0,0595	1	0,97
6,2222	0,0104	6,3809	0,0102	0,98	1,01
6,5824	33,9017	6,4310	27,7065	1,02	1,22
7,7465	0,0036	6,6966	0,0024	1,15	1,5
7,8795	2,9508	6,9667	2,7187	1,13	1,08
7,9675	1,3597	6,8253	1,4300	1,16	0,95

Tablo 4.31. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{134}Sm		^{162}Yb		$^{134}\text{Sm}/^{162}\text{Yb}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
2,1565	0,2036	3,6759	0,2121	0,59	0,96
3,0076	0,7777	3,8857	0,7749	0,77	1
3,1420	0,7220	3,8857	0,7749	0,80	0,93
3,3428	0,0412	4,7161	0,0495	0,70	0,83
3,5655	0,0156	4,2171	0,0149	0,85	1,04

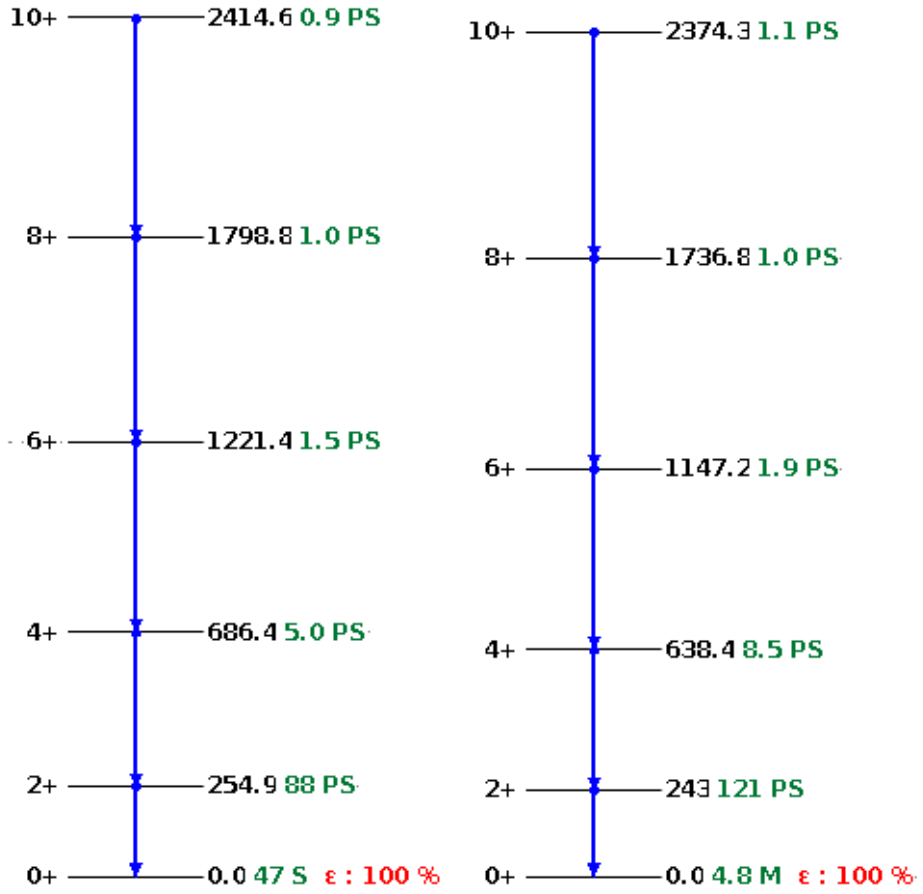
Tablo 4.31. (Devamı) Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{134}Sm - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{134}Sm		^{162}Yb		$^{134}\text{Sm}/^{162}\text{Yb}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
4,0426	0,0879	4,9491	0,0866	0,82	1,01
4,0533	0,0793	5,4800	0,0753	0,74	1,05
4,6168	0,5529	6,1533	0,5316	0,75	1,04
5,0367	0,0407	6,2215	0,0339	0,81	1,20
5,0380	0,7012	4,9668	0,7184	1,05	0,98
5,2106	0,0872	4,9491	0,0866	1,05	1
5,7859	0,0232	6,2215	0,0339	0,93	0,68
6,4018	2,0568	5,3118	2,0761	1,20	0,99
6,5169	3,7012	6,9653	3,4417	0,94	1,07
6,6770	1,6668	7,1996	1,7896	0,93	0,93
6,7343	2,3422	7,3236	2,3461	0,92	1
6,9252	0,0491	7,4949	0,0423	0,90	1,16
6,9584	3,6657	6,9653	3,4417	1	1,06
7,3221	0,1407	7,2431	0,1335	1,01	1,05
7,4365	0,0078	7,4842	0,0052	0,99	1,5
7,4479	13,9082	7,1902	13,6285	1,03	1,02

4.1.9. ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

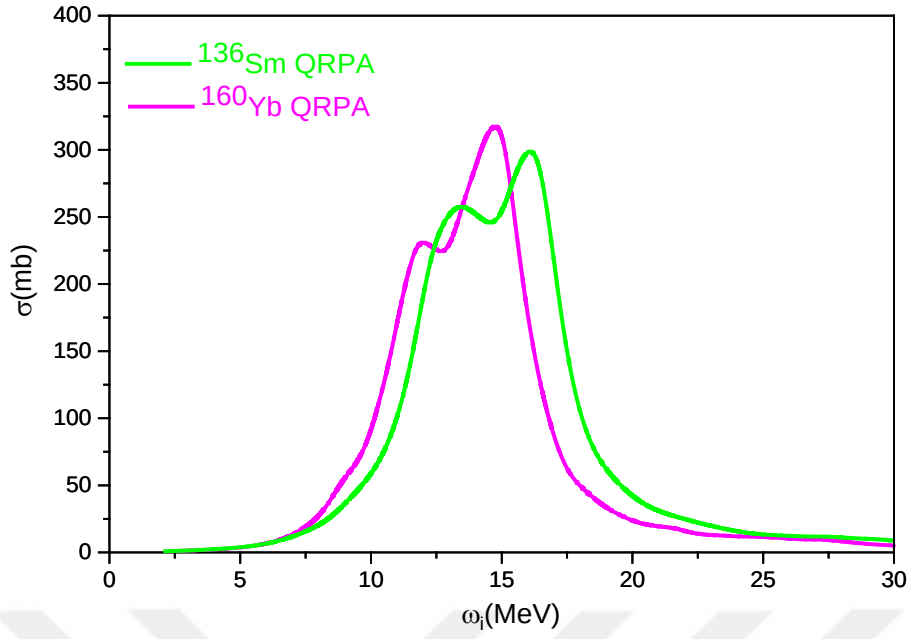
Parçacık boşluk simetrisine sahip, NpNn sayıları 96 olan ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri K=0 ve K=1 modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin taban durum bandı (yrast bant) seviye özelliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.64'te verilmiştir (National Nuclear Data Center [NuDat], 2024).

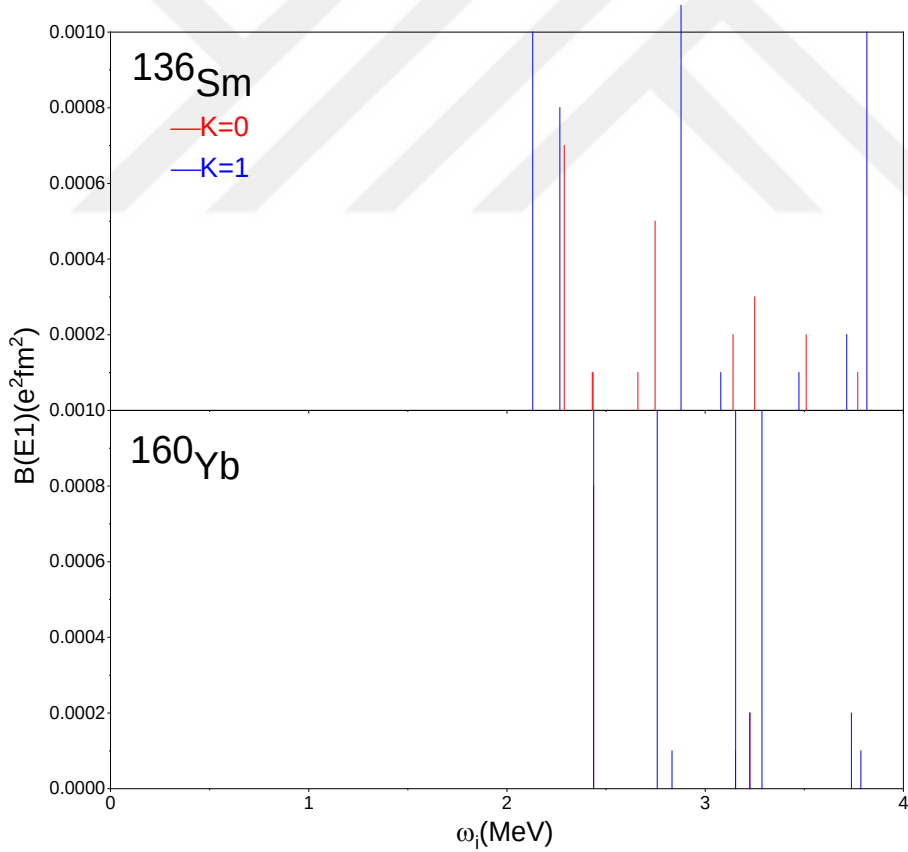


Şekil 4.64. ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

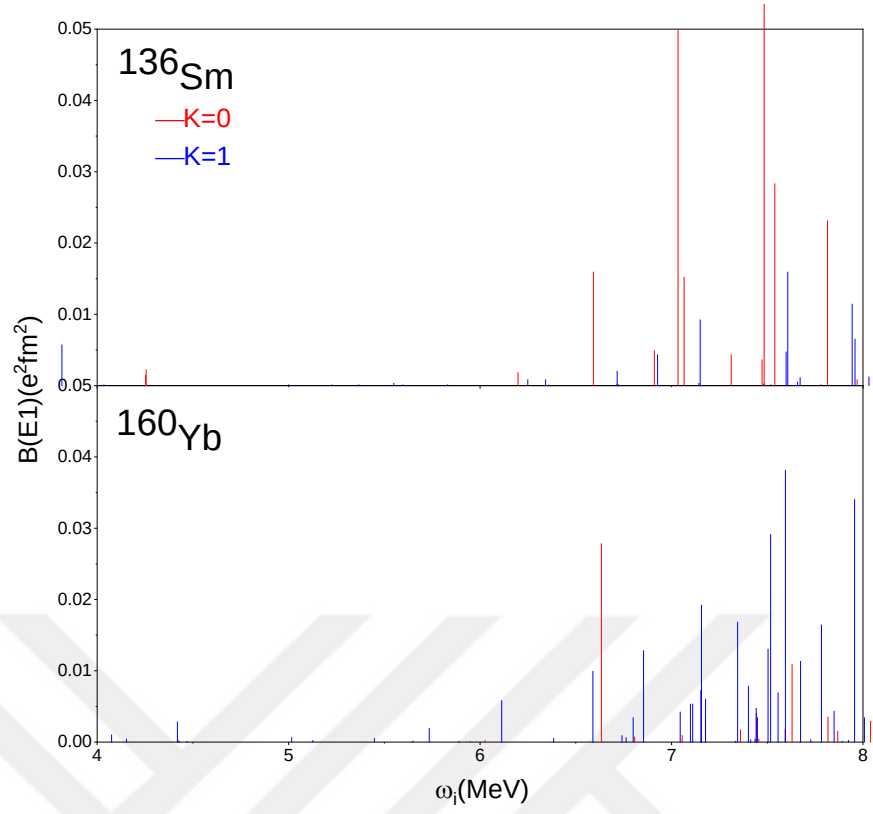
^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek çiftinin elektrik dipol uyarılma özelliklerinin incelenmesine elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özelliklerinin karşılaştırılması ile başlanmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti Şekil 4.65'te verilmiştir. Ardından parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek çiftine ait 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki B(E1) değerleri K=0 ve K=1 modları için ayrı ayrı Şekil 4.66, Şekil 4.67 ve Şekil 4.68'de karşılaştırılmıştır.



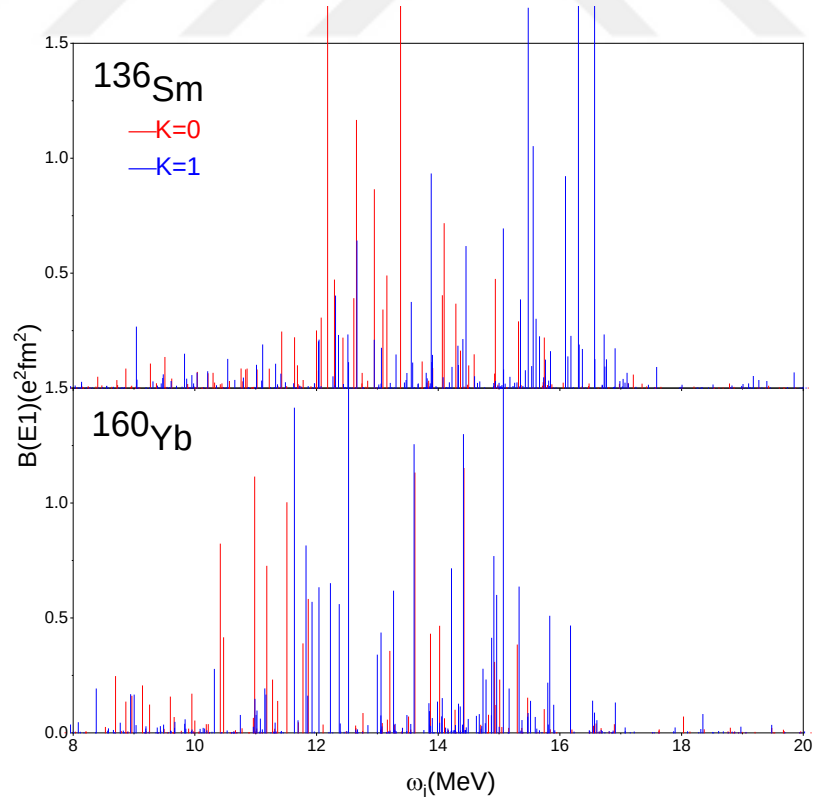
Şekil 4.65. ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.66. ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.

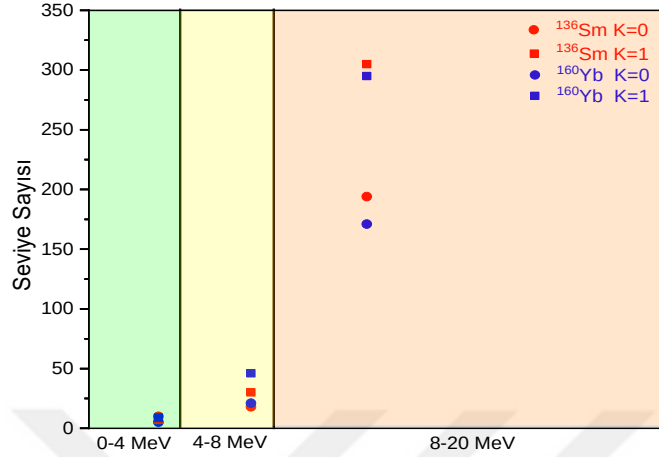


Şekil 4.67. ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



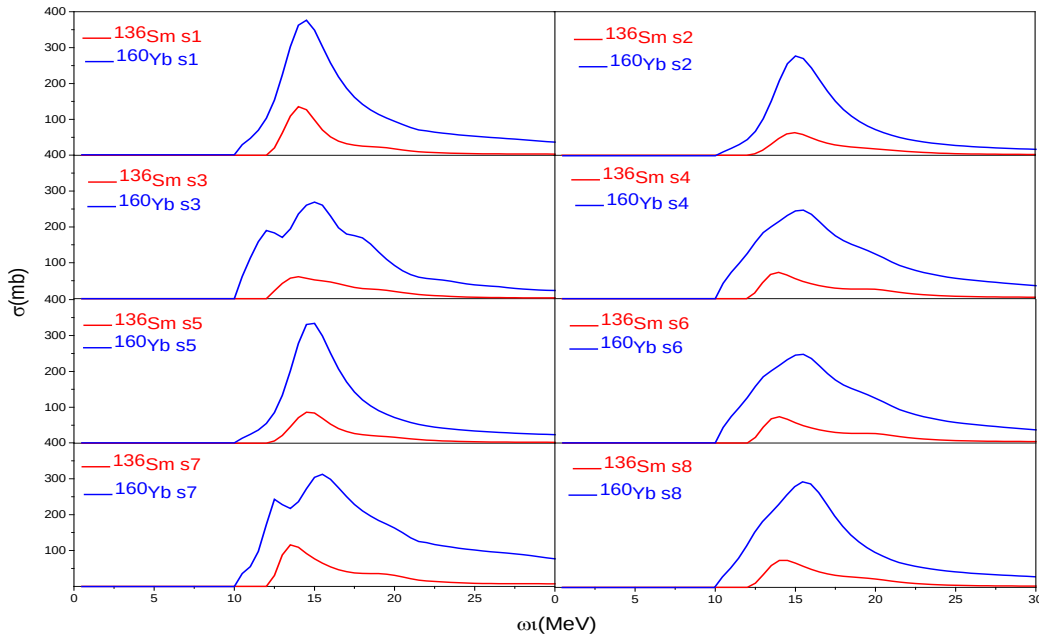
Şekil 4.68. ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralığındaki K=0 ve K=1 modları için bulunan seviye sayıları Şekil 4.69’da karşılaştırılmıştır.

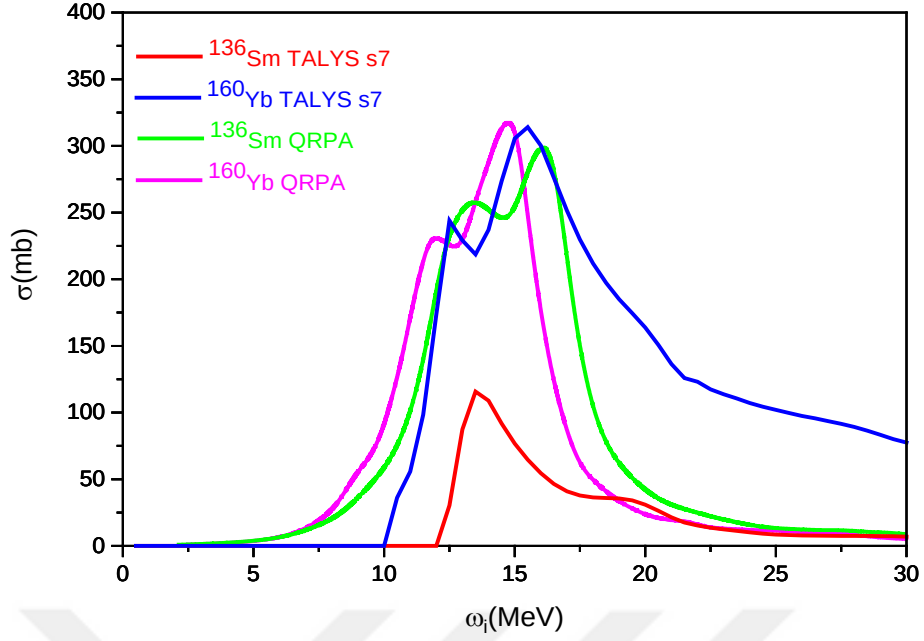


Şekil 4.69. ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan sekiz yaklaşım ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesitleri birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.70, Şekil 4.71).



Şekil 4.70. ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.71. ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti olan ^{136}Sm - ^{160}Yb 'un TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı [$\Sigma B(E1)$], toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı [$\Sigma B(E1)\omega$] ve ortalama enerji [$\bar{\omega}$] oranları ile toplam radyasyon kalınlığı [$\Sigma \Gamma_0$] ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı [$\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$] oranları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.32, Tablo 4.33) sırasıyla verilmiştir. Ardından ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve bunların oranlarının hesaplandığı tablolar (Tablo 4.34, Tablo 4.35) verilmiştir.

