

**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**ÇİFT-ÇİFT BAZI  $M_0$  ÇEKİRDEKLERİNİN  
ELEKTROMANYETİK GEÇİŞLERİNİN  
ÇOKKUTUPLULUKLARININ İNCELENMESİ**

**İbrahim İBİŞ**

**Tez Danışmanı**

**Doç. Dr. M. Nureddin TÜRKAN**

**Yozgat 2011**

**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**ÇİFT-ÇİFT BAZI  $M_0$  ÇEKİRDEKLERİNİN  
ELEKTROMANYETİK GEÇİŞLERİNİN  
ÇOKKUTUPLULUKLARININ İNCELENMESİ**

**İbrahim İBİŞ**

**Tez Danışmanı**

**Doç. Dr. M. Nureddin TÜRKAN**

**Bu çalışma, Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi  
tarafından I.F.E.F/2010-26 kodu ile desteklenmiştir.**

**Yozgat 2011**

**T.C.**  
**BOZOK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEZ ONAYI**

Enstitümüzün Fizik Anabilim Dalı 7011050003 numaralı öğrencisi İbrahim İBİŞ'in hazırladığı "**Çift-çift bazı Mo çekirdeklerinin elektromanyetik çokkutupluluklarının incelenmesi**" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 23/08/2011 salı günü saat 14:00'te yapılmış, tezin onayına OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Mustafa BÖYÜKATA



Üye : Doç. Dr. M. Nureddin TÜRKAN (Danışman)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ümüt TEMİZER



**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 21.09.2011 tarih ve 11... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

  
Doç. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ  
Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ETKİLEŞEN BOZON MODELİ</b> .....	<b>3</b>
2.1. Etkileşen Bozon Modeli .....	3
2.2. IBM-1 Modeli .....	3
2.3. U(N), SU(N) ve O(N) Cebiri.....	4
2.4. U(5) Dinamik simetrisi( Vibrasyonel limit).....	4
2.5. SU(3) Dinamik Simetrisi (Rotasyonel Limit).....	6
2.6. O(6) Dinamik Simetrisi .....	7
2.7. IBM-2 Hamiltoniyeni.....	8
2.8. Kuadropol Moment.....	8
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>11</b>
3.1. Giriş.....	11
3.2. Bazı Çift-Çift Mo İzotoplarının İncelenmesi ( <sup>94-108</sup> Mo).....	11
3.2.1. Enerji Spektrumu .....	14
3.2.2. B(E2) Değerleri.....	20
3.2.3. Kuadropol Moment.....	25
<b>4. SONUÇLAR</b> .....	<b>28</b>
4.1. <sup>94</sup> Mo İzotopu İçin Sonuçlar.....	28
4.2. <sup>96</sup> Mo İzotopu İçin Sonuçlar.....	28
4.3. <sup>98</sup> Mo İzotopu İçin Sonuçlar.....	28
4.4. <sup>100</sup> Mo İzotopu İçin Sonuçlar.....	29
4.5. <sup>102</sup> Mo İzotopu İçin Sonuçlar.....	29
4.6. <sup>104</sup> Mo İzotopu İçin Sonuçlar.....	29

4.7. $^{106}$ Mo İzotopu İçin Sonuçlar.....	29
4.8. $^{108}$ Mo İzotopu İçin Sonuçlar.....	30
4.9. Genel Sonuçlar.....	30
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>31</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>33</b>

# ÇİFT-ÇİFT BAZI Mo ÇEKİRDEKLERİNİN ELEKTROMANYETİK GEÇİŞLERİNİN ÇOKKUTUPLULUKLARININ İNCELENMESİ

**İbrahim İBİŞ**

**Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**2011; Sayfa: 33**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Nureddin TÜRKAN**

## **ÖZET**

Bu çalışmada çift-çift Mo izotoplarının bazı nükleer yapı karakterleri Etkileşen Bozon Modeli çerçevesinde incelendi. Bu modelin IBM-1 ve IBM-2 versiyonlarıyla  $^{94-108}\text{Mo}$  izotoplarının temel hal, beta ve gama bandı enerji düzeyleri ile bazı geçişlere ait B(E2) geçiş olasılıkları hesaplandı. Bu hesaplamalar, PHINT paket programı yardımıyla yapıldı. Çekirdeğin şekli hakkında bilgiler elde etmek için elektrik kuadrupol moment değerleri de hesaplandı. Sonuçta, hesaplanan enerjiler, B(E2) değerleri ve kuadrupol momentler daha önceki bazı deneysel verilerle karşılaştırıldı ve bunların birbirleri ile mantıklı bir uyum sergilediği gözlemlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Etkileşen Bozon Modeli, B(E2) geçişler, Elektrik Kuadrupol Moment, Çift-Çift Mo çekirdekleri, Beta ve Gama Bandları.