Tablo 4.32. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{^{136}\text{Sm}}}{\Sigma B(E1)_{^{160}\text{Yb}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{^{136}\text{Sm}}}{\Sigma B(E1)_{^{160}\text{Yb}}}$		$\frac{\bar{\omega}_{^{136}\text{Sm}}}{\bar{\omega}_{^{160}\text{Yb}}}$	
MeV	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	4,91	2,91	3,54	2,91	0,83	1
4-8	0,94	0,94	0,94	0,94	1	1
8-25	0,95	0,83	0,95	0,83	1	1

Tablo 4.33. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma \Gamma_{0^{136}\text{Sm}}}{\Sigma B \Gamma_{0^{160}\text{Yb}}}$		$\frac{\Sigma \Gamma_{red^{136}\text{Sm}}}{\Sigma B \Gamma_{red^{160}\text{Yb}}}$	
MeV	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	2,23	3,34	3,54	2,91
4-8	0,92	0,90	0,93	0,94
8-25	0,95	0,83	0,95	0,83

Tablo 4.34. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{136}Sm		^{160}Yb		$^{136}\text{Sm}/^{160}\text{Yb}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
2,2889	0,6713	2,4372	0,7599	0,94	0,88
2,4302	0,0961	3,1529	0,0803	0,77	1,19
2,6608	0,0845	3,1529	0,0803	0,84	1,05
3,7699	0,1444	3,2254	0,1877	1,16	0,77
6,1984	1,7718	7,3603	1,7081	0,84	1,03
6,3362	0,0022	5,4490	0,0029	1,16	0,76
6,7006	0,0115	7,4354	0,0121	0,90	0,95
6,9102	4,8776	7,4427	4,0223	0,93	1,21
7,4729	3,6351	7,8171	3,4970	0,96	1,03
7,8144	23,1420	8,5296	23,5701	0,92	0,98

Tablo 4.35. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{136}Sm		^{160}Yb		$^{136}\text{Sm}/^{160}\text{Yb}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
3,4732	0,0913	3,7856	0,0950	0,92	0,96
3,8159	5,7330	3,2864	5,1333	1,16	1,11
4,0357	0,0962	4,4701	0,0959	0,90	1
5,0012	0,1432	5,1262	0,1846	0,98	0,78
5,2265	0,0695	5,6491	0,0685	0,93	1,01
5,3670	0,0604	5,6491	0,0685	0,95	0,88
5,8300	0,0663	5,8893	0,0722	1	0,92
6,1371	0,0065	6,3774	0,0053	0,96	1,22
6,3508	0,0253	6,0471	0,0191	1,05	1,32
6,8303	0,0206	6,1491	0,0166	1,11	1,24
6,9270	4,3168	7,0455	4,2419	0,98	1,01
7,5984	4,7245	7,4424	4,7319	1,02	1
7,9435	11,4231	7,6740	11,3337	1,03	1
7,9584	6,5364	7,5567	6,8882	1,05	0,95

^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-20 MeV enerji aralıkları için yukarıda verilen şekillerdeki ve tablolardaki verilere göre aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Yrast bant seviye şemaları karşılaştırıldığında bu çekirdek çiftinin ilk uyarılmış seviyelerinin dejenere yapısına sahip olduğu görülmüştür.

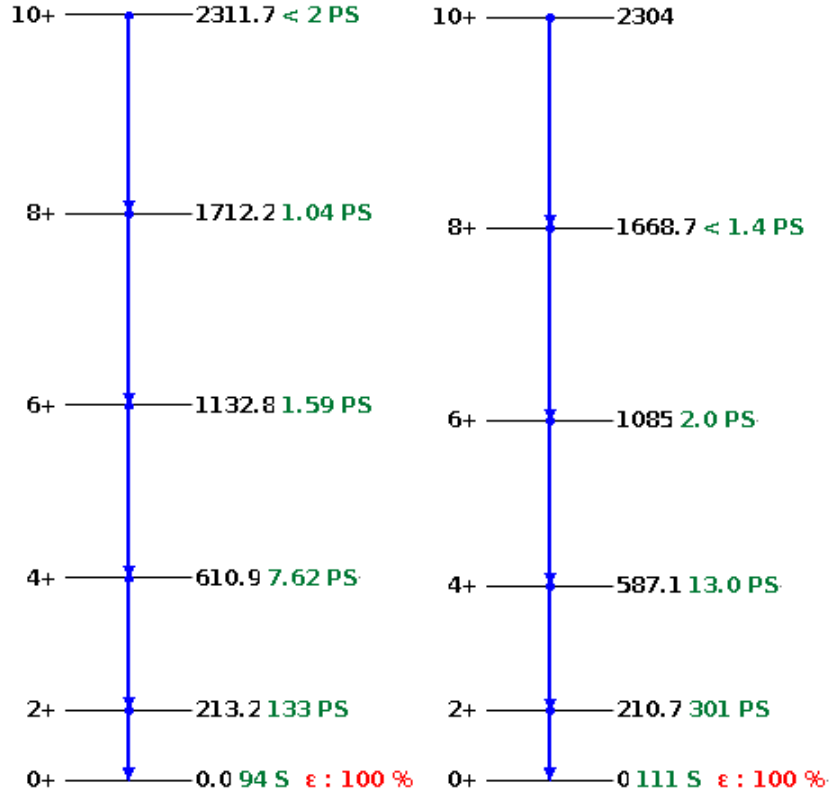
- ^{136}Sm - ^{160}Yb pseudo-ayna çekirdekleri için fotoabsorbsiyon tesir kesitleri TGI-QRPA ile 0-30 MeV enerji aralığında hesaplanmıştır. Grafikte her iki çekirdeğin deforme olmalarından dolayı fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarında asimetrik bir yapının olduğu görülmektedir. Pseudo-ayna ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının birbirleriyle neredeyse tamamen örtüştüğü bulunmuştur.
- 0-4 MeV enerji aralığındaki K=0 modu uyarılmaları incelendiğinde ^{136}Sm un 6, ^{160}Yb 'un 4 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. K=1 modundaki seviyeler incelendiğinde ^{136}Sm 'un 11, ^{160}Yb 'un 8 seviyesi vardır. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmüştür.
- 4-8 MeV enerji aralığındaki K=0 modu uyarılmaları incelendiğinde ^{136}Sm un 26, ^{160}Yb 'un 26 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. K=1 modundaki seviye sayıları ^{136}Sm 'un 58, ^{160}Yb 'un 51 seviyesi vardır. Bu enerji aralığında hem K=0 hem K=1 modundaki seviyelerin dejenere oldukları belirlenmiştir.
- 8-25 MeV bölgesindeki K=0 modunda ^{136}Sm un 191, ^{160}Yb 'un 181 seviyenin olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede de ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerin seviyelerin dejenere yapısı karşımıza çıkmaktadır.
- ^{136}Sm için toplam $21,5451763 \text{ e}^2\text{fm}^2$, ^{160}Yb için toplam $B(E1) 23,3359744 \text{ e}^2\text{fm}^2$ dir.
- Seviye sayılarının 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında birbirlerine yakın olduğu 8-25 MeV enerji aralığında ise ^{136}Sm 'un ^{160}Yb çekirdeğinden hem K=0 hem de K=1 modunda daha fazla seviye sayısına sahip olduğu belirlenmiştir.
- TALYS kod kullanılarak sekiz farklı yaklaşımda fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplandığında ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin genel olarak tüm yaklaşımlarda benzer bir yapı gösterdikleri bulunmuştur.
- TGI-QRPA ve TALYS (s7) kodu kullanılarak hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılmasında hem yaklaşımlar arasında hem de çekirdekler arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

- ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega, \bar{\omega}$ değerleri oranlarından elde edilen sonuçlar bize bu iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini göstermiştir. 0-4 MeV enerji aralığında ise yalnızca ortalama enerjilerin oranları bir, çok benzer, çıkarken toplam (BE1) ve enerji ağırlıklı B(E1) oranlarında ^{136}Sm 'un ^{160}Yb çekirdeğinden yaklaşık 2,5-5 kat aralığında daha fazladır.
- ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma \Gamma_0$, $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ oranlarından elde edilen sonuçlar, toplam B(E1) larde görülüne benzer olarak, iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini, 0-4 MeV enerji aralığında ise oranların birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir.
- ^{136}Sm - ^{160}Yb çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol uyarılma spektrumunda, K=0 ve K=1 modlarındaki benzer bazı seviyelerin özelliklerinin verildiği tablodan, her iki çekirdeğin spektrumunda enerji oranlarının bire yakın olduğu pek çok seviye olduğu, bu seviyelerin B(E1) değerlerinin de genellikle bire yakın oranlarının olduğu belirlenmiştir.

4.1.10. ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

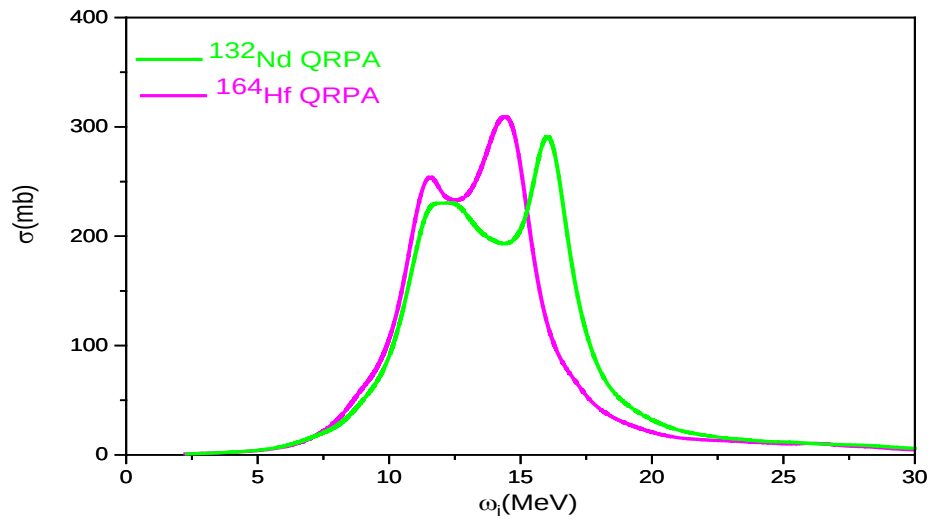
Parçacık boşluk simetrisine sahip, NpNn sayıları 100 olan ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri K=0 ve K=1 modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. TALYS kod ile farklı yaklaşımlar kullanılarak fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplanmıştır.

^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin taban durum bandı (yrast bant) seviye özelliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.72'de verilmiştir (National Nuclear Data Center [NuDat], 2024).



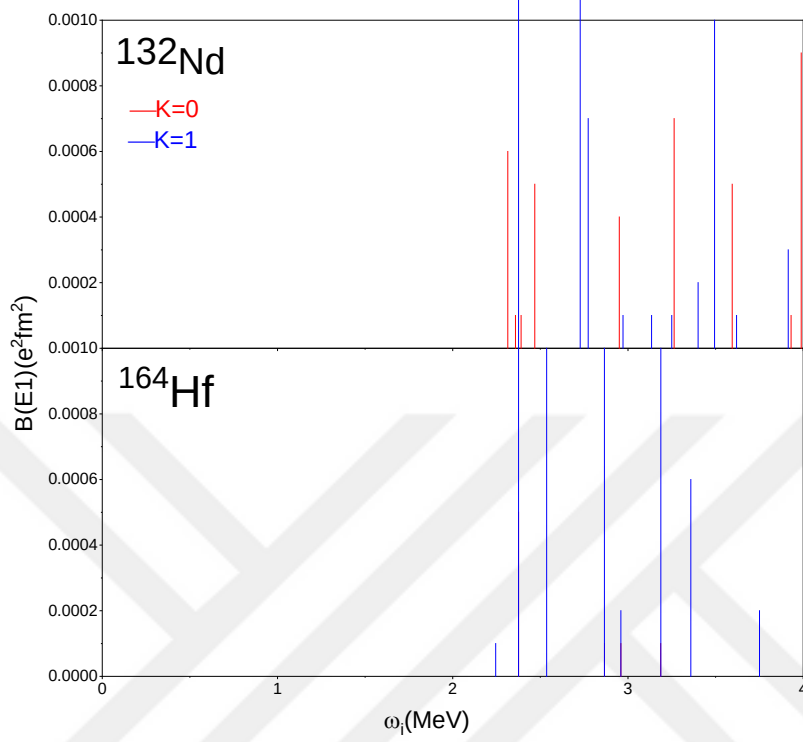
Şekil 4.72. ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek çiftinin elektrik dipol uyarılma özelliklerinin incelenmesine elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özelliklerinin karşılaştırılmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti Şekil 4.73'te verilmiştir.

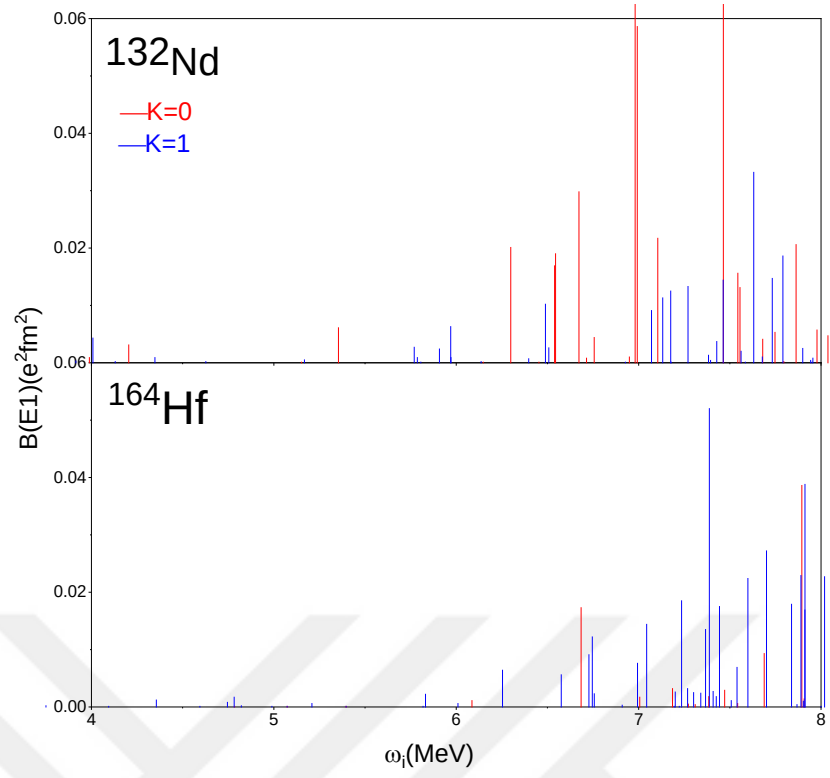


Şekil 4.73. ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.

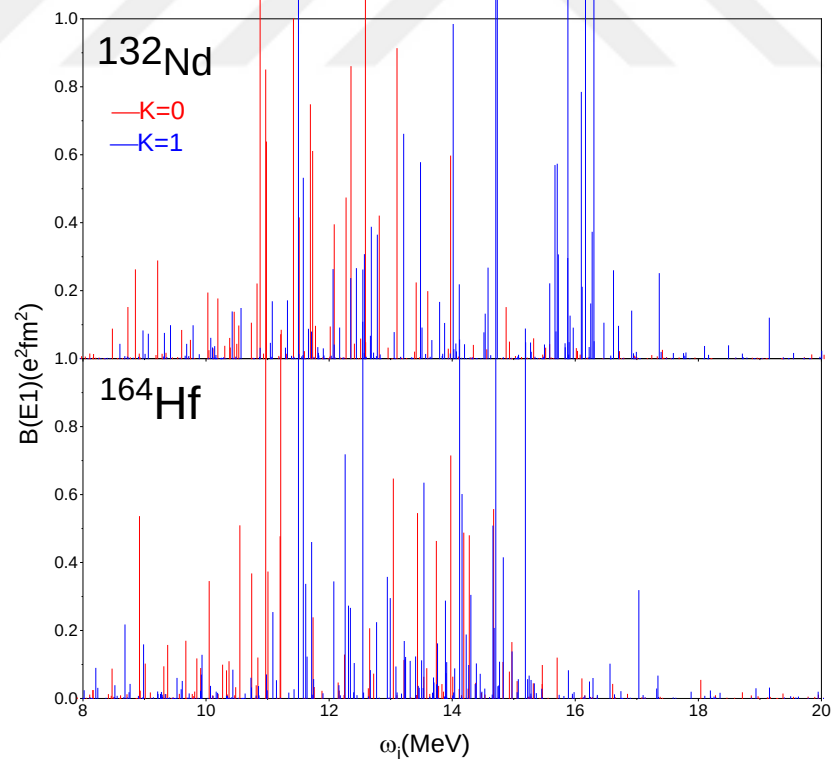
Ardından parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek çiftine ait 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $B(E1)$ değerleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır (Şekil 4.74, Şekil 4.75, Şekil 4.76).



Şekil 4.74. ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.

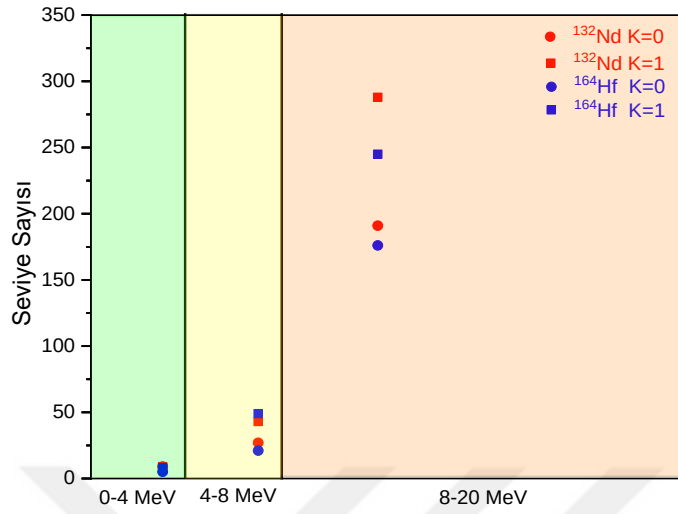


Şekil 4.75. ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.



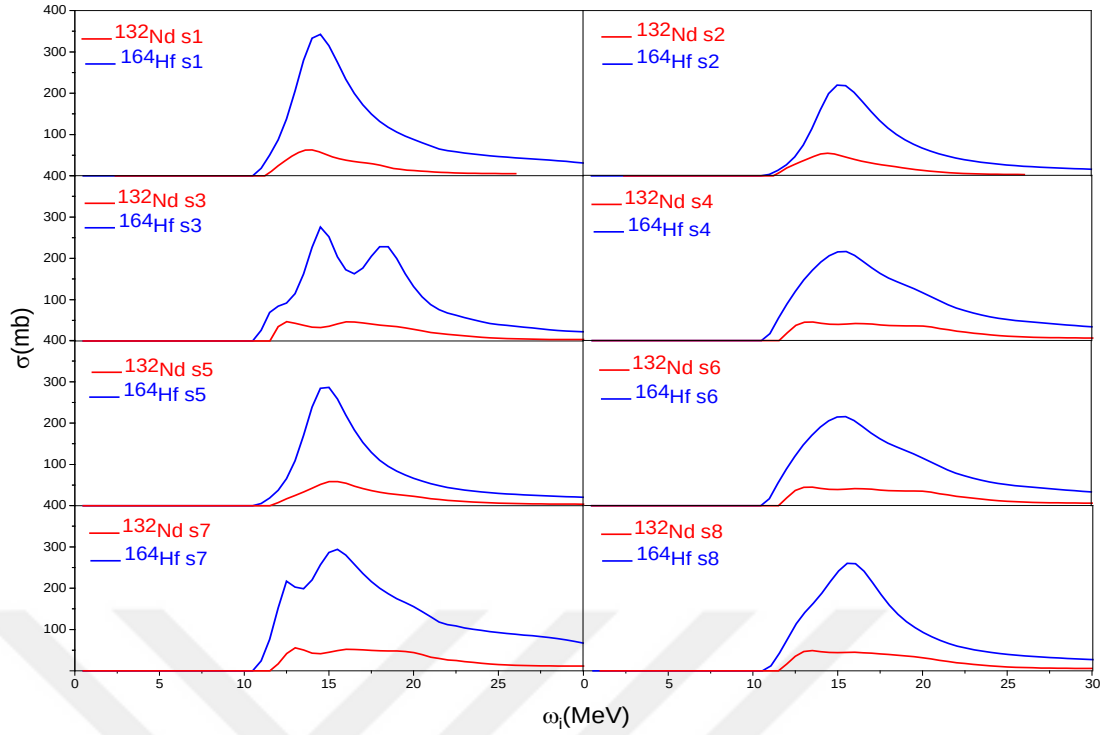
Şekil 4.76. ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.

Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında bulunan seviye sayıları yine karşılaştıran niceliklerden biridir (Şekil 4.77).

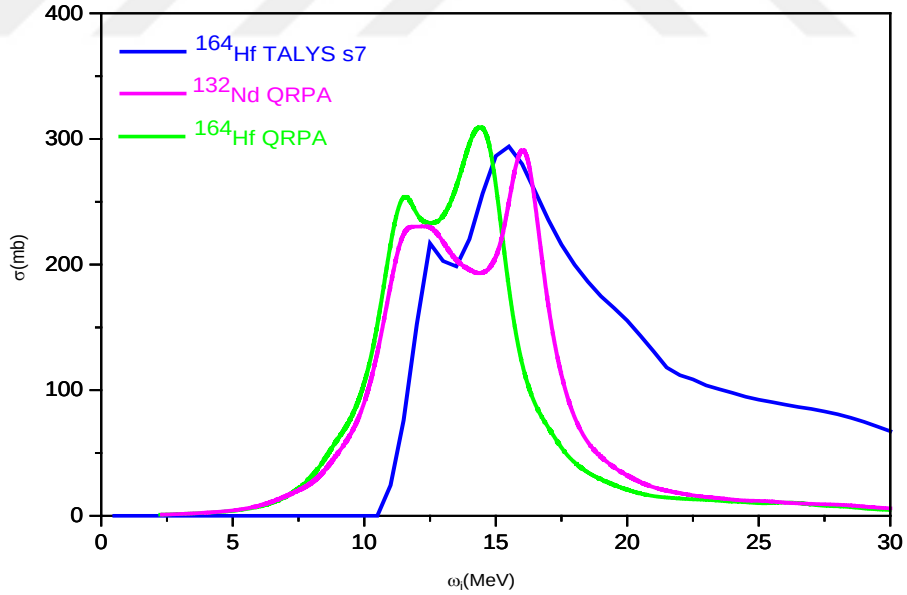


Şekil 4.77. ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan sekiz yaklaşımla hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesitleri birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.78, Şekil 4.79).



Şekil 4.78. ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.79. ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeğinin çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti olan ^{132}Nd - ^{164}Hf 'un TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı $[\Sigma B(E1)]$, toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı

$[\Sigma B(E1)\omega]$ ve ortalama enerji $[\bar{\omega}]$ oranları ile toplam radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Gamma_0]$ ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı $[\Sigma \Sigma \Gamma_{red}]$ oranları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.36, Tablo 4.37) sırasıyla verilmiştir. Ardından ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve bunların oranlarının hesaplandığı tablolar (Tablo 4.38, Tablo 4.39) verilmiştir.

Tablo 4.36. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{^{132}\text{Nd}}}{\Sigma B(E1)_{^{164}\text{Hf}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{^{132}\text{Nd}}}{\Sigma B(E1)_{^{164}\text{Hf}}}$		$\frac{\bar{\omega}_{^{132}\text{Nd}}}{\bar{\omega}_{^{164}\text{Hf}}}$	
	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	5,09	0,25	23,65	0,26	1,20	1,07
4-8	5,20	0,51	4,91	0,49	0,95	1
8-25	28,16	0,87	1,20	0,98	0,96	1,12

Tablo 4.37. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma \Gamma_0^{132}\text{Nd}}{\Sigma B \Gamma_0^{164}\text{Hf}}$		$\frac{\Sigma \Gamma_{red}^{132}\text{Nd}}{\Sigma B \Gamma_{red}^{164}\text{Hf}}$	
MeV	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	8,97	0,24	4,32	0,16
4-8	4,38	0,47	5,16	0,51
8-25	1,09	1,21	1,24	0,87

Tablo 4.38. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{132}Nd		^{164}Hf		^{132}Nd - ^{164}Hf	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
2,3142	0,5880	2,3758	0,4761	0,97	1,24
2,3583	0,0737	2,8663	0,0648	0,82	1,14
5,1515	0,0543	5,3962	0,0689	0,95	0,79
6,5393	16,8572	6,6847	17,3312	0,98	0,97
6,8061	0,0227	6,5664	0,0228	1,03	1
7,4139	0,0013	7,4797	0,0075	0,99	0,17

Tablo 4.39. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{132}Nd		^{164}Hf		$^{132}\text{Nd}/^{164}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
2,7273	2,8792	2,3756	2,9115	0,95	0,99
2,7731	0,6902	3,3587	0,6344	0,83	1,08
2,9717	0,1246	2,2452	0,1389	1,32	0,90
3,4942	3,5500	2,5362	3,8112	1,38	0,93
4,0650	0,0266	4,0514	0,0370	1	0,72
4,1305	0,1877	3,7507	0,1826	1,01	1,02
4,2255	0,0331	4,0514	0,0370	1,04	0,90
4,3481	0,8896	4,7456	0,8107	0,92	1,09
4,6273	0,1656	3,7507	0,1826	1,23	0,90
5,6227	0,0126	6,1032	0,0133	0,92	0,95
5,7697	2,7304	5,8316	2,2482	0,90	1,21
5,8059	0,0628	5,3961	0,0675	1,07	0,93
5,9077	2,3881	5,8316	2,2482	1,01	1,06
5,9696	6,3479	6,2536	6,3897	0,95	0,99
6,3974	0,6539	6,0095	0,6485	1,06	1
6,5074	2,6325	7,2007	2,6111	0,90	1
7,0706	9,0878	6,7273	9,1449	1,005	0,99
7,1758	12,5353	6,7461	12,2345	1,06	1,02
7,2706	13,3466	7,3669	13,4738	0,99	0,99

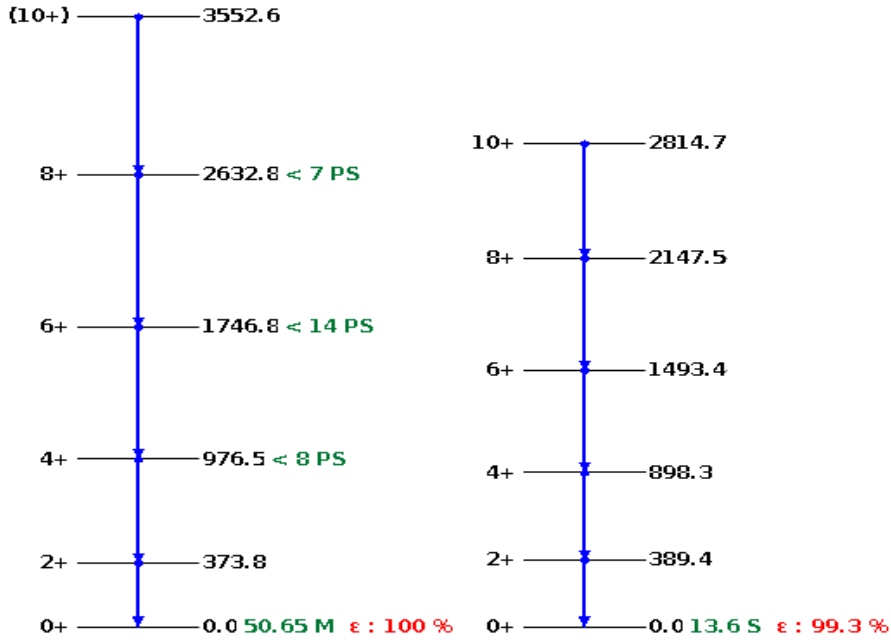
Tablo 4.39. (Devamı) Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{132}Nd		^{164}Hf		$^{132}\text{Nd}/^{164}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
7,3831	1,2509	7,4257	1,7570	0,99	0,71
7,4281	3,6728	7,2684	3,1761	1,02	1,15
7,4634	14,3862	7,0441	14,4195	1,05	1
7,5614	1,9878	7,4257	1,7570	1,01	1,13
7,6782	0,9930	7,9027	0,9783	0,97	1,01
7,7325	14,7190	7,0441	14,4195	1,09	1,02
7,7911	18,5637	7,2356	18,5248	1,07	1
7,8998	2,5357	7,3014	2,5459	1,08	1

4.1.11. ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek çiftine ait bulguların karşılaştırılması

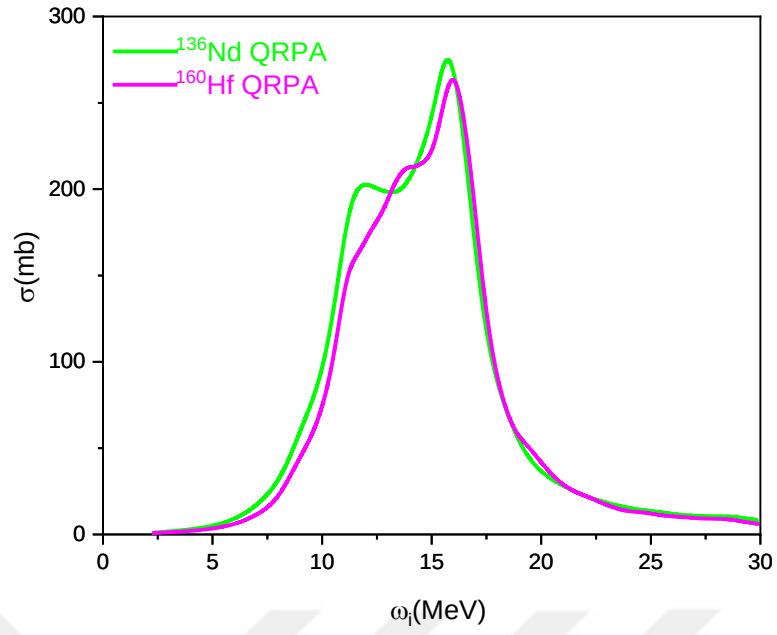
Parçacık boşluk simetrisine sahip, NpNn sayıları 60 olan ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdeklerinin toplam elektrik dipol spektrumunun 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki özellikleri K=0 ve K=1 modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. TALYS kod ile farklı yaklaşımlar kullanılarak parçacık-boşluk simetrik çekirdek çiftlerinin fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplanmıştır.

^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdeklerinin yrast bant seviye özelliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.80'de verilmiştir (National Nuclear Data Center [NuDat], 2024).

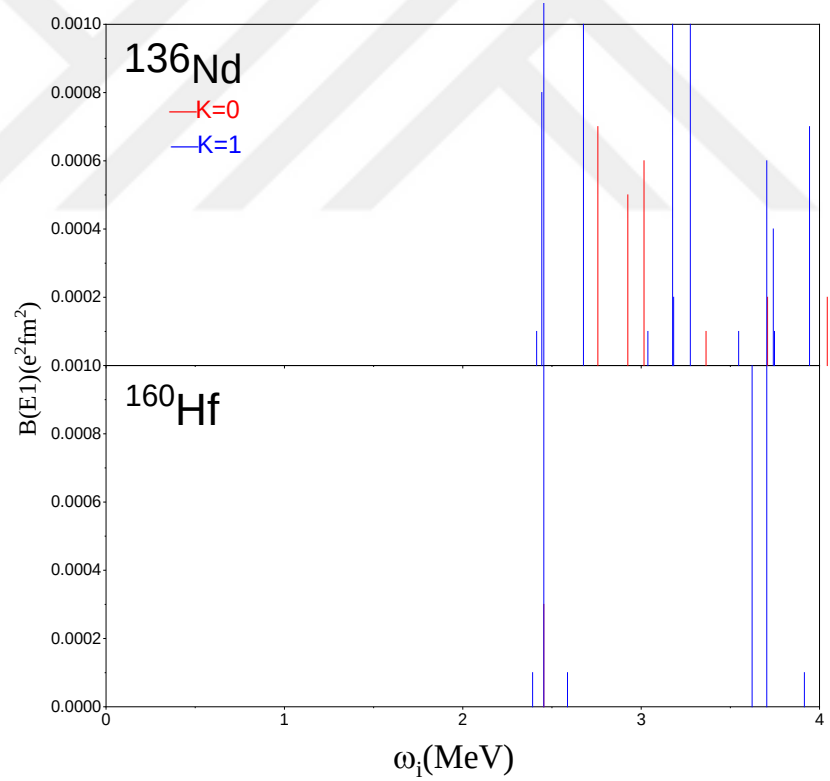


Şekil 4.80. ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek çiftinin yrast bant seviye şemalarının karşılaştırılması.

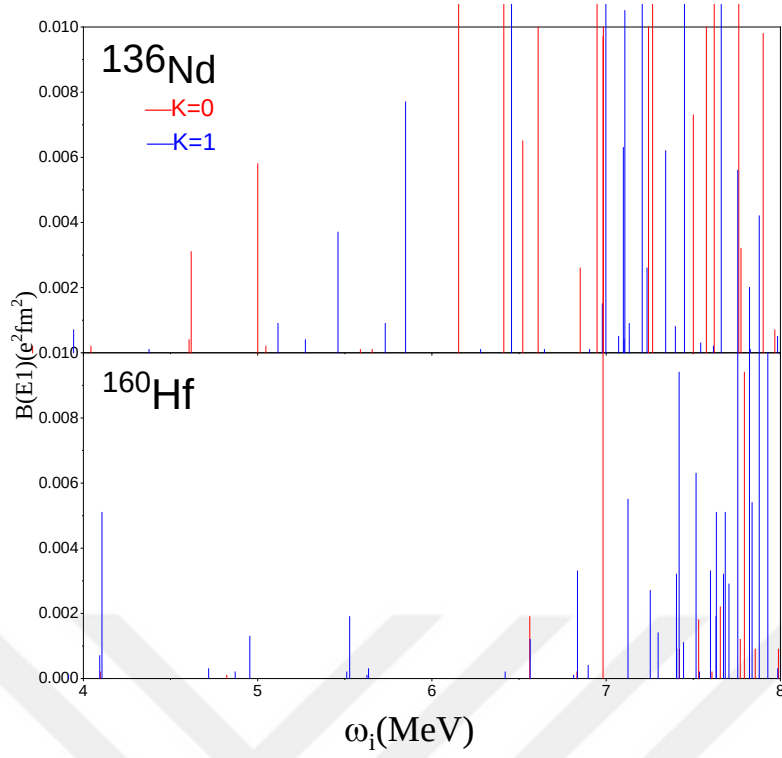
^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek çiftinin elektrik dipol uyarılma özelliklerinin incelenmesine elektrik dipol izovektör dev dipol rezonans özelliklerinin karşılaştırılması ile başlanmıştır. TGI-QRPA kullanılarak hesaplanan, toplam elektrik dipol fotoabsorbsiyon tesir kesiti aşağıda verilmiştir. Ardından parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek çiftine ait 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $B(E1)$ değerleri $K=0$ ve $K=1$ modları için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Her iki çekirdeğin TALYS kodunda yer alan Kopecky-Uhl Genelleştirilmiş Lorentzian (s1), Brink-Axel Lorentzian (s2), Hartree-Fock BCS (s3), Hartree-Fock-Bogolyubov (s4), Goriely'nin Hibrit Modeli (s5), Goriely T'ye bağlı HFB (s6), T'ye bağlı RMF (relatif ortalama alan) (s7), Gogny D1M HFB+QRPA (s8) yaklaşımları ile fotoabsorbsiyon tesir kesitleri birbirleriyle ve TGI-QRPA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çekirdeklerin 0-25 MeV elektrik dipol spektrumlarında bulunan seviye sayıları yine karşılaştıran niceliklerden biridir. Bu işlemlere ait tüm bulgular aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.81, Şekil 4.82, Şekil 4.83, Şekil 4.84, Şekil 4.85, Şekil 4.86 ve Şekil 4.87) sırasıyla verilmiştir.



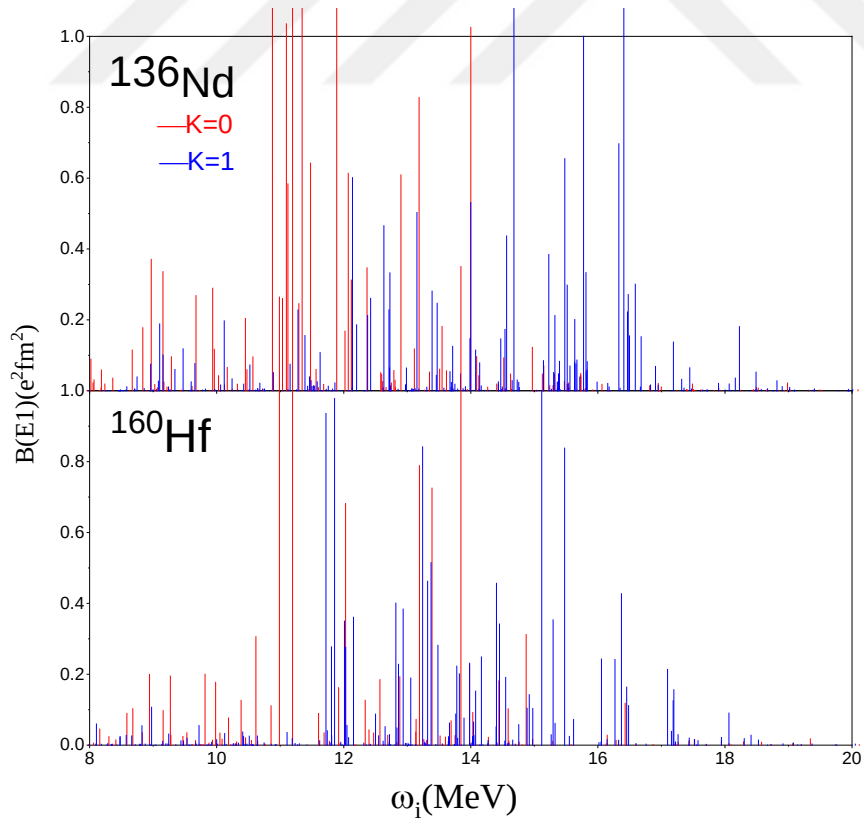
Şekil 4.81. ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının karşılaştırılması.