**THE INVESTIGATION OF THE MULTI POLARITY OF THE  
ELECTROMAGNETIC TRANSITIONS IN SOME EVEN-EVEN Mo NUCLEI**

**İbrahim İBİŞ**

**Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics  
Master of Science Thesis**

**2011; Page: 33**

**Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Nureddin TÜRKAN**

**ABSTRACT**

In this study, some nuclear structural characters of even-even Mo isotopes has been investigated in the view of the Interacting Boson Model. Energy levels of ground state, beta and gamma bands with B(E2) transition probabilities between some levels of  $^{94-108}\text{Mo}$  isotopes are calculated by IBM-1 and IBM-2 versions of this model. These calculations were made by the help of PHINT package program. Electrical quadrupole moments were also calculated to get information about shape of the nuclei. At the end, calculated energies, B(E2) values and quadrupole moment results were compared with some previous experimental values and it was seen that they show a reasonable good agreement with each other.

**Keywords:** Interacting Boson Model, B(E2) Transitions, Electric Quadrupole Moment, Even-Even Mo Nuclei. Beta and Gamma Bands.

## **TEŞEKKÜR**

Tez alıőmamda her tűrlű yardımını esirgemeyen deęerli Hocam Doç. Dr. M. Nureddin TŲRKAN'a ve Yűksek lisans űęrencisi Muhammed AKAR'a gűsterdikleri sabır ve anlayıőtan dolayı teőekkűrlerimi sunarım.

Beni bűyűk fedakarlıklarla bűyűtűp bugűnlere getiren, evlatları olmaktan gurur duyduęum, her zaman yanımda olan, bana inanan ve gűvenen aileme sonsuz teőekkűr ederim.



## TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: $^{94-108}\text{Mo}$ İzotopları IBM-1 Modeli İçin Hamiltoniyen Hesaplanırken Kullanılan Parametrelerin Uyarlanmış En İyi Değerleri .....	12
Tablo 3.2: $^{94-108}\text{Mo}$ İzotopları IBM-2 Modeli İçin Hamiltoniyen Hesaplanırken Kullanılan Parametrelerin Uyarlanmış En İyi Değerleri .....	13
Tablo 3.3: $^{94-108}\text{Mo}$ İzotopları İçin IBM-1, IBM-2 Modelleri İle Hesaplanan Enerji Düzeylerinin Deneysel Bulgularla Karşılaştırılması.....	14
Tablo 3.4: $^{94-108}\text{Mo}$ İzotopları İçin B(E2) hesaplamak üzere belirlenip kullanılan IBM-1, IBM-2 Modelleri E2SD ve E2DD parametre değerleri.....	21
Tablo 3.5: $^{94-108}\text{Mo}$ İzotoplarında Bazı Geçişler İçin Hesaplanan B(E2) Değerlerinin Deneysel Sonuçlar İle Karşılaştırılması.....	22
Tablo 3.6: $^{94-108}\text{Mo}$ İzotopları için IBM-1 ve IBM-2 Modelleriyle Hesaplanan $Q(2_1^+)$ Değerlerinin Deneysel Sonuçlar ve Ru (Z=44) izotopları ile karşılaştırılması.....	27