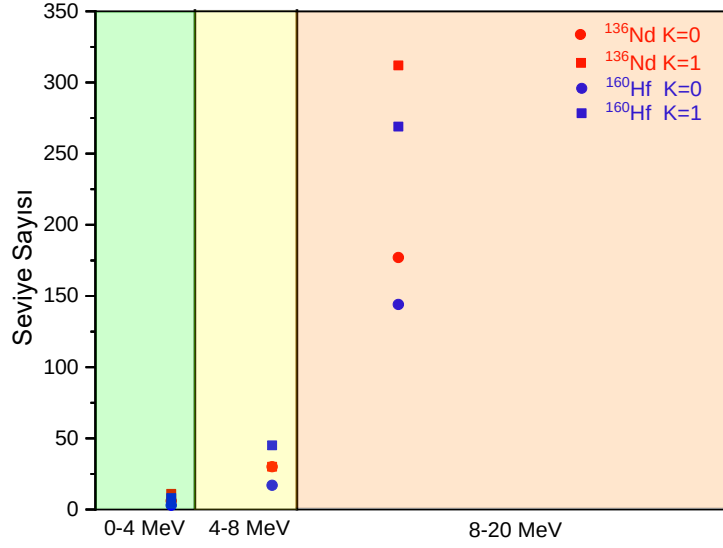
Şekil 4.82. ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



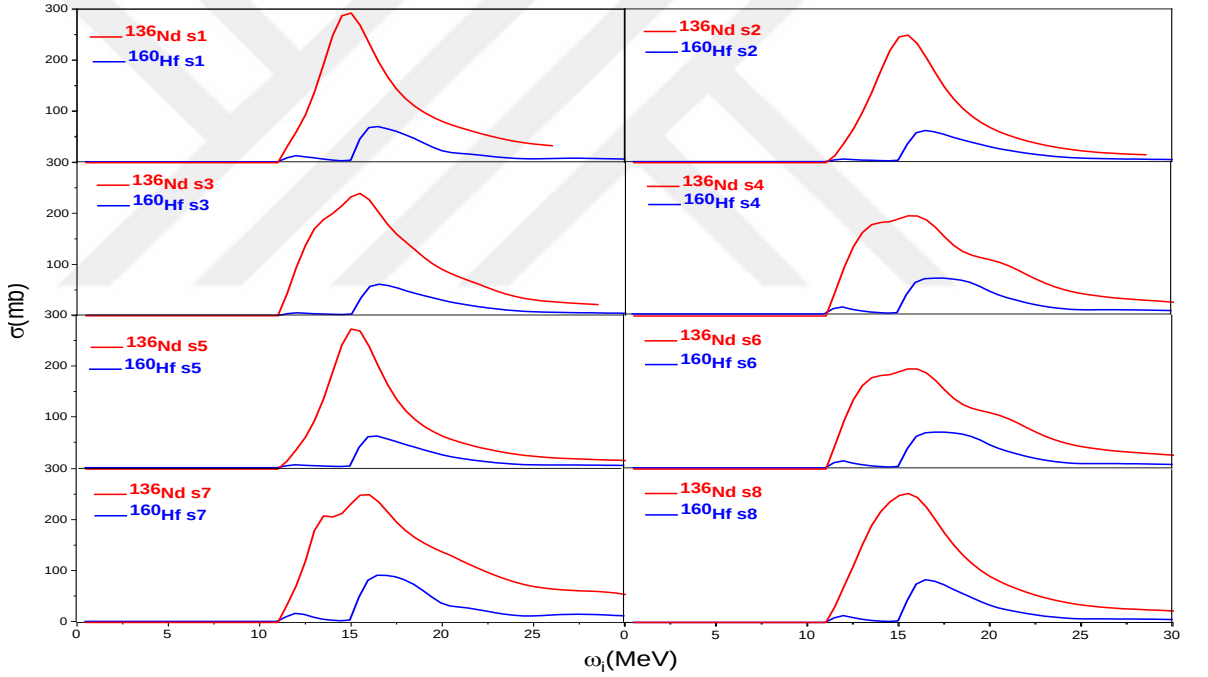
Şekil 4.83. ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdeklerinin 4-8 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.



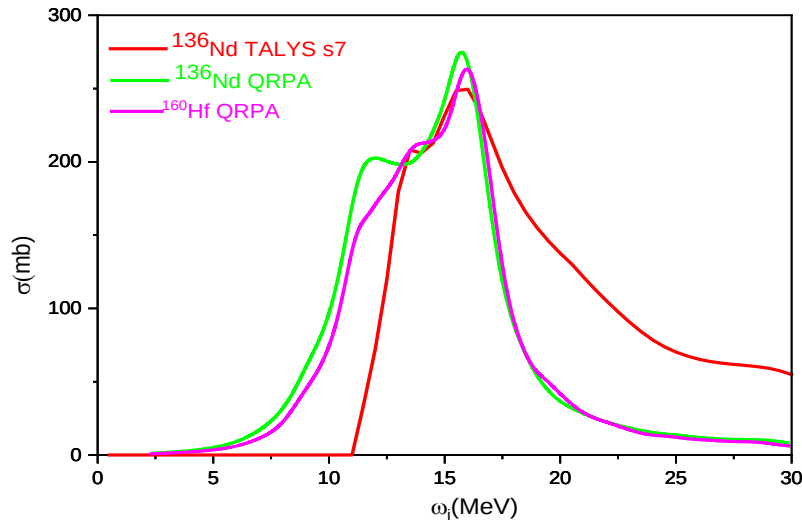
Şekil 4.84. ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdeklerinin 8-20 MeV enerji aralığındaki $B(E1)$ değeri dağılımlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.85. ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-20 MeV enerji aralığındaki seviye sayılarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.86. ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitlerinin $(\gamma, \text{totn}) = (\gamma, n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n)$ TALYS reaksiyon kodundaki farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.87. ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdeklerinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin TGI-QRPA ve TALYS (s7) kod kullanılarak hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Parçacık boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek çifti olan ^{136}Nd - ^{160}Hf un TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki toplam indirgenmiş geçiş olasılığı [$\Sigma B(E1)$], toplam enerji ağırlıklı indirgenmiş geçiş olasılığı [$\Sigma B(E1)\omega$] ve ortalama enerji [$\bar{\omega}$] oranları ile toplam radyasyon kalınlığı [$\Sigma \Gamma_0$] ve toplam indirgenmiş radyasyon kalınlığı [$\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$] oranları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.40, Tablo 4.41) sırasıyla verilmiştir.

Tablo 4.40. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma B(E1)_{^{136}\text{Nd}}}{\Sigma B(E1)_{^{160}\text{Hf}}}$		$\bar{\omega} \cdot \frac{\Sigma B(E1)_{^{136}\text{Nd}}}{\Sigma B(E1)_{^{160}\text{Hf}}}$		$\frac{\bar{\omega}_{^{136}\text{Nd}}}{\bar{\omega}_{^{160}\text{Hf}}}$	
	K=0	K=1	K=0	K=1	K=0	K=1
0-4	5,81	1,78	6,47	1,62	1,11	0,91
4-8	7,48	0,80	7,23	0,76	0,97	0,90
8-25	1,34	1	1,31	1	0,97	1,03

Tablo 4.41. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki $\Sigma \Gamma_0$ ve $\Sigma \Sigma \Gamma_{red}$ değerlerinin oranları.

E	$\frac{\Sigma \Gamma_{0^{136}Nd}}{\Sigma B \Gamma_{0^{160}Hf}}$		$\frac{\Sigma \Gamma_{red^{136}Nd}}{\Sigma B \Gamma_{red^{160}Hf}}$	
	MeV	K=0	K=1	K=0
0-4	7,5	1,32	5,81	1,78
4-8	6,81	0,67	7,48	0,80
8-25	1,23	1,11	1,34	1

Ardından ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=0 ve K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve bunların oranlarının hesaplandığı tablolar (Tablo 4.42, Tablo 4.43) verilmiştir.

Tablo 4.42. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{136}Nd		^{160}Hf		$^{136}\text{Nd}/^{160}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
3,3639	0,0691	3,6076	0,0485	0,93	1,42
4,0434	0,1993	4,0970	0,1864	0,99	1,06
4,3009	0,0474	4,8227	0,0618	0,89	0,77
5,0471	0,1686	6,8322	0,1642	0,74	1
6,0211	0,0055	7,0180	0,0033	0,86	1,66
6,1534	17,4438	6,9823	19,7281	0,88	0,88
7,2432	46,0757	8,1593	45,2296	0,88	1,01
7,2667	26,5350	8,3031	23,9966	0,88	1,10
7,4676	0,0029	7,0180	0,0033	1,06	0,88
7,6201	10,9199	7,7934	9,3559	0,98	1,16
7,7612	14,5284	8,4134	14,8424	0,92	0,98
7,9681	0,7012	8,6601	0,7276	0,92	0,96

Tablo 4.43. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{136}Nd - ^{160}Hf çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-8 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerleri ve oranları.

^{136}Nd		^{160}Hf		$^{136}\text{Nd}/^{160}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
3,1763	5,7997	4,1065	5,1297	0,77	1,13
3,7476	0,0692	3,9151	0,0554	0,96	1,24
3,7407	0,3560	4,7190	0,3035	0,79	1,17
4,3748	0,0180	4,6348	0,0156	0,94	1,15
5,4573	0,0149	4,6348	0,0156	1,17	0,96
5,4614	3,6591	6,8353	3,3297	0,80	1,09
6,2793	0,0892	5,6274	0,0760	1,11	1,17
6,6456	0,0680	6,8132	0,0579	0,98	1,17
6,6986	0,0381	6,5072	0,0413	1,02	0,92
6,9779	1,4968	7,2983	1,4348	0,96	1,04
7,0986	6,2526	7,5158	6,2687	0,94	1
7,5427	0,3383	7,9845	0,3042	0,94	1,11
7,2347	2,6471	7,9845	2,8826	0,90	0,92

^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-20 MeV enerji aralıkları için yukarıda verilen şekillerdeki ve tablolardaki verilere göre aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Yrast bant seviye şemaları karşılaştırıldığında bu çekirdek çiftinin ilk uyarılmış seviyelerinin dejenere yapısına sahip olduğu görülmüştür.
- ^{132}Nd - ^{164}Hf pseudo-ayna çekirdekleri için fotoabsorbsiyon tesir kesitleri TGI-QRPA ile 0-30 MeV enerji aralığında hesaplanmıştır. Grafikte her iki çekirdeğin deforme olmalarından dolayı fotoabsorbsiyon tesir kesiti

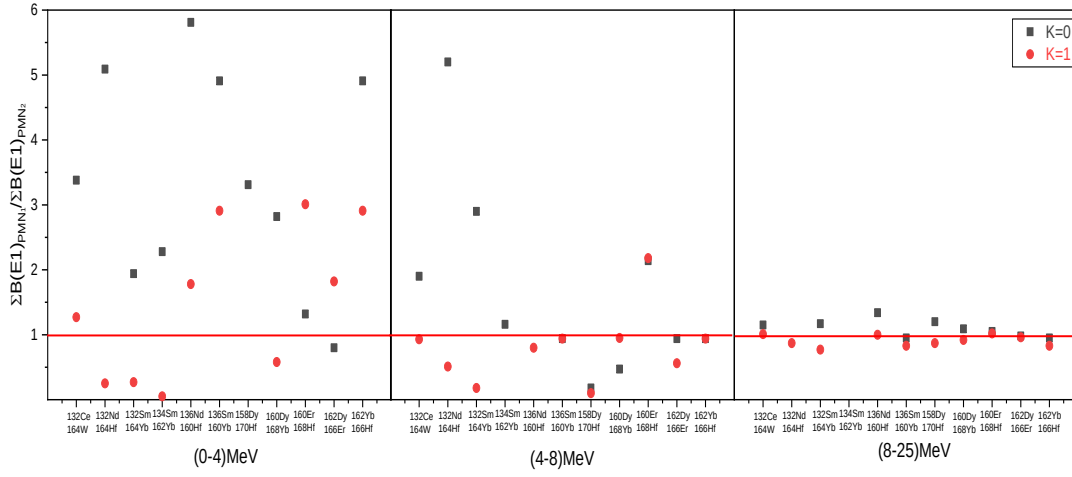
dağılımlarında asimetrik bir yapının olduğu görülmektedir. Pseudo-ayna ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti dağılımlarının birbirleriyle neredeyse tamamen örtüştüğü bulunmuştur.

- 0-4 MeV enerji aralığındaki $K=0$ modu uyarılmaları incelendiğinde ^{132}Nd un 9, ^{164}Hf 'in 5 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. $K=1$ modundaki seviyeler incelendiğinde ^{132}Nd 'un 9, ^{164}Hf 'in 8 seviyesi vardır. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmüştür.
- 4-8 MeV enerji aralığındaki $K=0$ modu uyarılmaları incelendiğinde ^{132}Nd un 27, ^{164}Hf 'in 21 seviyesinin olduğu belirlenmiştir. Bu seviyelerin enerjilerinin genel olarak birbirine yakın seviyeler olduğu görülmektedir. $K=1$ modundaki seviye sayıları ^{132}Nd 'un 43, ^{164}Hf 'in 49 seviyesi vardır. Bu enerji aralığında hem $K=0$ hem $K=1$ modundaki seviyelerin dejenere oldukları belirlenmiştir.
- 8-25 MeV bölgesindeki $K=0$ modunda ^{132}Nd un 191, ^{164}Hf 'in 176 seviyenin olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede de ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerin seviyelerin dejenere yapısı karşımıza çıkmaktadır.
- Seviye sayılarının 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında birbirlerine yakın olduğu 8-25 MeV enerji aralığında ise ^{132}Nd 'un ^{164}Hf çekirdeğinden hem $K=0$ hem de $K=1$ modunda daha fazla seviye sayısına sahip olduğu belirlenmiştir.
- TALYS kod kullanılarak sekiz farklı yaklaşımda fotoabsorbsiyon tesir kesitleri hesaplandığında ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin genel olarak tüm yaklaşımlarda benzer bir yapı gösterdikleri bulunmuştur.
- TGI-QRPA ve TALYS (s7) kodu kullanılarak hesaplanan fotoabsorbsiyon tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılmasında hem yaklaşımlar arasında hem de çekirdekler arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\Sigma B(E1)$, $\Sigma B(E1)\omega$, $\bar{\omega}$ değerleri oranlarından elde edilen sonuçlar bize bu iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini göstermiştir. 0-4 MeV enerji aralığında ise yalnızca ortalama enerjilerin oranları benzer çıkmıştır.

- ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $\sum \Gamma_0$, $\sum \Sigma \Gamma_{red}$ oranlarından elde edilen sonuçlar, toplam $B(E1)$ lerde görülüne benzer olarak, iki çekirdeğin 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarında tüm niceliklerde bire yakın, yani oldukça benzer, değerler verdiğini, 0-4 MeV enerji aralığında ise oranların birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir.
- ^{132}Nd - ^{164}Hf çekirdeklerinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol uyarılma spektrumunda, $K=0$ ve $K=1$ modlarındaki benzer bazı seviyelerin özelliklerinin verildiği tablodan, her iki çekirdeğin spektrumunda enerji oranlarının bire yakın olduğu pek çok seviye olduğu, bu seviyelerin $B(E1)$ değerlerinin de genellikle bire yakın oranlarının olduğu belirlenmiştir.

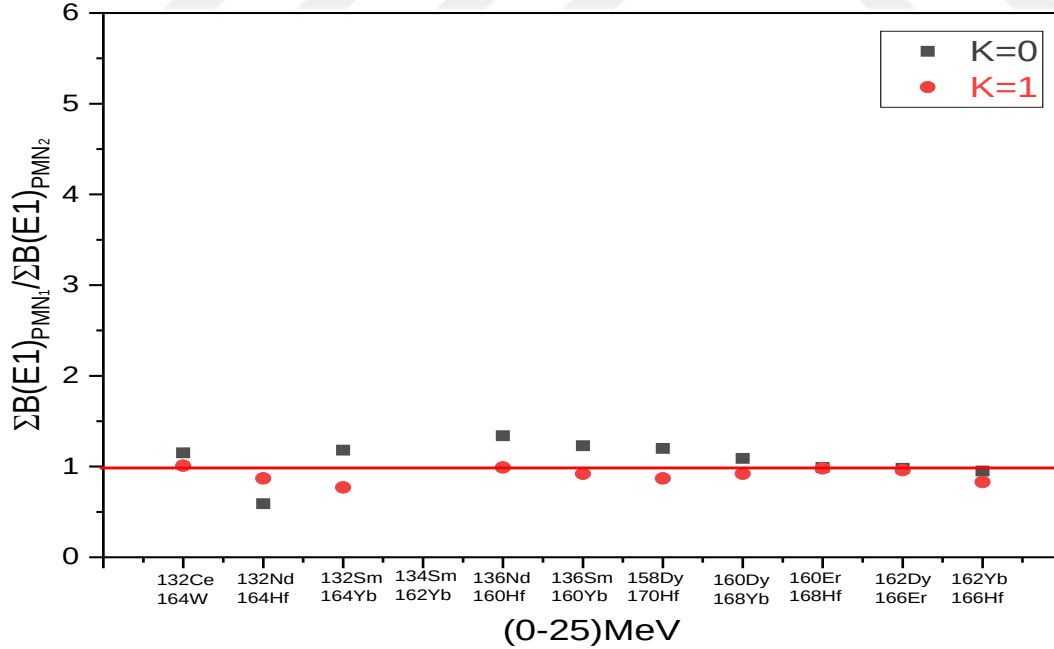
4.2. Parçacık-Boşluk Simetrisine Sahip Pseudo-Ayna Çekirdeklerin Özelliklerine Ait Sistematik Bulgular

Bu bölümde parçacık boşluk simetrisine sahip ^{132}Sm - ^{164}Yb , ^{134}Sm - ^{162}Yb , ^{136}Sm - ^{160}Yb , ^{132}Nd - ^{164}Hf , ^{132}Ce - ^{164}W , ^{136}Nd - ^{160}Hf , ^{162}Yb - ^{166}Hf , ^{168}Hf - ^{160}Er , ^{168}Yb - ^{160}Dy , ^{170}Hf - ^{158}Dy ve ^{166}Er - ^{162}Dy çekirdek ikililerine ait elde edilen bulgular genel bir bakış açısıyla ele alınmış, pseudo-ayna çekirdekler için sistematik özelliklerin varlığı araştırılmıştır. Öncelikle bu çekirdek çiftlerinin elektrik dipol spektrumlarının 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki ve tüm spektrumda (0-25 MeV) toplam indirgenmiş geçiş olasılıklarının oranları karşılaştırılmıştır (Şekil 4.88). Oranların bir ve bire yakın çıkması karşılaştırılan niceliğin pseudo-ayna çekirdek çiftinin aynı özelliği benzer şekilde gösterdiğini belirttiği için anlamlıdır. Bu tezde araştırılan tüm pseudo-ayna çekirdeklerinin sonuçlarının karşılaştırıldığı aşağıdaki şekillerin eksenlerinde verilen PMN1 ve PMN2 alt indisleri parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna-çekirdek (Pseudo Mirror Nuclei- PMN) çekirdek çiftinin sırasıyla birinci ve ikinci çekirdeğini ifade etmektedir. Örneğin ^{132}Sm - ^{164}Yb çifti için PMN1: ^{132}Sm çekirdeğini, PMN2: ^{164}Yb çekirdeğine karşılık gelmektedir.