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Etkileşen Bozon Modelinin tanımlandığı U(5)-O(6)-SU(3) dinamik simetrilerini gösteren Casten üçgeni.....	7
Şekil 2.2: Nükleer yapıda deformasyonu tanımlayan (a) prolate ve (b) oblate durumlar.....	9
Şekil 3.1: $^{94-108}\text{Mo}$ izotopları için hesaplanan IBM-1, IBM-2 modeli enerji düzeyleri, $E(\pi_1^+)/E(2_1^+)$ oranlarının deneysel oranlarla karşılaştırılması.....	19
Şekil 3.2: $^{94-108}\text{Mo}$ izotopları için hesaplanan IBM-1, IBM-2 Modeli <i>quasi</i> - $\beta$ bandı $E(\pi_\beta^+)/E(2_1^+)$ ile <i>quasi</i> - $\gamma$ bandı, $E(\pi_\gamma^+)/E(2_1^+)$ oranlarının deneysel oranlarla karşılaştırılması.....	20
Şekil 3.3: $^{94-108}\text{Mo}$ izotopları için IBM-1 ve IBM-2 Modelleri İle Hesaplanan B(E2) Değerlerinin Deneysel Verilerle Karşılaştırılması.....	25
Şekil 3.4: $^{94-108}\text{Mo}$ İzotopları için IBM-1 ve IBM-2 Modelleriyle Hesaplanan $Q(2^+)$ Değerlerinin Deneysel Sonuçlar İle Karşılaştırılması.....	26

## KISALTMALAR LİSTESİ

A	:	Kütle Numarası
B(E2)	:	Düzeyleyler Arası Elektrik Kuadrupol Geçiş Olasılıkları
E2	:	Elektrik Kuadrupol
IBM	:	Etkileşen Bozon Modeli
IBM-1	:	Etkileşen Bozon Modeli'nin 1. Versiyonu
IBM-2	:	Etkileşen Bozon Modeli'nin 2. Versiyonu
$l$	:	Açısal Momentum Sayısı
$m_l$	:	Manyetik Kuantum Sayısı
Mo	:	Molibden
Nd	:	Neodimyum
$n_d$	:	$d$ Bozonlarının Sayısı
$n_s$	:	$s$ Bozonlarının sayısı
$N_\pi$	:	Proton Bozon Sayısı
$N_\nu$	:	Nötron Bozon Sayısı
O(6)	:	Nükleer Yapının Gama Kararsız Çekirdek Grup Tanımı
Pd	:	Paladyum
Ru	:	Rutenyum
SU(3)	:	Nükleer Yapının Deforme Çekirdek Grup Tanımı
U(5)	:	Nükleer Yapının Vibrasyonel-Küresel Çekirdek Grup Tanımı

## 1.GİRİŞ

Elektrik çok kutuplu momentler, küresel simetriden sapmakta olan nükleer durumların yük dağılımlarının bir ölçüsüdür[1]. Elektrik kuadrupol geçişler ise, kollektif durumların tabiatını göstermek üzere çekirdek içi ışımaların en uygun geçişleridir.

Çift-çift molibden izotopları,  $A \sim 100$  kütle bölgesi civarındaki zincirin üyeleri olup  $Z = 50$ , proton ve  $N=50$  nötron kapalı kabuklarından uzakta yer alırlar. Etkileşen Bozon Modeli (IBM) bu bölge civarındaki Ru, Pd ve Nd gibi birçok çekirdeklerin izotoplarına uygulanmak suretiyle enerji düzeyleri ve geçiş şiddetleri incelenmiştir[2-4].

Geçmişte Mo çekirdeklerindeki büyük deformasyondan sorumlu faktörlerin tespiti için birçok çalışma olmakla beraber bu çekirdeklerin nükleer yapıları ile ilgili son çalışmalar şöyle özetlenebilir; Y.S. Kim ve arkadaşları [5],  $^{94,98,100}\text{Mo}$  izotoplarının uyarılmış negatif pariteli durumları incelemişlerdir. T. Sauter ve arkadaşları [6],  $^{92-100}\text{Mo}$  çekirdeklerinin bazı nükleer özelliklerini deneysel olarak çalışmışlardır. P.F. Mantica ve arkadaşları [7],  $^{92-100}\text{Mo}$  geçiş çekirdeklerinin ilk  $2^+$  durumlarının g-faktörlerinin incelemişlerdir. C. Fransen ve arkadaşları [8],  $^{94}\text{Mo}$  çekirdeğinin karma simetrik durumlarını açıklayan çalışmalar yapmışlardır. N. Pietrella ve arkadaşları [9],  $^{94}\text{Mo}$  için karma simetrik durumlar arasındaki geçiş oranlarını incelemişlerdir. L. Genilloud ve arkadaşları [10] ise,  $^{98}\text{Mo} (\alpha,2n\gamma)$  ve  $^{99}\text{Ru}(n,\gamma)$  reaksiyonları ile elde edilen vibrasyonel  $^{100}\text{Ru}$  çekirdeğini çalışmışlardır.

Çekirdeğin yapısının anlaşılabilmesi için birçok model öne sürülmüştür. Bunlardan biride Etkileşen Bozon Modeli (IBM)'dir. İlk olarak 1974 yılında Arima ve Iachello [11, 12] tarafından önerilen bu model orta ve ağır kütleli, yani  $A \sim 100$  kütle bölgesi civarı çekirdeklerin düşük enerjili durumlarını açıklamakta oldukça başarılı olmuştur..

Etkileşen bozon modelinin ilk versiyonu olan IBM-1 modeli proton ve nötronları aynı parçacıkmiş gibi ele alır. Burada toplam bozon sayısı korunacak şekilde bozon

sayısı, en dış yörüngedeki kapalı kabuk dışı (değerlik) nükleonların sayısının yarısına eşitlenir. Bu modelde s ve d bozonları  $l = 0$  ve  $l = 2$  açısal momentumları altı bileşene sahiptir. Bu da altı boyutlu uzayı ifade eder ve üniter grup olarak  $U(6)$  cinsinden ifade edilir. Bu grup incelendiğinde dinamik simetriler ortaya çıkar. Bu dinamik simetriler  $U(5)$ ,  $SU(3)$  ve  $O(6)$ 'dır. Bunlar geometrik olarak sırasıyla küresel titretili, deforme rotor ve asimetrik deforme rotor şeklinde adlandırılır.

Etkileşen bozon modelinin ikinci versiyonu olan IBM-2 modeli birinci versiyonun yetersiz kaldığı çekirdeklerin düşük enerjili spektrumlarını açıklamaktadır. IBM -2 modeli bu düzeyleri karışık simetri olarak açıklamaktadır. Bu durumların açıklanabilmesi için çekirdekteki düşük enerji düzeyli durumlara bağlı olarak E2 geçişlerinin ölçülmesi gerekir. IBM-2 modelinde, IBM-1'in tersine proton ve nötronlar ayrı parçacıklar olarak alınır [13, 14].

Bu tez çalışmasında, Etkileşen Bozon Modeli kullanılarak  $N=94$  ile  $N=108$  arasındaki çift-çift Mo izotoplarının kolektif durumlarının bazı nükleer özellikleri çalışılmıştır. Bu çekirdekte ilgili literatürde zaten var olan bazı çalışmalar, elde edilen daha iyi parametrelerle tekrar edilerek daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

Tezin geri kalan bölüm başlıkları şu şekilde özetlenebilir; bir sonraki bölüm olan 2. Bölüm de IBM modelinin teorik alt yapısı verilmiştir. 3. Bölümde, hesaplanan veriler geçmişte yapılan bazı deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu bölümde çift-çift  $^{94-108}\text{Mo}$  çekirdeklerinin hesaplanan kuadrupol momentleri de ayrıca verilmiştir. Son bölüm olan 4. Bölümde yapılan çalışma ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2.ETKİLEŞEN BOZON MODELİ

### 2.1. Etkileşen Bozon Modeli

Etkileşen bozon modeli çift-çift çekirdeklerin s ve d bozonlarının etkileşimini açıklayan bir modeldir. Başlangıçta proton ve nötronlar arasında ayırım yapmayıp  $N = n_s + n_d$  toplam bozon sayısı olarak ele almıştır. Bu toplam, kapalı kabuk dışında kalan nükleonların sayısının yarısına karşılık gelmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak enerji spektrumları 2–3 MeV küçük olan ağır çekirdeklerin özelliklerini açıklamada başarılı olmuştur. IBM–1 de açıl momentum sayısı  $l = 0$  ve  $l = 2$  bozonları altı bileşene ayrılır.  $l = 0$  için  $m_l = 0$   $l = 2$  için  $m_l = -2, -1, 0, 1, 2$  manyetik kuantum sayılı alt durumlara ayrılmaktadır. Bu da altı boyutlu uzayı ifade etmektedir. Bunun sonucunda U(6)'nın indirgemeleri olan U(5), SU(3) ve O(6) dinamik simetrisinin ortaya çıkmasını sağlar. Bunlar geometrik olarak sırasıyla titreşim (vibrasyonel), dönme (rotasyonel) ve gama kararsız çekirdeklerin enerji spektrumlarını üretir.