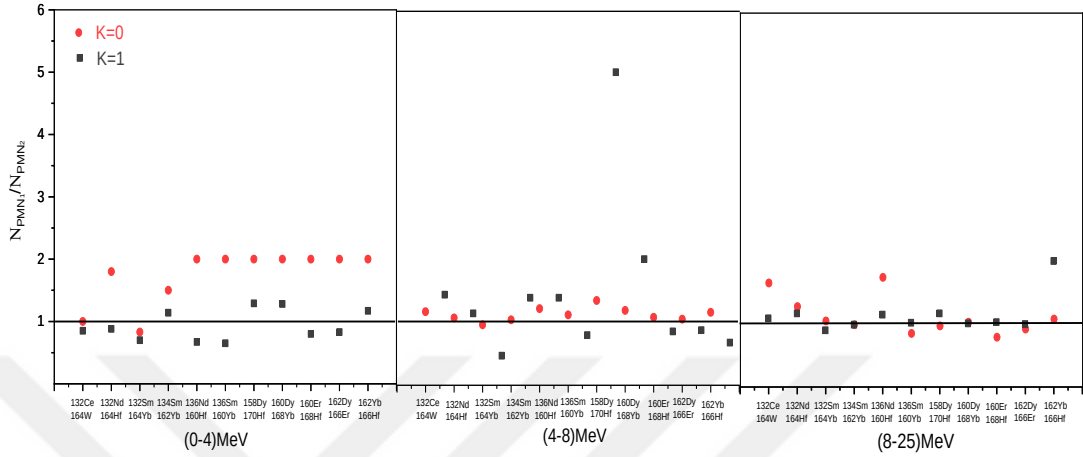
Şekil 4.88. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralığındaki toplam B(E1) oranlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Pseudo-ayna çekirdek çiftleri için toplam indirgenmiş geçiş olasılığı oranları grafiklerinden yüksek enerji bölgesindeki 8-25 MeV enerji aralığı ve tüm spektrum (0-25 MeV) için tüm çekirdek çiftlerinde bire yakın çıkmıştır (Şekil 4.89). 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında ise toplam B(E1) oranları bire yakın olan çiftler olsa da farklı orana sahip çiftler daha fazla sayıda bulunmaktadır.

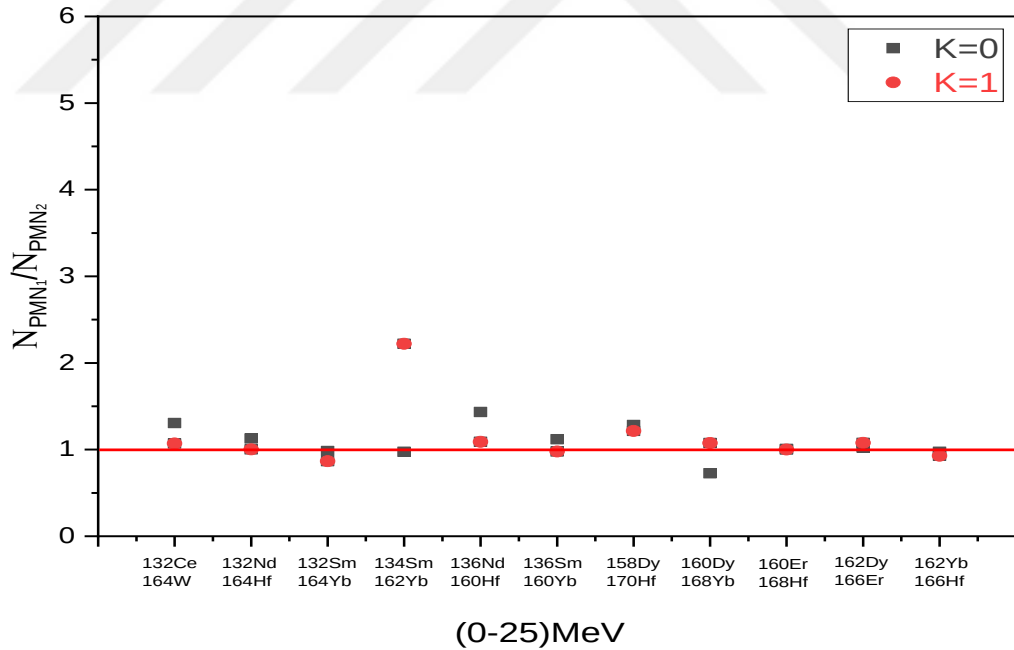


Şekil 4.89. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam B(E1) oranlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdek çiftlerinde karşılaştırılan bir diğer nicelik seviye sayılarıdır (N). Çekirdek çiftlerinin K=0 ve K=1 modları için seviye sayılarının oranları 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıkları ve tüm spektrum (0-25 MeV) için aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.90 ve Şekil 4.91) verilmiştir.



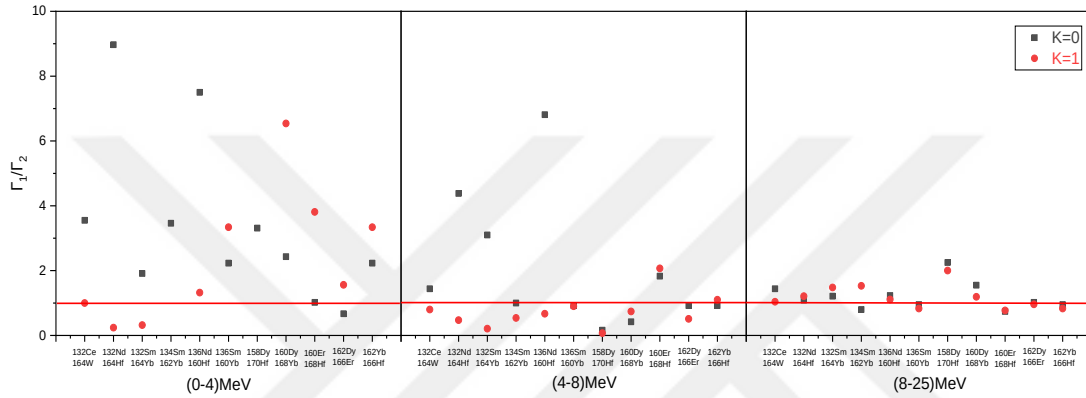
Şekil 4.90. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralığındaki seviye sayısı (N) oranlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



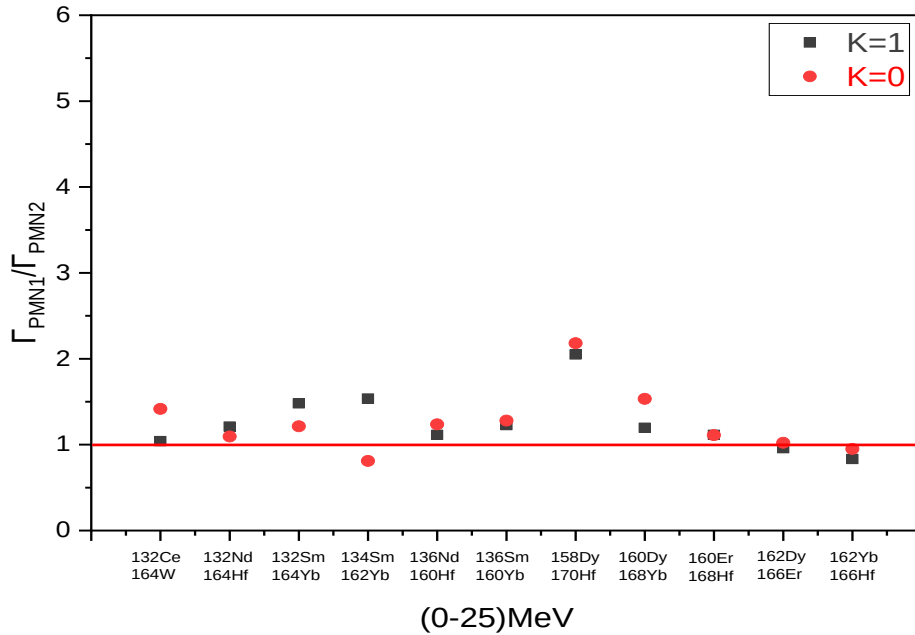
Şekil 4.91. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-25 MeV enerji aralığındaki seviye sayısı oranlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

Parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo-ayna çekirdek ikililerinin seviye sayılarının oranları her üç enerji aralığında ve tüm spektrumda hem K=0 hem de K=1 modları için

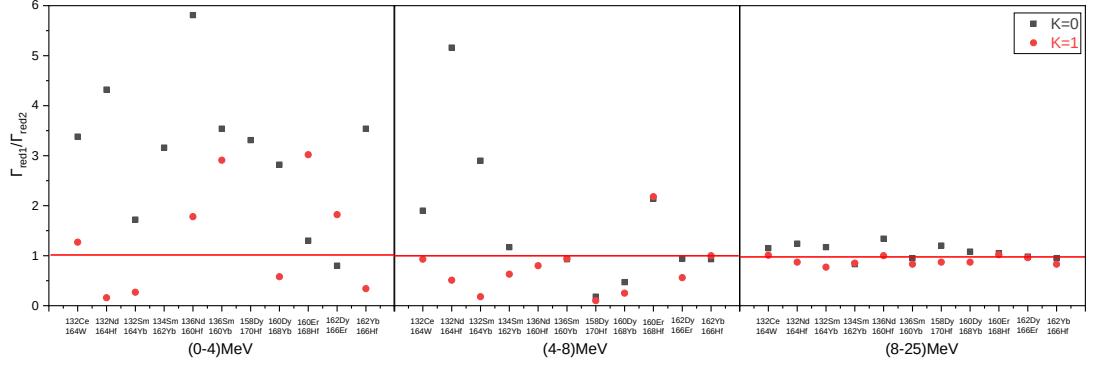
yaklaşık olarak bire yakın çıkmıştır. Ancak 0-4 MeV enerji aralığında üç çekirdek çifti dışındaki $^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$, $^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$, $^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$, $^{162}\text{Yb}-^{166}\text{Hf}$, $^{168}\text{Hf}-^{160}\text{Er}$, $^{168}\text{Yb}-^{160}\text{Dy}$, $^{170}\text{Hf}-^{158}\text{Dy}$ ve $^{166}\text{Er}-^{162}\text{Dy}$ çekirdek çiftlerinde $K=0$ modunda seviye sayıları oranları yaklaşık olarak iki çıkmıştır. Parçacık-boşluk simetrisine sahip çekirdek çiftlerinde sırasıyla radyasyon ve indirgenmiş radyasyon kalınlıkları karşılaştırılmıştır (Şekil 4.92). Çekirdek çiftlerinin $K=0$ ve $K=1$ modları için $\sum \Gamma_0$, $\sum \Gamma_{red}$ değeri oranları 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıkları ve tüm spektrum (0-25 MeV) için aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.93, Şekil 4.94 ve Şekil 4.95) sırasıyla verilmiştir.



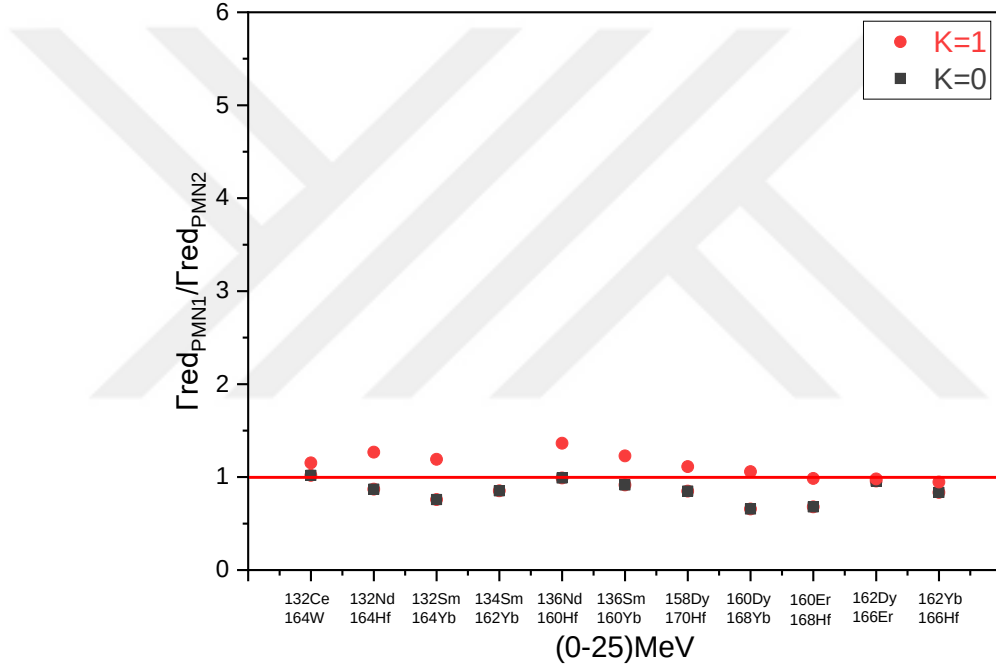
Şekil 4.92. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji toplam radyasyon kalınlığı ($\sum \Gamma_0$) oranlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.93. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam radyasyon kalınlığı ($\sum \Gamma_0$) oranlarının $K=0$ ve $K=1$ modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.94. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji toplam radyasyon kalınlığı ($\sum \Gamma_{red}$) oranlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.



Şekil 4.95. Parçacık boşluk simetrisine sahip tüm çekirdek çiftlerinin 0-25 MeV enerji aralığındaki toplam radyasyon kalınlığı ($\sum \Gamma_{red}$) oranlarının K=0 ve K=1 modları için karşılaştırılması.

PMN'ler için toplam $\sum \Gamma_0$, $\sum \Gamma_{red}$ değerleri oranları grafiklerinden yüksek enerji bölgesindeki 8-25 MeV enerji aralığı ve tüm spektrum (0-25 MeV) için tüm çekirdek çiftlerinde bire yakın çıkmıştır (Şekil 4.95). 0-4 MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarında ise toplam B(E1) oranları bire yakın olan çiftler olsa da farklı orana sahip çiftler bulunmaktadır.



5. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında izotop eğrisinin $130 \leq A \leq 170$ kütle bölgesinde yer alan ^{132}Sm - ^{164}Yb , ^{134}Sm - ^{162}Yb , ^{136}Sm - ^{160}Yb , ^{132}Nd - ^{164}Hf , ^{132}Ce - ^{164}W , ^{136}Nd - ^{160}Hf , ^{166}Hf - ^{162}Yb , ^{168}Hf - ^{160}Er , ^{170}Yb - ^{160}Dy , ^{170}Hf - ^{158}Dy ve ^{166}Er - ^{162}Dy parçacık-boşluk simetrisine sahip pseudo ayna çekirdeklerine ait $B(E1)$ değerleri arasındaki ilişki, $I^\pi K = 1^- 1$ geçişleri için indirgenmiş geçiş olasılıkları ($B(E1)$) ve enerji (ω_i) değerleri, ortalama potansiyelin kırılan simetrisinin restore edildiği Öteleme ve Galileo Değişmez Kuaziparçacık Rastgele Faz Yaklaşımı (TGI-QRPA) model ile teorik olarak hesaplanmıştır. İncelenen deforme çekirdekler için GDR bölgesinde $\Delta K=1$ dalının baskın olduğu görülmüştür. Deforme çekirdekler için hesaplanan toplam fotoabsorbsiyon tesir kesitinin (σ_{abs}) $K=0$ ve $K=1$ dallarından gelen, sırasıyla 10-12 MeV ile 14-16 MeV enerji aralıklarında bulunan pik değerlerinin spektrumda oluşturduğu asimetric yapı deneysel ve diğer teorik çalışmaların verileriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Ayrıca elektrik dipol geçişlerinin bazı karakteristik özelliklerinden, asimptotik kuantum numaraları $[Nn_z\Lambda\Sigma]$, radyasyon kalınlıkları $\Gamma(E1)$, indirgenmiş radyasyon kalınlıkları $\Gamma_{red}(E1)$ araştırılmıştır. Bununla birlikte deneysel veriler ile oldukça uyumlu sonuçlar elde edilen TALYS reaksiyon kodu kullanılarak elde edilen veriler ile TGI-QRPA hesaplamalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İki farklı fermiyondan oluşan, karmaşık, çok cisimli bir yapı olan atomik çekirdeğin yapısı ve özelliklerinin teorik açıklaması araştırmacılar için dikkat çekiciliğini korumaktadır. Çekirdeğin yapısının anlaşılmasındaki zorlukların aşılmasında çeşitli simetrilerin araştırılması kolaylık sağlamaktadır. Bu simetrilere biri izospin simetrisidir (Heisenberg, 1932). İzospin simetrilerinin nükleer yapı fiziğinde karşımıza çıkardığı üç fenomen vardır; ayna çekirdekler, valans ayna çekirdekler ve pseudo-ayna çekirdekler. Bu üç yapıdan anlaşılacağı üzere nükleer kuvvet nötron ve protonlar ve bu parçacıklara ait boşluklar için herhangi bir ayırım yapmamaktadır. Tez kapsamında ele alınan psuedo-ayna çekirdekler 1980'li yıllardan günümüze farklı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Artan deneysel veri ile pseudo-ayna çekirdeklere dair sistematik bilgi de artmıştır. İlk çalışmalar sadece yrast band'a ait

aynı spin-kuantum sayılı seviyelerin enerjilerine odaklanmışken daha sonraki çalışmalar bu seviyelere ait indirgenmiş geçiş olasılıkları değerlerini ele almış ve bu geçişler arasında bir sistematik bulmuştur. Yrast band'taki seviyelerin kuadrupol etkileşmelerden meydana geldiği düşünülürse akla simetrilerin dipol-dipol etkileşmelerde nasıl davrandığı sorusunu getirmiş ve bu kapsamda bu tezin konusu ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda $^{132}\text{Sm}-^{164}\text{Yb}$, $^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$, $^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$, $^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$, $^{132}\text{Ce}-^{164}\text{W}$, $^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$, $^{166}\text{Hf}-^{162}\text{Yb}$, $^{168}\text{Hf}-^{160}\text{Er}$, $^{170}\text{Yb}-^{160}\text{Dy}$, $^{170}\text{Hf}-^{158}\text{Dy}$ ve $^{166}\text{Er}-^{162}\text{Dy}$ pseudo-ayna çekirdekleri üzerinden bu problem araştırılmıştır.

Bulgular kısmında $^{132}\text{Sm}-^{164}\text{Yb}$, $^{134}\text{Sm}-^{162}\text{Yb}$, $^{136}\text{Sm}-^{160}\text{Yb}$, $^{132}\text{Nd}-^{164}\text{Hf}$, $^{132}\text{Ce}-^{164}\text{W}$, $^{136}\text{Nd}-^{160}\text{Hf}$, $^{166}\text{Hf}-^{162}\text{Yb}$, $^{168}\text{Hf}-^{160}\text{Er}$, $^{170}\text{Yb}-^{160}\text{Dy}$, $^{170}\text{Hf}-^{158}\text{Dy}$ ve $^{166}\text{Er}-^{162}\text{Dy}$ pseudo-ayna çekirdekler için 0-4 MeV, 4-8 MeV ve 8-25 MeV enerji aralıklarındaki $B(E1)$, enerji ağırlıklı $B(E1)$, ortalama enerji, radyasyon kalınlığı, indirgenmiş radyasyon kalınlığı, foto-absorpsiyon tesir kesiti değerleri verilmiştir.