### 2.2. IBM-1 Modeli

IBM–1 modeli s ve d bozonlarının birbirleriyle etkileşimini anlatır. Bu modelde bozon sayısı belirlenirken en yakın kapalı kabuktaki proton ve nötron sayıları dikkate alınır. Kabuğun dolu olmaması durumunda; kabuk yarıdan fazla dolu ise bozonlar boşluk, yarıdan az dolu ise parçacık olarak ele alınmalıdır. Böyle alınmaması durumunda Pauli prensibine ters bir durum ortaya çıkacaktır. IBM–1 modeli birbirleriyle etkileşen s ve d bozonlarının düşük enerji durumlarını açıklamakta başarılı olmuştur. Çift-çift molibden çekirdeklerinin enerjilerini de hesaplamak mümkündür. Çözüm için Hamiltoniyen ifadesi aşağıdaki gibidir [11,12,15-18].

$$H_{sd} = \varepsilon_d n_d + \kappa Q \cdot Q + \kappa' L \cdot L + \kappa'' P \cdot P + q_3 T_3 \cdot T_3 + q_4 T_4 \cdot T_4, \quad (2.1)$$

$$Q \cdot Q = \sqrt{5} \left[ \left\{ (s^\dagger \tilde{d} + d^\dagger s)^{(2)} - \frac{\sqrt{7}}{2} (d^\dagger \tilde{d})^{(2)} \right\} \times \left\{ (s^\dagger \tilde{d} + \tilde{d} s)^{(2)} - \frac{\sqrt{7}}{2} (d^\dagger \tilde{d})^{(2)} \right\} \right]_0^{(0)},$$

$$L \cdot L = -10\sqrt{3} \left[ (d^\dagger \tilde{d})^{(1)} x (d^\dagger \tilde{d})^{(1)} \right]_0^{(0)}, \quad (2.2)$$

$$P \cdot P = \left[ \left\{ (s^\dagger s^\dagger)^{(0)} - \sqrt{5} (d^\dagger d^\dagger)^{(0)} \right\} x \left\{ (ss)^{(0)} - \sqrt{5} (\tilde{d} \tilde{d})^{(0)} \right\} \right]_0^{(0)}$$

$$T_3 \cdot T_3 = -\sqrt{7} \left[ (d^\dagger \tilde{d})^{(2)} x (d^\dagger \tilde{d})^{(2)} \right]_0^{(0)}, \quad T_4 \cdot T_4 = 3 \left[ (d^\dagger \tilde{d})^{(4)} x (d^\dagger \tilde{d})^{(4)} \right]_0^{(0)} \quad (2.3)$$

Burada denklemlerdeki terimler üniter grupların özelliklerini vermektedir. Q kuadrupol moment operatörüdür. Q.Q terimi SU(3) yapısının özelliklerini verir. L açısai momentum operatörüdür. L.L terimi düzeylere L(L+1) kadarlık diyagonal katkı sağlar. P çiftlenme operatörü olup P.P terimi O(6) yapısının özelliklerini verir.  $T_3$  Oktupol operatörüdür. O(5) alt grubun özelliklerini verir.  $\varepsilon_d$  ifadesi d-bozon sayısı ile orantılıdır ve U(5) yapısının özelliklerini verir.

### 2.3. U(N), SU(N) ve O(N) Cebiri

Lie cebirini rankı N olan (NXN) kuadratik ve anti-hermityen matrisler oluşturur. Matrislerin özelliğinden de bilindiği gibi A matrisi anti-hermityen ise kompleks eşleniğinin devriği negatif işaretlisine eşittir, yani  $(A^*)^T = A^+ = -A$  'dır. Ayrıca Lie cebiri elemanları anti-hermityen matrislerinin özelliklerini sağlamaktadır. Üniter matrislerin Lie grubu ile ilişkisi nedeniyle U(N) olarak adlandırılmıştır. Lie cebirinde temel elemanların sayısı boyut (n) olarak adlandırılmıştır. Buradan U(N) cebiri  $n = N^2$  boyutludur.