Bulgulardan görüldüğü üzere kütlesi yakın pseudo-ayna çekirdeklerde düşük enerji bölgesinde kuadrupol etkileşmelerden kaynaklı dejenere yapıların yüksek enerji seviyelerinde dipol etkileşmelerden kaynaklı seviyelerde devam ettiği görülmüştür. QRPA ve TALYS kullanılarak hesaplanan foto-absorpsiyon tesir kesitlerinde bu örtüşme görülmektedir ve ayrıca pseudo-ayna çekirdeklerin karşılıklı toplam $B(E1)$ değerleri oranının tıpkı düşük enerji bölgesinde $B(E2)$ değerleri oranlarında olduğu gibi 1 etrafında kümелendiği görülmektedir. Kütle numaraları arasındaki farkın arttığı psuedo-ayna çekirdeklerde ise QRPA ve TALYS kullanılarak hesaplanan foto-absorpsiyon tesir kesitlerinde farklılıklar olduğu görülmektedir. Ayrıca bu pseudo-ayna çekirdeklerde karşılıklı toplam $B(E1)$ değerleri oranları da farklılık göstermektedir. Özellikle 0-4MeV ve 4-8 MeV enerji aralıklarındaki mono nükleon-nükleon etkileşmesi olan enerji aralıklarında farklılığın fazla, 8-25 MeV gibi kolektif hareketin bulunduğu multi nükleon-nükleon etkileşmesinin olduğu enerji bölgesinde teorik olarak tüm PMN çiftlerinde benzerliğin arttığı bulunmuştur. Farklı enerji bölgelerindeki bu farklılık ve benzerlik durumlarının mikroskobik modeller kullanılarak araştırılması gelecekte yapılacak çalışmalara temel teşkil edeceği tarafımızca düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adrich, P., Klimkiewicz, A., Fallot, M., Boretzky, K., Aumann, T., Cortina-Gil, D., Waluś, W. (2005b). Evidence for Pygmy and Giant Dipole Resonances in Sn 130 and Sn 132. *Physical Review Letters*, 95(13), 132501. <https://doi.org/10.1140/epja/i2005-10173-4>
- Arenhövel, H., Maison, J. M. (1970). Study of the giant resonance by photon scattering in medium spherical nuclei. *Nuclear Physics A*, 147(2), 305–325. [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(70\)90270-8](https://doi.org/10.1016/0375-9474(70)90270-8)
- Arima, A., Iachello, F. (1979). Interacting boson model of collective nuclear states IV. The O(6) limit. *Annals of Physics*, 123(2), 468–492. [https://doi.org/10.1016/0003-4916\(79\)90347-6](https://doi.org/10.1016/0003-4916(79)90347-6)
- Arya, P. (1999). *Çekirdek fiziğinin esasları*, Aktif Yayınevi.
- Audi, G., Wang, M., Wapstra, A. H., Kondev, F. G., MacCormick, M., Xu, X., Pfeiffer, B. (2012). The Ame2012 atomic mass evaluation. *Chinese Physics C*, 36(12), 1287–1602. <https://doi.org/10.1088/1674-1137/36/12/002>
- Aumann, T. (2005). Reactions with fast radioactive beams of neutron-rich nuclei. *The European Physical Journal A*, 26(3), 441–478. <https://doi.org/10.1140/epja/i2005-10173-4>
- Bartholomew, G. A., Earle, E. D., Ferguson, A. J., Knowles, J. W., Lone, M. A. (1973). Advances in Nuclear Physics. M. Harvey and FC Khanna, unpublished notes, available from the authors upon.
- Bauwens, F., Bryssinck, J., De Frenne, D., Govaert, K., Govor, L., Hagemann, M., Ponomarev, V. Y. (2000). Dipole transitions to bound states in 56Fe and 58Ni. *Physical Review C*, 62(2), 024302. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.62.024302>
- Berman, B. L., Fultz, S. C. (1975). Measurements of the giant dipole resonance with monoenergetic photons. *Reviews of Modern Physics*, 47(3), 713–761. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.47.713>
- Berman, B. L., Kelly, M. A., Bramblett, R. L., Caldwell, J. T., Davis, H. S., Fultz, S. C. (1969). Giant Resonance in Deformed Nuclei: Photoneutron Cross Sections for Eu153, Gd160, Ho165, and W186. *Physical Review*, 185(4), 1576–1590. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.185.1576>
- Bhattacharya, M., Gangopadhyay, G. (2009). Correction to Relativistic Mean Field binding energy and NpNn scheme. *Physics Letters B*, 672(2), 182–185. <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2009.01.021>
- Bhattacharya, M., Roy, S., Gangopadhyay, G. (2008). Spectroscopic factors for alpha decay in the NpNn scheme. *Physics Letters B*, 665(4), 182–185. <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2008.06.023>

- Bohr, A., Mottelson, R. B. (1998). *Nuclear Structure, 1. cilt.* World Scientific.
- Bracco, A., Lanza, E. G., Tamii, A. (2019). Isoscalar and isovector dipole excitations: Nuclear properties from low-lying states and from the isovector giant dipole resonance. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 106, 360–433. <https://doi.org/10.1016/j.ppnp.2019.02.001>
- Brits, C. P., Malatji, K. L., Wiedeking, M., Kheswa, B. V., Goriely, S., Garrote, F. L. B., Zeiser, F. (2019). Nuclear level densities and γ -ray strength functions of ^{180} , ^{181} , ^{182}Ta . *Physical Review C*, 99(5), 054330. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.99.054330>
- Bromberg, J. (1971). The Impact of the Neutron: Bohr and Heisenberg. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 3, 307–341. <https://doi.org/10.2307/27757321>
- Brown, B. A. (2001). The nuclear shell model towards the drip lines. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 47(2), 517–599. [https://doi.org/10.1016/S0146-6410\(01\)00159-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6410(01)00159-4)
- Brzosko, J. S., Gierlik, E., Soltan Jr., A., Wilhelmi, Z. (1969). Effect of the pigmy resonance on the calculations of the neutron capture cross section. *Canadian Journal of Physics*, 47(24), 2849–2857. <https://doi.org/10.1139/p69-348>
- Cakmak, N., Cakmak, S., Selam, C., Unlu, S. (2018). Dipole and spin-dipole strength distributions in $^{124,126,128,130}\text{Te}$ isotopes. *Pramana*, 90(2), 15. <https://doi.org/10.1007/s12043-017-1503-z>
- Casten, R. F. (1985). NpNn systematics in heavy nuclei. *Nuclear Physics A*, 443(1), 1–28. [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(85\)90318-5](https://doi.org/10.1016/0375-9474(85)90318-5)
- Casten, R. F. (1986). Nuclei far off stability in the NpNn scheme. *Physical Review C*, 33(5), 1819–1822. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.33.1819>
- Casten, R. F., Yan, J., Wirowski, R., Gelberg, A., von Brentano, P., Brenner, D. S. (1990). Simplified shell model calculations for valence mirror nuclei. *Nuclear Physics A*, 514(2), 252–272. [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(90\)90069-X](https://doi.org/10.1016/0375-9474(90)90069-X)
- Caurier, E., Martínez-Pinedo, G., Nowacki, F., Poves, A., Zuker, A. P. (2005). The shell model as a unified view of nuclear structure. *Reviews of Modern Physics*, 77(2), 427–488. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.77.427>
- Colò, G., Bortignon, P. F. (2001). QRPA plus phonon coupling model and the photoabsorption cross section for $^{18,20,22}\text{O}$. *Nuclear Physics A*, 696(3–4), 427–441. [https://doi.org/10.1016/S0375-9474\(01\)01217-9](https://doi.org/10.1016/S0375-9474(01)01217-9)
- Cuong, P. V., Thiep, T. D., Anh, L. T., An, T. T., Hue, B. M., Thanh, K. T., Anh, T. T. (2020). Theoretical calculation by Talys code in combination with Geant4 simulation for consideration of reactions of Eu isotopes in the giant dipole resonance region. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 479, 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2020.06.011>
- De-Shalit, A., Goldhaber, M. (1953). Mixed Configurations in Nuclei. *Physical Review*, 92(5), 1211–1218. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.92.1211>

- Degener, A., Bläsing, C., Heil, R. D., Jung, A., Kneissl, U., Pitz, H. H., Wesselborg, C. (1990). Dipole excitations in ^{48}Ti studied by nuclear resonance fluorescence. *Nuclear Physics A*, 513(1), 29–42. [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(90\)90340-R](https://doi.org/10.1016/0375-9474(90)90340-R)
- Derya, V., Endres, J., Elvers, M., Harakeh, M. N., Pietralla, N., Romig, C., Zilges, A. (2013). Study of the pygmy dipole resonance in ^{94}Mo using the coincidence technique. *Nuclear Physics A*, 906, 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2013.02.018>
- Donaldson, L. M., Carter, J., von Neumann-Cosel, P., Nesterenko, V. O., Neveling, R., Reinhard, P.-G., Tamii, A. (2020). Fine structure of the isovector giant dipole resonance in $^{142-150}\text{Nd}$ and ^{152}Sm . *Physical Review C*, 102(6), 064327. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.102.064327>
- Endres, J., Litvinova, E., Savran, D., Butler, P. A., Harakeh, M. N., Harissopulos, S., Zilges, A. (2010). Isospin Character of the Pygmy Dipole Resonance in ^{124}Sn . *Physical Review Letters*, 105(21), 212503. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.105.212503>
- Endres, J., Savran, D., Butler, P. A., Harakeh, M. N., Harissopulos, S., Herzberg, R.-D., Zilges, A. (2012). Structure of the pygmy dipole resonance in ^{124}Sn . *Physical Review C*, 85(6), 064331. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.85.064331>
- Erhard, M., Junghans, A. R., Nair, C., Schwengner, R., Beyer, R., Klug, J., Grosse, E. (2010). Experimental study of the electric dipole strength in the even Mo nuclei and its deformation dependence. *Physical Review C*, 81(3), 034319. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.81.034319>
- Eriksen, T. K., Nyhus, H. T., Guttormsen, M., Gørgen, A., Larsen, A. C., Renstrøm, T., Wilson, J. N. (2014). Pygmy resonance and low-energy enhancement in the γ -ray strength functions of Pd isotopes. *Physical Review C*, 90(4), 044311. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.90.044311>
- Ertuğral, F. (2007). *Deforme Çekirdeklerde Kuadropol Momentlerinin Ve Dipol Titreşimlerinin Araştırılması* [Doktora tezi] Sakarya Üniversitesi
- Ertuğral, F., Guliyev, E., Kuliev, A. A. (2015). Quadrupole Moments and Deformation Parameters of the $^{166-180}\text{Hf}$, $^{180-186}\text{W}$ and $^{152-168}\text{Sm}$ Isotopes. *Acta Physica Polonica A*, 128(2B), B-254-B-257. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.128.B-254>
- Federman, P., Pittel, S. (1977). Towards a unified microscopic description of nuclear deformation. *Physics Letters B*, 69(4), 385–388. [https://doi.org/10.1016/0370-2693\(77\)90825-5](https://doi.org/10.1016/0370-2693(77)90825-5)
- Giai, N. Van. (1983). Self-Consistent Description of Nuclear Excitations. *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 74, 330–341. <https://doi.org/10.1143/PTPS.74.330>
- Gibelin, J., Beaumel, D., Motobayashi, T., Blumenfeld, Y., Aoi, N., Baba, H., Yoshida, K. (2009). Decay Pattern Of Pygmy States Observed In Neutron-Rich ^{26}Ne . *International Journal of Modern Physics E*, 18(10), 2050–2055. <https://doi.org/10.1142/S0218301309014275>

- Goddard, P. M., Cooper, N., Werner, V., Rusev, G., Stevenson, P. D., Rios, A., Yates, S. W. (2013). Dipole response of ^{76}Se above 4 MeV. *Physical Review C*, 88(6), 064308. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.88.064308>
- Govaert, K., Bauwens, F., Bryssinck, J., De Frenne, D., Jacobs, E., Mondelaers, W., Ponomarev, V. Y. (1998). Dipole excitations to bound states in ^{116}Sn and ^{124}Sn . *Physical Review C*, 57(5), 2229–2249. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.57.2229>
- Greiner, W., Joachim, A. (1996). *Nuclear Models*. Springer Berlin, Heidelberg.
- Guliyev, E., Kuliev, A. A., Ertugral, F. (2013). Systematic investigation of the low-energy dipole excitations in $^{176,178,180}\text{Hf}$ within rotational, translational and Galilean invariant quasiparticle RPA. *Nuclear Physics A*, 915, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2013.07.001>
- Guliyev, E., Quliyev, H., Kuliev, A. A. (2020). Pygmy dipole resonance in the well-deformed even–even $^{152-162}\text{Gd}$. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 47(11), 115107. <https://doi.org/10.1088/1361-6471/abaca0>
- Guliyev, Ekber, Kuliev, A. A., Quliyev, H. (2017). Pygmy dipole response in ^{238}U nucleus (s. 060010). *AIP Conf. Proc.*, <https://doi.org/10.1063/1.4976406>
- Guliyev, Ekber, Kuliev, A., Guner, M. (2010). Electric dipole strength distribution below the E1 giant resonance in $N = 82$ nuclei. *Central European Journal of Physics*, 8(6), 961–969. <https://doi.org/10.2478/s11534-010-0021-0>
- Guttormsen, M., Bagheri, A., Chankova, R., Rekstad, J., Siem, S., Schiller, A., Voinov, A. (2003). Thermal properties and radiative strengths in $^{160, 161, 162}\text{Dy}$. *Physical Review C*, 68(6), 064306. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.68.064306>
- Halliday, D., Present, R. D. (1956). Introductory Nuclear Physics. *American Journal of Physics*, 24(3), 183–184. <https://doi.org/10.1119/1.1934189>
- Hartmann, T., Enders, J., Mohr, P., Vogt, K., Volz, S., Zilges, A. (2000). Measurement of the dipole and electric quadrupole strength distributions up to 10 MeV in the doubly magic nuclei ^{40}Ca and ^{48}Ca . *Physical Review Letters*, 85(2), 274–277. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.85.274>
- Heisenberg, W. (1932). Über den Bau der Atomkerne. I. *Zeitschrift für Physik*, 77(1–2), 1–11. <http://link.springer.com/10.1007/BF01342433>
- Iachello, F. (2001). Analytic Description of Critical Point Nuclei in a Spherical-Axially Deformed Shape Phase Transition. *Physical Review Letters*, 87(5), 052502. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.87.052502>
- Isaak, J., Savran, D., Fritzsche, M., Galaviz, D., Hartmann, T., Kamerdzhiev, S., Zilges, A. (2011). Investigation of low-lying electric dipole strength in the semimagic nucleus ^{44}Ca . *Physical Review C*, 83(3), 034304. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.83.034304>
- Jung, A., Lindenstruth, S., Schacht, H., Starck, B., Stock, R., Wesselborg, C., Steiper, F. (1995). Electric and magnetic dipole excitations to bound states in $^{70,72,74,76}\text{Ge}$. *Nuclear Physics A*, 584(1), 103–132. [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(94\)00626-X](https://doi.org/10.1016/0375-9474(94)00626-X)

- Kapitonov, I. M. (2015). Width of the giant dipole resonance in medium and heavy nuclei. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 79(4), 526–531. <https://doi.org/10.3103/S1062873815040188>
- Khazov, Y., Rodionov, A. A., Sakharov, S., Singh, B. (2005). Nuclear Data Sheets. *Nuclear Data Sheets*, 104(3), 497–790. <https://doi.org/10.1016/j.nds.2005.03.001>
- Klimkiewicz, A., Adrich, P., Boretzky, K., Fallot, M., Aumann, T., Cortina-Gil, D., Walus, W. (2007). Dipole response of neutron-rich Sn isotopes. *Nuclear Physics A*, 788(1–4), 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2007.01.075>.
- Klimkiewicz, A., Paar, N., Adrich, P., Fallot, M., Boretzky, K., Aumann, T., Waluś, W. (2007). Nuclear symmetry energy and neutron skins derived from pygmy dipole resonances. *Physical Review C*, 76(5), 051603. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.76.051603>
- Kneissl, U., Margraf, J., Pitz, H. H., Von Brentano, P., Herzberg, R.-D., Zilges, A. (1995). Photoexcitation of magnetic and electric dipole transitions in heavy nuclei. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 34, 285–294. [https://doi.org/10.1016/0146-6410\(95\)00023-C](https://doi.org/10.1016/0146-6410(95)00023-C)
- Kneissl, U., Pitz, H. H., Zilges, A. (1996). Investigation of nuclear structure by resonance fluorescence scattering. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 37, 349–433. [https://doi.org/10.1016/0146-6410\(96\)00055-5](https://doi.org/10.1016/0146-6410(96)00055-5)
- Kneissl, Ulrich, Pietralla, N., Zilges, A. (2006). Low-lying dipole modes in vibrational nuclei studied by photon scattering. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 32(8), R217–R252. <https://doi.org/10.1088/0954-3899/32/8/R01>
- Koning, A. J., Hilaire, S., Goriely, S. (2011). *TALYS user manual*. A nuclear reaction program, User manual, NRG-1755 ZG PETTEN, The Netherlands.
- Krane, K. S., Särer, B. (2001). *Nükleer fizik*. Palme Yayıncılık. <https://books.google.com.tr/books?id=c5uPJgAACAAJ>
- Kuliev, A. A., Guliyev, E., Ertugral, F., Özkan, S. (2010). The low-energy dipole structure of ^{232}Th , ^{236}U and ^{238}U actinide nuclei. *The European Physical Journal A*, 43(3), 313–321. <https://doi.org/10.1140/epja/i2010-10933-y>
- Kumar, P., Aydin, S. (2021). Pseudo-mirror nuclei in $A \sim 80$ mass region. *Nuclear Physics A*, 1014, 122279. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2021.122279>
- Kumar, P., Gautam, R., Aydin, S., Özfıdan, A. (2022). Four pseudo-mirror nuclei in the left-lower part of the nuclear chart. *Nuclear Physics A*, 1025, 122479. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2022.122479>
- Lamarsh, J. R., Baratta, A. J. (2001). *Introduction to Nuclear Engineering*, 3rd. Ed.
- Larsen, A. C., Guttormsen, M., Krtićka, M., Běták, E., Bürger, A., Görgen, A., Wikan, K. (2011). Analysis of possible systematic errors in the Oslo method. *Physical Review C*, 83(3), 034315. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.83.034315>
- Lenzi, S. M., Bentley, M. A. (2009). Test of Isospin Symmetry isospin symmetry Along the $N=Z$ Line. İçinde J. S. Al-Khalili & E. Roeckl (Ed.), *The Euroschool Lectures on Physics with Exotic Beams, Vol. III* (ss. 57–98). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85839-3_3

- Litvinova, E., Ring, P., Tselyaev, V. v2008). Relativistic quasiparticle time blocking approximation: Dipole response of open-shell nuclei. *Physical Review C*, 78(1), 014312. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.78.014312>
- Malov, L. A., Meliev, F. M., Soloviev, V. G. v1985). Description of radiative strength functions in deformed nuclei. *Zeitschrift für Physik A Atoms and Nuclei*, 320(3), 521–527. <https://doi.org/10.1007/BF01415730>
- Maruhn, J. A., Reinhard, P. G., Stevenson, P. D., Stone, J. R., Strayer, M. R. (2005). Dipole giant resonances in deformed heavy nuclei. *Physical Review C*, 71(6), 064328. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.71.064328>
- Massarczyk, R., Schwengner, R., Döna, F., Frauendorf, S., Anders, M., Bemmerer, D., Wagner, A. (2014). Nuclear Deformation and Neutron Excess as Competing Effects for Dipole Strength in the Pygmy Region. *Physical Review Letters*, 112(7), 072501. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.112.072501>
- Massarczyk, R., Schwengner, R., Döna, F., Litvinova, E., Rusev, G., Beyer, R., Yakorev, D. (2012). Electromagnetic dipole strength of ^{136}Ba below the neutron separation energy. *Physical Review C*, 86(1), 014319. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.86.014319>
- Metzger, F. R. (1978a). Nuclear resonance fluorescence in ^{136}Ba . *Phys. Rev. C*, 18(5), 2138–2144. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.18.2138>
- Metzger, F. R. (1978b). Nuclear resonance fluorescence in ^{142}Nd . *Phys. Rev. C*, 18(4), 1603–1608. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.18.1603>
- Moller, P., Nix, J. R., Myers, W. D., Swiatecki, W. J. (1995). Nuclear Ground-State Masses and Deformations. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 59(2), 185–381. <https://doi.org/10.1006/adnd.1995.1002>
- Moscrop, R., Chishti, A. A., Gelletly, W., Lister, C. J., Varley, B. J. (1988). Pseudo-mirror nuclei with $A=100$ and $A=130$. *Journal of Physics G: Nuclear Physics*, 14(9), L189–L193. <https://doi.org/10.1088/0305-4616/14/9/003>
- Nakatsukasa, T., Matsuyanagi, K., Matsuo, M., Yabana, K. (2016). Time-dependent density-functional description of nuclear dynamics. *Reviews of Modern Physics*, 88(4), 045004. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.88.045004>
- National Nuclear Data Center [NuDat], (2024, 23 Temmuz). <https://www.nndc.bnl.gov/> adresinden 23 Temmuz 2024 tarihinde alınmıştır.
- Nyhus, H. T., Siem, S., Guttormsen, M., Larsen, A. C., Bürger, A., Syed, N. U. H., Voinov, A. (2012). Level density and thermodynamic properties of dysprosium isotopes. *Physical Review C*, 85(1), 014323. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.85.014323>
- Oishi, T., Kortelainen, M., Hinohara, N. (2016). Finite amplitude method applied to the giant dipole resonance in heavy rare-earth nuclei. *Physical Review C*, 93(3), 034329. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.93.034329>
- Otsuka, T., Honma, M., Mizusaki, T., Shimizu, N., Utsuno, Y. (2001). Monte Carlo shell model for atomic nuclei. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 47(1), 319–400. [https://doi.org/10.1016/S0146-6410\(01\)00157-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6410(01)00157-0)

- Özel-Tashenov, B., Enders, J., Lenske, H., Krumbholz, A. M., Litvinova, E., von Neumann-Cosel, P., Tsoneva, N. (2014). Low-energy dipole strength in $^{112,120}\text{Sn}$. *Physical Review C*, 90(2), 024304. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.90.024304>
- Paar, N., Vretenar, D., Khan, E., Colò, G. (2007). Exotic modes of excitation in atomic nuclei far from stability. *Reports on Progress in Physics*, 70(5), R02. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/70/5/R02>
- Papst, O., Werner, V., Isaak, J., Pietralla, N., Beck, T., Bernards, C., Vanhoy, J. R. (2020). Photo response of ^{164}Dy . *Phys. Rev. C*, 102(3), 34323. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.102.034323>
- Péru, S., Deloncle, I., Hilaire, S., Goriely, S., Martini, M. (2019). Study of dipole excitations in even-even $^{156-166}\text{Dy}$ with QRPA using the Gogny force. *The European Physical Journal A*, 55(12), 232. <https://doi.org/10.1140/epja/i2019-12896-9>
- Plujko, V. A., Gorbachenko, O. M., Capote, R., Dimitriou, P. (2018). Giant dipole resonance parameters of ground-state photoabsorption: Experimental values with uncertainties. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 123–124, 1–85. <https://doi.org/10.1016/j.adt.2018.03.002>
- Ponomarev, V. (2014). Pygmy dipole resonance. *Journal of Physics: Conference Series*, 533, 012028. <https://doi.org/10.1088/1361-6471/abaca0>
- Ponomarev, V. Y., Vigezzi, E., Bortignon, P. F., Broglia, R. A., Colò, G., Lazzari, G., Baur, G. (1994). Microscopic origin of the giant resonance structure. *Nuclear Physics A*, 569(1–2), 333–342. [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(94\)90124-4](https://doi.org/10.1016/0375-9474(94)90124-4)
- Pyatov, N. I., Salamov, D. I. (1977). Conservation laws and collective excitations in nuclei. *Nucleonica*, 22(127).
- Quigg, C. (2019). A Century of Noether's Theorem. Batavia, IL (United States). <https://doi.org/10.2172/1529326>
- Quliyev, H., Guliyev, E., Kuliev, A. A. (2021). Electric dipole strength in the deformed $^{144,146,148,150,152,154}\text{Nd}$ nuclei. *Nuclear Physics A*, 1014, 122239. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2021.122239>
- Quliyev, H., Saygı, N.D., Guliyev, E., Kuliev, A. A. (2022). The electric dipole response of even-even $^{154-164}\text{Dy}$ isotopes. *Physica Scripta*, 97(2), 025302. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ac4863>
- Raman, S., Nestor, C. W., Tikkanen, P. (2001). Transition probability from the ground to the first-excited 2^+ state of even-even nuclides. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 78(1), 1–128. <https://doi.org/10.1006/adnd.2001.0858>
- Reich, C. W. (2007). Nuclear Data Sheets for $A = 162$. *Nuclear Data Sheets*, 108(9), 1807–2034. <https://doi.org/10.1016/j.nds.2007.07.002>
- Rekstad, J., Henriquez, A., Ingebretsen, F., Midttun, G., Skaali, B., Øyan, R., Liukkonen, E. (1983). A Study of the Nuclear Structure at High Energy and Low Spin. *Physica Scripta*, T5, 45–50. <https://doi.org/10.1088/0031-8949/1983/T5/007>

- Renstrøm, T., Utsunomiya, H., Nyhus, H. T., Larsen, A. C., Guttormsen, M., Tveten, G. M., Tesileanu, O. (2018). Verification of detailed balance for γ absorption and emission in Dy isotopes. *Physical Review C*, 98(5), 054310. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.98.054310>
- Repko, A., Kvasil, J., Nesterenko, V. O., Reinhard, P.-G. (2017). Pairing and deformation effects in nuclear excitation spectra. *The European Physical Journal A*, 53(11), 221. <https://doi.org/10.1140/epja/i2017-12406-3>
- Ring, P., Schuck, P. (1980). *The Nuclear Many-Body Problem*. Springer Berlin Heidelberg.
- Ring, P., Schuck, P. (2004). *The Nuclear Many-Body Problem*. Springer Science & Business Media.
- Romig, C., Beller, J., Glorius, J., Isaak, J., Kelley, J. H., Kwan, E., Zweidinger, M. (2013). Low-lying dipole strength of the open-shell nucleus ^{94}Mo . *Physical Review C*, 88(4), 044331. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.88.044331>
- Rowe, D. J. (2010). *Nuclear Collective Motion: Models and Theory*. World Scientific. <https://books.google.com.tr/books?id=uXV2Vk9c46gC>
- Rusev, G., Grosse, E., Erhard, M., Junghans, A., Kosev, K., Schilling, K.-D., Wagner, A. (2005). Pygmy dipole strength close to particle-separation energies—The case of the Mo isotopes. *The 2nd International Conference on Nuclear Physics in Astrophysics* (ss. 171–176). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-32843-2_25
- Rusev, G., Schwengner, R., Beyer, R., Erhard, M., Grosse, E., Junghans, A. R., Frauendorf, S. (2009). Enhanced electric dipole strength below particle-threshold as a consequence of nuclear deformation. *Physical Review C*, 79(6), 061302. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.79.061302>
- Savran, D., Aumann, T., Zilges, A. (2013). Experimental studies of the Pygmy Dipole Resonance. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 70, 210–245. <https://doi.org/10.1016/j.ppnp.2013.02.003>
- Savran, D., Elvers, M., Endres, J., Fritzsche, M., Löher, B., Pietralla, N., Zilges, A. (2011). Fragmentation and systematics of the pygmy dipole resonance in the stable $N=82$ isotones. *Physical Review C*, 84(2), 024326. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.84.024326>
- Savran, D., Fritzsche, M., Hasper, J., Lindenberg, K., Müller, S., Ponomarev, V. Y., Zilges, A. (2008). Fine Structure of the Pygmy Dipole Resonance in ^{136}Xe . *Physical Review Letters*, 100(23), 232501. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.100.232501>
- Saygı, B. (2018a). Investigation of the $B(E2)$ systematics in pseudo-mirror nuclei. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 45(9), 095104. <https://doi.org/10.1088/1361-6471/aad715>
- Saygı, B. (2018b). Symmetrical level schemes of the even–even Sm $A=130$ and Yb $A=160$ nuclei up to 10^+ in the yrast bands. *Nuclear Physics A*, 980, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2018.09.080>
- Saygı, B. (2019). Odd mass nuclei in the mass regions $100 \leq A \leq 130$ from a vertical perspective within the $N N$ scheme. *Nuclear Physics A*, 983, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2018.11.021>

- Saygı, N. D. (2018). *Deforme Çekirdeklerde Dev Dipol Rezonansların İncelenmesi* [Doktora tezi] Sakarya Üniversitesi
- Saygı, N., Yamaç, F., Kuliev, A. (2020). Theoretical investigation of giant dipole resonance in $^{146-152}\text{Nd}$ isotopes with QRPA. *International Journal of Modern Physics E*, 29(07), 2050040. <https://doi.org/10.1142/S0218301320500408>
- Scheck, M., Ponomarev, V. Y., Fritzsche, M., Joubert, J., Aumann, T., Beller, J., Zweidinger, M. (2013). Photoresponse of ^{60}Ni below 10-MeV excitation energy: Evolution of dipole resonances in fp-shell nuclei near $N=Z$. *Physical Review C*, 88(4), 044304. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.88.044304>
- Schimmer, M., Wirowski, R., von Brentano, P. (1994). The valence mirror nuclei ^{114}Sn and ^{146}Gd . *Nuclear Physics A*, 569(3), 458–468. [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(94\)90314-X](https://doi.org/10.1016/0375-9474(94)90314-X)
- Singh, B. (2008). Nuclear Data Sheets for $A = 100$. *Nuclear Data Sheets*, 109(2), 297–516. <https://doi.org/10.1016/j.nds.2008.01.001>
- Singh, B., Chen, J. (2018). Nuclear Data Sheets for $A=164$. *Nuclear Data Sheets*, 147, 1–381. <https://doi.org/10.1016/j.nds.2018.01.001>
- Solovev, V. G., Vadim G. (1976). *Theory of complex nuclei*. New York.
- Sonzogni, A. A. (2002). Nuclear Data Sheets for $A = 136$. *Nuclear Data Sheets*, 95(4), 837–994. <https://doi.org/10.1006/ndsh.2002.0008>
- Sonzogni, A. A. (2004). Nuclear Data Sheets for $A = 134$. *Nuclear Data Sheets*, 103(1), 1–182. <https://doi.org/10.1016/j.nds.2004.11.001>
- Tabar, E., Yakut, H., Hoşgör, G., Kemah, E. (2021). Electromagnetic dipole transitions below 4 MeV in odd-neutron $^{161,163}\text{Dy}$. *Nuclear Physics A*, 1014, 122252. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2021.122252>
- Tabar, E., Yakut, H., Kemah, E., Demirci Saygı, N., Hoşgör, G., Quliyev, H., Kuliev, A. A. (2021). Systematics of electric dipole excitations for odd-mass $^{233-239}\text{U}$ isotopes. *Nuclear Physics A*, 1008, 122138. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2021.122138>
- Tabar, E., Yakut, H., Kuliev, A. A. (2018). Low-energy dipole strength in even–even $^{152-164}\text{Dy}$ isotopes within the quasiparticle random phase approximation (QRPA) including symmetry restoring interactions. *Nuclear Physics A*, 979, 143–164. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2018.09.040>
- Tabar, E., Yakut, H., Kuliev, A. A., Hoşgör, G., Kemah, E., Quliyev, H. (2020a). Investigation of the electric dipole (E1) excitations in ^{181}Ta nucleus. *The European Physical Journal A*, 56(10), 271. <https://doi.org/10.1140/epja/s10050-020-00274-x>
- Tabar, E., Yakut, H., Kuliev, A. A., Hoşgör, G., Kemah, E., Quliyev, H. (2020b). Translational and Galilean Invariant Quasiparticle Phonon Nuclear Model (TGI-QPNM) for electric dipole (E1) transitions in odd-mass deformed nuclei. *Nuclear Physics A*, 1001, 121885. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2020.121885>
- Tabar, E., Yakut, H., Kuliev, A. A., Quliyev, H., Hoşgör, G., Kemah, E. (2021). Study of the high lying electric dipole excitations in Odd- A $^{153-159}\text{Eu}$ isotopes. *Physica Scripta*, 96(7), 075303. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/abfab6>

- Talmi, I. (1962). Effective Interactions and Coupling Schemes in Nuclei. *Reviews of Modern Physics*, 34(4), 704–722. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.34.704>
- Tamkas, M., Açıksöz, E., Isaak, J., Beck, T., Benouaret, N., Bhike, M., Zweidinger, M. (2019). Low-lying dipole strength in the well-deformed nucleus ^{156}Gd . *Nuclear Physics A*, 987, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2019.03.014>
- Tian, Y., Tao, X., Wang, J., Ke, X., Xu, R., Ge, Z. (2019). Giant dipole resonance parameters from photoabsorption cross-sections. *Chinese Physics C*, 43(11), 114102. <https://doi.org/10.1088/1674-1137/43/11/114102>
- Toft, H. K., Larsen, A. C., Bürger, A., Guttormsen, M., Gorgen, A., Nyhus, H. T., Voinov, A. (2011). Evolution of the pygmy dipole resonance in Sn isotopes. *Physical Review C*, 83(4), 044320. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.83.044320>
- Tryggestad, E., Aumann, T., Baumann, T., Bazin, D., Beene, J., Blumenfeld, Y., Varner, R. (2002). Low-lying dipole strength in ^{200}O . *Physics Letters B*, 541(1–2), 52–58. [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(02\)02224-4](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(02)02224-4)
- Tsoneva, N., Lenske, H. (2008). Pygmy dipole resonances in the tin region. *Physical Review C*, 77(2), 024321. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.77.024321>
- Utsunomiya, H., Goriely, S., Kamata, M., Kondo, T., Itoh, O., Akimune, H., Koning, A. J. (2009). γ -ray strength function for $^{116,117}\text{Sn}$ with the pygmy dipole resonance balanced in the photoneutron and neutron capture channels. *Physical Review C*, 80(5), 055806. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.80.055806>
- Vedova, F. Della, Lenzi, S. M., Ionescu-Bujor, M., Mărginean, N., Axiotis, M., Bazzacco, D., Zuker, A. P. (2007). Isospin symmetry breaking at high spin in the mirror nuclei ^{35}Ar and ^{35}Cl . *Physical Review C*, 75(3), 034317. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.75.034317>
- Volz, S., Tsoneva, N., Babilon, M., Elvers, M., Hasper, J., Herzberg, R.-D., Zilges, A. (2006). The photoresponse of stable nuclei below 10 MeV. *Nuclear Physics A*, 779, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2006.08.012>
- Von Neumann-Cosel, P. (2010). Pygmy dipole resonance in stable nuclei. *Pramana*, 75(1), 63–71. <https://doi.org/10.1007/s12043-010-0065-0>
- Von Neumann-Cosel, P. (1997). A EUROBALL module at the S-DALINAC — Investigation of elementary and magnetic excitation modes. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 38, 213–222. [https://doi.org/10.1016/S0146-6410\(97\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0146-6410(97)00028-8)
- Wieland, O., Bracco, A., Camera, F., Benzoni, G., Blasi, N., Brambilla, S., Bürger, A. (2009). Search for the Pygmy Dipole Resonance in ^{68}Ni at 600 MeV/nucleon. *Physical Review Letters*, 102(9), 092502. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.092502>
- Wirowski, R., Yan, J., Brentano, P. von, Dewald, A., Gelberg, A. (1988). Valence mirror nuclei. *Journal of Physics G: Nuclear Physics*, 14(9), L195–L199. <https://doi.org/10.1088/0305-4616/14/9/004>
- Yakut, H., Tabar, E., Kemah, E., Hoşgör, G. (2021). Theoretical description of pygmy and giant dipole resonances in ^{237}Np . *Physica Scripta*, 96(12), 125315. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ac35c4>

- Yakut, Hakan, Tabar, E., Quliyev, H. (2019). Comparission of E1 Response of ^{154}Sm and ^{155}Sm in the Pygmy Dipole Resonance (PDR) Region. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8, 56–60. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.635427>
- Yan, J., Wirowski, R., von Brentano, P., Dewald, A., Gelberg, A. (1990). Proton-neutron symmetry in valence mirror nuclei. *Physical Review C*, 42(2), 743–747. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.42.743>
- Yoshida, K., Nakatsukasa, T. (2011). Dipole responses in Nd and Sm isotopes with shape transitions. *Physical Review C*, 83(2), 021304. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.83.021304>
- Zenginerler, Z., Guliyev, E., Kuliev, A. A., Yakut, H., Soluk, G. (2013). Systematic investigation of the low-lying dipole excitations in even-even $^{124-136}\text{Ba}$ isotopes. *The European Physical Journal A*, 49(9), 107. <https://doi.org/10.1140/epja/i2013-13107-7>
- Zilges, A., Volz, S., Babilon, M., Hartmann, T., Mohr, P., Vogt, K. (2002). Concentration of electric dipole strength below the neutron separation energy in $N=82$ nuclei. *Physics Letters B*, 542(1–2), 43–48. [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(02\)02309-2](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(02)02309-2)



EKLER

EK A

Tablo A.1. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV enerji aralıklarındaki K=0 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{162}Yb		^{166}Hf		$^{162}\text{Yb}/^{166}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
3,4193	$2,48.10^{-4}$	3,2393	$2,89.10^{-4}$	1,05	0,86
4,4475	$1,6.10^{-4}$	4,4039	$1,2.10^{-4}$	1	1,34
4,5464	$1,25.10^{-3}$	4,6511	$1,08.10^{-3}$	0,98	1,15
5,3271	$4,63.10^{-3}$	5,4359	$4,06.10^{-3}$	0,98	1,14
6,6554	0,0136	6,5344	0,0159	1,01	0,86
6,6953	$1,84.10^{-6}$	6,6686	$1,86.10^{-6}$	1	0,99
6,8487	0,0118	6,6991	0,0177	1,02	0,67
6,8596	0,0155	6,9213	0,0131	0,99	1,18
7,1395	$2,69.10^{-3}$	7,1850	$2,23.10^{-3}$	0,99	1,20
7,5663	0,117	7,5655	0,114	1	1,02
7,6252	0,0925	7,6198	0,0991	1	0,94
7,7712	$4,39.10^{-5}$	7,8003	$5,83.10^{-5}$	0,99	0,75

Tablo A.2. Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{162}Yb		^{166}Hf		$^{162}\text{Yb}/^{166}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
3,0861	0,0857	3,2508	0,0680	0,95	1,26
4,2223	0,102	4,5931	0,144	0,92	0,70
5,2121	0,0135	5,9088	0,0152	0,88	0,88
5,2930	3,16	5,4727	3,62	0,97	0,87
5,3116	0,864	5,2635	0,911	1	0,95
5,7719	2,45	5,7927	2,62	1	0,94
5,9010	3,77	5,4727	3,62	1,07	1,04
6,4458	14	6,5451	14,5	0,98	0,97
7,1186	5	7,0497	5,1	1	0,98
7,2464	1,17	7,1199	1,08	1,01	1,08
7,2641	19,8	7,6303	17,9	0,95	1,10
7,9837	23	7,3025	22,1	1,09	1,04
8,3093	3,95	8,2703	3,78	1	1,04
8,3800	7,24	8,3257	8,56	1	0,85
8,4684	4,83	8,6982	4,71	0,97	1,02
8,5584	19,4	8,3621	17	1,02	1,14
8,6473	1,50	8,8172	1,78	0,98	0,84
8,6644	12,3	8,5343	13,8	1,01	0,89

Tablo A.2. (Devamı) Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{162}Yb		^{166}Hf		$^{162}\text{Yb}/^{166}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
8,7602	0,621	8,2906	0,637	1,05	0,97
8,9677	23,5	8,3448	22,7	1,07	1,03
8,9940	31,3	8,1669	33,4	1,10	0,94
9,1331	45,8	9,1057	44,5	1	1,02
9,2559	57,3	9,3414	55,3	0,99	1,03
9,3673	6,01	9,3764	6,25	1	0,96
9,4013	55,4	8,7400	55,4	1,07	1
9,4251	28,3	8,7836	26	1,07	1,08
9,4525	4,23	9,6258	4,17	0,98	1,01
9,6168	5,44	10,7497	5,59	0,89	0,97
9,6773	81,6	10,2475	86	0,95	0,95
9,6846	6,10	9,3764	6,25	1,03	0,98
9,7156	1,84	8,8172	1,78	1,10	1,03
9,8589	22,7	9,8529	31,3	1	0,73
9,9487	63,5	10,3467	61,3	0,96	1,03
10,3048	62,7	10,3467	61,3	1	1,02
10,5374	141	10,4979	188	1	0,75
10,8483	27,3	10,1305	24,6	1,07	1,86

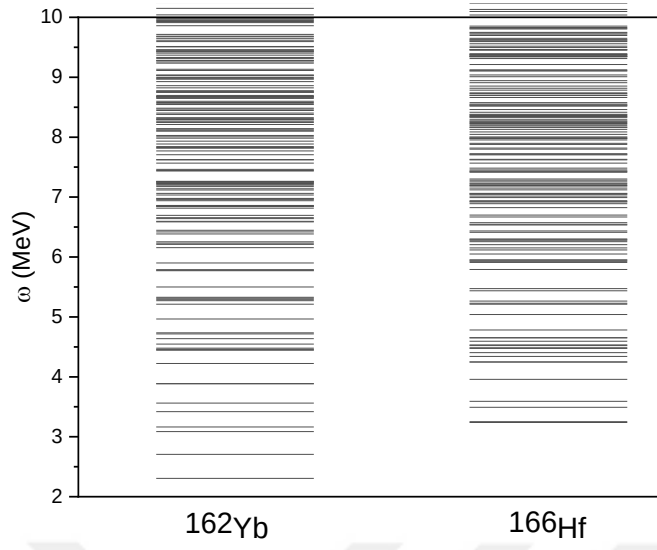
Tablo A.2. (Devamı) Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{162}Yb		^{166}Hf		$^{162}\text{Yb}/^{166}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
11,1705	59,1	11,3916	58,5	0,98	1,01
11,1884	16,8	11,2019	16,2	1	1,03
11,3733	142	11,9341	179	0,95	0,79
11,5761	151	11,9341	179	0,97	0,84
11,6936	50,3	11,8908	57,9	0,98	0,87
11,7712	483	11,1492	431	1,05	1,12
11,9560	103	12,6983	102	0,94	1
12,2902	380	11,3218	358	1,08	1,06
12,3902	557	12,2933	572	1	0,97
12,6362	672	12,6080	748	1	0,90
12,7571	1500	13,2393	1210	0,96	1,24
12,8680	859	12,8074	829	1	1,03
13,9372	262	14,5391	248	0,96	1,05
14,0312	3100	14,3030	3420	0,98	0,90
14,3465	1240	14,1665	1400	1,01	0,88
14,3985	632	14,2705	615	1	1,02
14,4906	331	14,4589	367	1	0,90
14,6733	1900	14,3267	1690	1,02	1,12

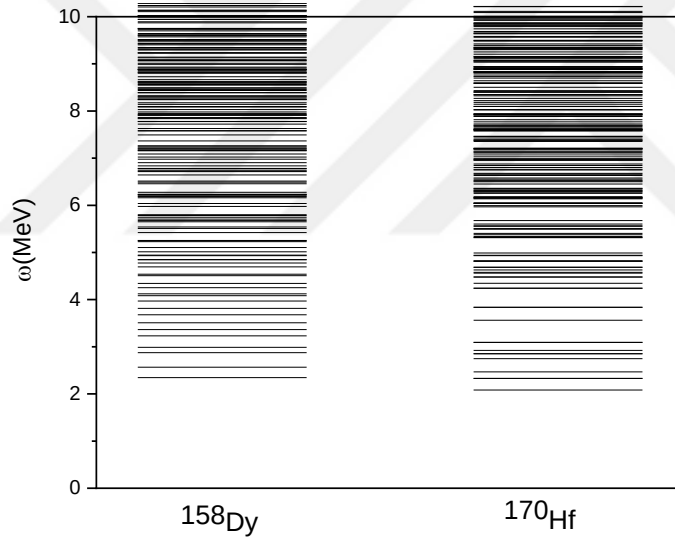
Tablo A.2. (Devamı) Parçacık-boşluk simetrisine sahip ^{166}Hf - ^{162}Yb çekirdek ikilisinin TGI-QRPA ile hesaplanan 0-4 MeV, 4-8 MeV, 8-25 MeV enerji aralıklarındaki K=1 modundaki benzer seviyelerin enerji ve indirgenmiş geçiş olasılığı değerlerinin oranları.

^{162}Yb		^{166}Hf		$^{162}\text{Yb}/^{166}\text{Hf}$	
ω_1	$B(E1)_1$	ω_2	$B(E2)_2$	ω_1/ω_2	$B(E1)_1/B(E2)_2$
14,7707	272	14,5986	257	1,01	1,05
16,7157	5,34	16,7608	6,82	1	0,78
18,5499	5,14	19,7356	5,58	0,94	0,92
19,0277	2,83	19,1213	2,84	1	1
20,3274	19,5	20,8642	17,1	0,97	1,14
20,4999	19,8	20,8642	17,1	0,98	1,15
21,1760	4,93	22,6064	4,24	0,94	1,16
21,8722	2,51	22,2798	2,71	0,98	0,93
22,7863	3,06	22,8514	3,59	1	0,85
23,4470	15,1	24,2608	15,3	0,97	0,99
23,6871	0,399	25,4201	0,393	0,93	1,01
23,9382	0,533	25,5696	0,558	0,94	0,96
24,0571	0,393	25,4201	0,393	0,95	1
24,1587	0,178	25,9565	0,143	0,93	1,24
24,5449	3,30	25,3085	3,43	0,97	0,96
25,1317	19,1	24,2608	15,3	1,03	1,24
25,2237	0,655	25,0111	0,639	1	1,02
25,5653	1,48	25,6871	1,46	1	1

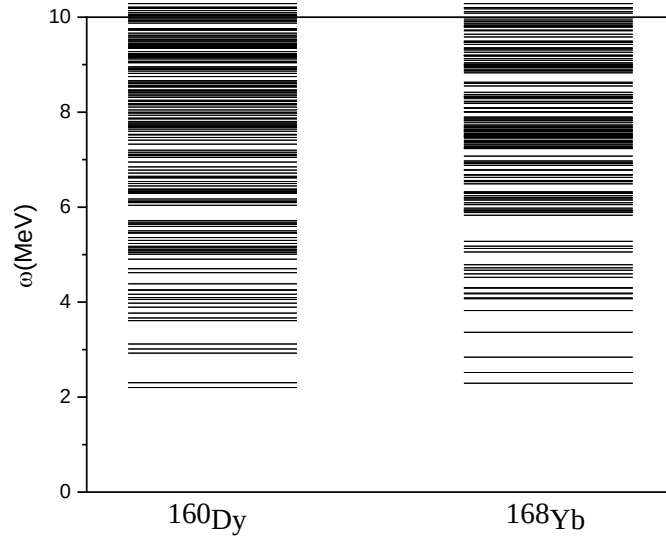
EK B



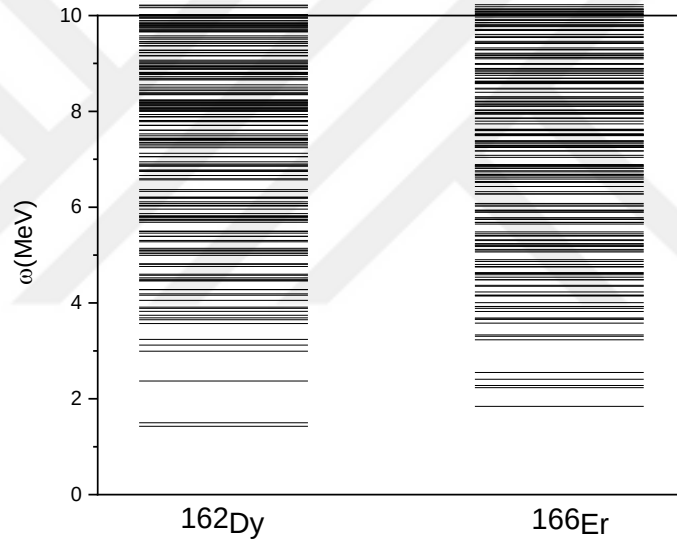
Şekil B.1. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{162}Yb - ^{166}Hf PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



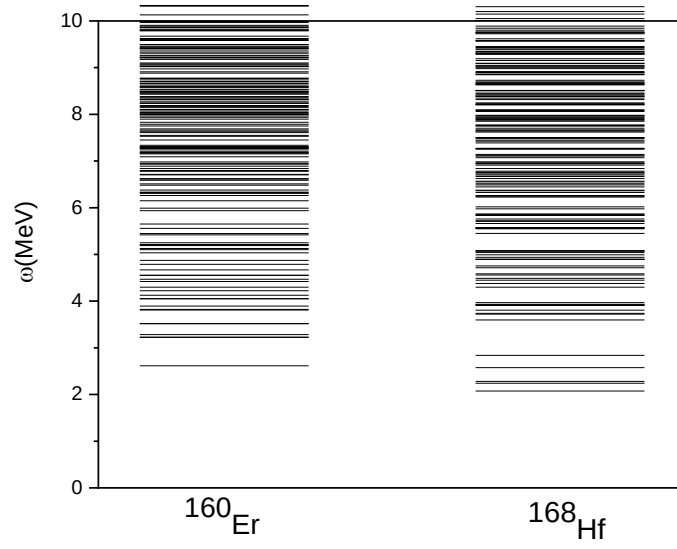
Şekil B.2. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{158}Dy - ^{170}Hf PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



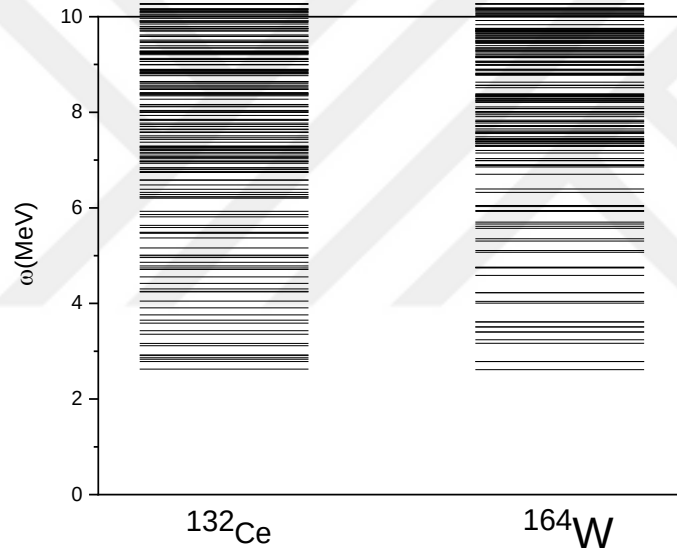
Şekil B.3. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{160}Dy - ^{168}Yb PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



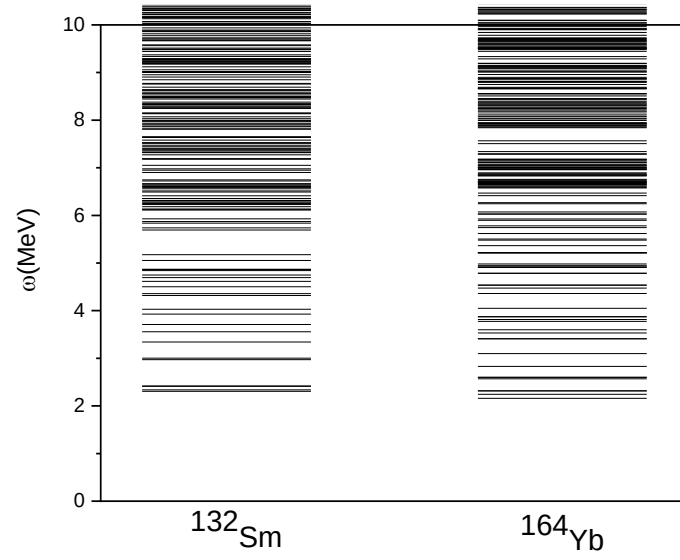
Şekil B.4. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{162}Dy - ^{166}Er PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



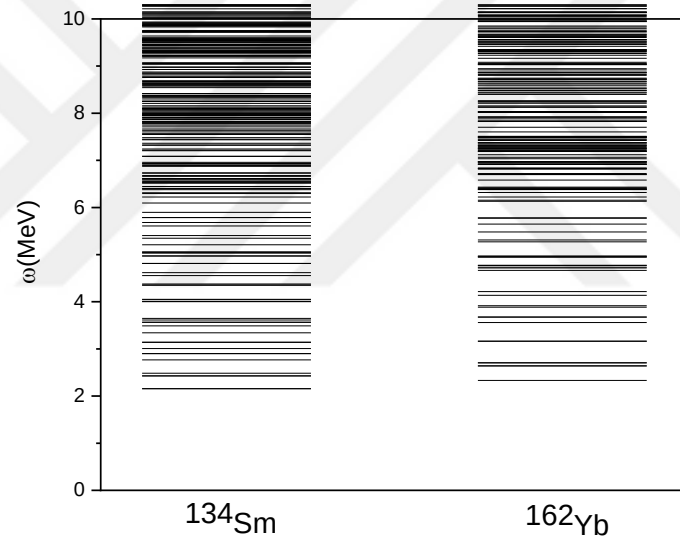
Şekil B.5. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{160}Er - ^{168}Hf PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



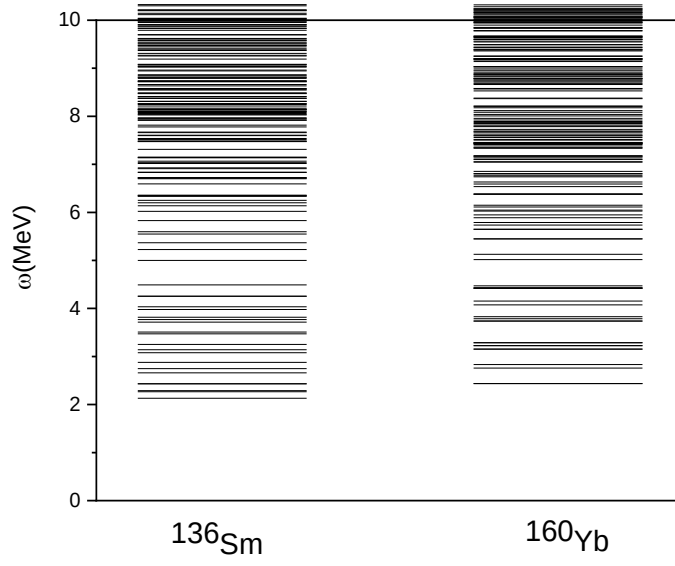
Şekil B.6. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{132}Ce - ^{164}W PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



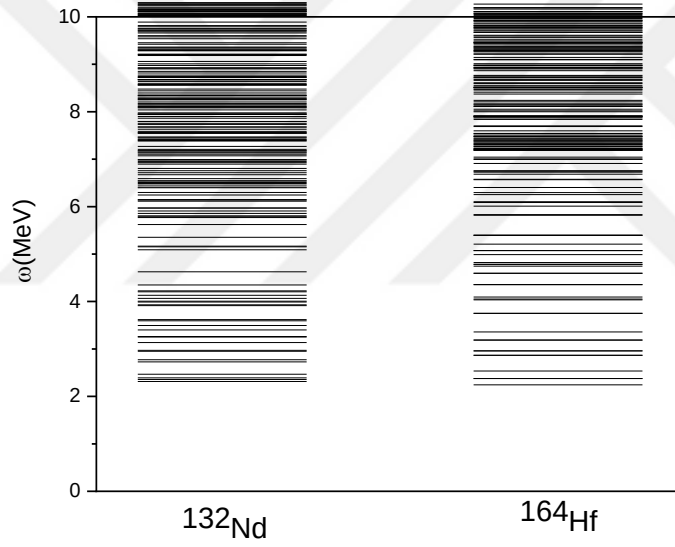
Şekil B.7. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{132}Sm - ^{164}Yb PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



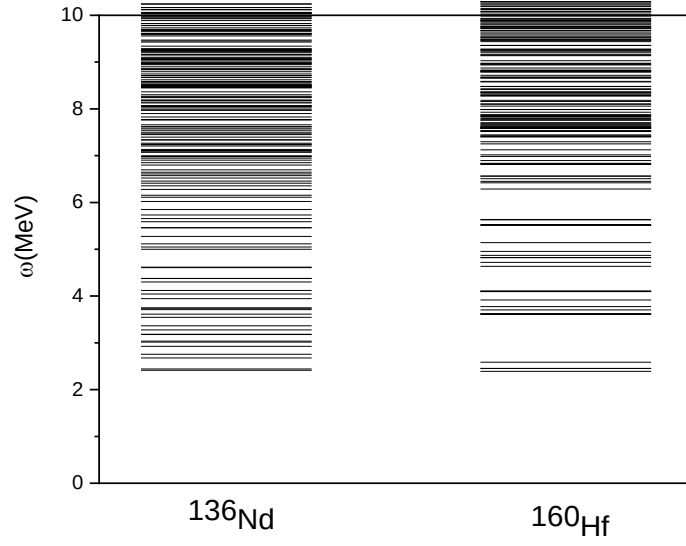
Şekil B.8. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{134}Sm - ^{162}Yb PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



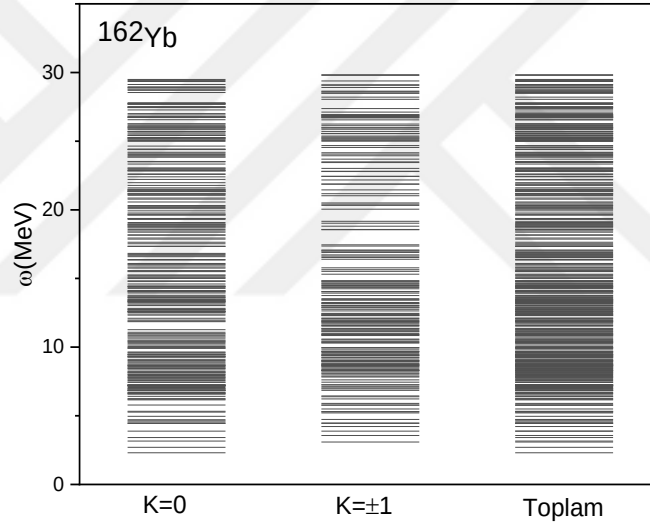
Şekil B.9. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{136}Sm - ^{160}Yb PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



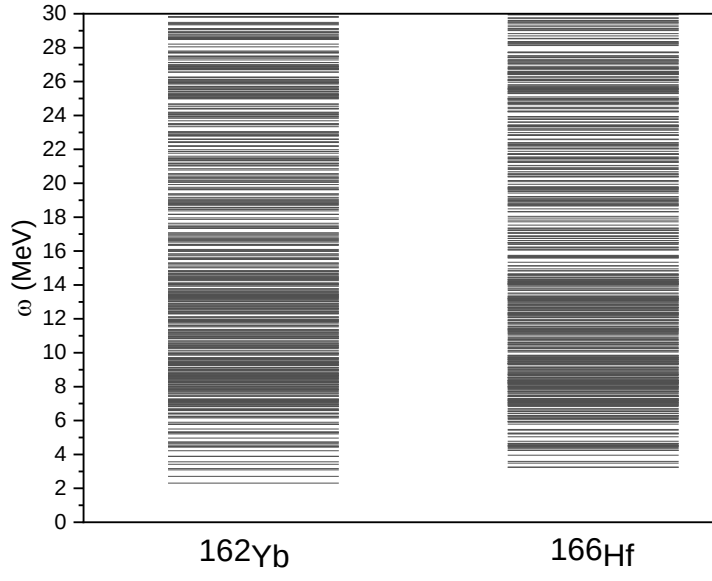
Şekil B.10. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{132}Nd - ^{164}Hf PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması



Şekil B.11. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{136}Nd - ^{160}Hf PMN çekirdek çiftinin 0-10 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



Şekil B.12. ^{162}Yb çekirdeği için 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.



Şekil B.13. Parçacık boşluk simetrisine sahip ^{162}Yb - ^{166}Hf PMN çekirdek çiftinin 0-30 MeV enerji aralığındaki toplam elektrik dipol seviyelerinin karşılaştırması.