Ana köşegen elemanları toplamı sıfır ve rankı N olan anti-hermityen matrisleri de Lie cebiri oluştururlar.  $n = N^2 - 1$  boyutludurlar ve U(N) cebirinin özel bir durumu olduğu için SU(N) olarak adlandırılırlar.

Rankı N elemanları reel olan anti-simetrik ve kuadratik matrislerde Lie cebirini oluştururlar. Anti-simetrik matrislerin izi sıfır olduğundan bu matrisler SO(N) olarak adlandırılır. Cebirin boyutu ise  $n = N(N - 1) / 2$  'dir [19].

## 2.4. U(5) Dinamik simetrisi (vibrasyonel limit)

Titreşici (vibrasyonel) yapıdaki çekirdeğin özellikleri U(5) simetrisi ile açıklanır. Bu özellikteki çekirdeğin enerji düzeyleri ayrımı deforme çekirdeklerden daha büyüktür. Vibrasyonel çekirdeklerin enerji düzeyi 500–800 keV arasında değer alırlar. Bu karakterin beklendiği bölgelere davetsiz bölgeler denir.

Casimir operatörleri cinsinden bu zincir için Hamiltonyen ifadesi[20],

$$U(6) \supset U(5) \supset O(5) \supset O(3) \quad (2.4)$$

$$[N] \quad n_d \quad v \quad n_\Delta L$$

$$H_I = \alpha C_{1U5} + \beta C_{2U5} + \gamma C_{2O5} + \delta C_{2O3} \quad (2.5)$$

$$E_I = \alpha n_d + \beta n_d(n_d + 4) + 2\gamma(v + 3) + 2\delta L(L + 1) \quad (2.6)$$

şeklindedir. Multipol açılımı cinsinden yazılışı ise[20],

$$H_I = \varepsilon \hat{n}_d + a_1 \hat{L}^2 + a_3 \hat{T}^2 + a_4 \hat{T}_4^2 \quad (2.7)$$

şeklindedir. Ele alınan çekirdeğin vibrasyonel yani küresel titreşici karakterde olup olmadığını anlama kriterleri vardır[21].

(i)  $R_{4/2} = E(4_1^+) / E(2_1^+)$  oranı yaklaşık 2.0 olmalıdır.

(ii) İki-fonon üçlüsü hemen hemen dejenere olmalıdır.

(iii) n fonon sayısı olmak üzere,  $\Delta n \neq \pm 1$  geçişleri engellenmiş durumdadır.

(iv) Enerji düzeyleri, iyi bir yaklaşıklıkla 2.6 denklemi ile hesaplanabilir.

E2 geçiş operatörü 2.8 ifadesi ile verilir,

$$T(E2) = e_B \left[ (s^+ \tilde{d} + d^+ s) + \chi (d^+ \tilde{d})^{(2)} \right] = e_B \hat{Q} \quad (2.8)$$

Bu operatörde iki değişken vardır. Bu değişim  $\Delta n = 0, \pm 1$  değişimidir. Operatör U(5) simetrisinin üreticisi olarak seçilmesi durumunda  $\Delta n_d = 0$  terimi alınır. Bu durum, vibrasyonel çekirdekler için beklenen ve gözlenenin tersi olduğunu göstermiştir.



Bunun sonucunda U(5) limitinde E2 operatörünün ikinci teriminde,  $\Delta n = \pm 1$  olan durum kullanılmaktadır [20].

## 2.5. SU(3) Dinamik Simetrisi (Rotasyonel Limit)

Deforme nükleer yapıyı tanımlayan bu limit “Deforme Eksensel Rotor” olarak da isimlendirilir. Rotasyonel limit için Hamiltoniyen ifadesi Casimir operatörleri cinsinden [20],

$$U(6) \supset SU(3) \supset O(3) \quad (2.9)$$

$$[N] \quad (\lambda, \mu) K' \quad L$$

$$H_{II} = \frac{3}{4} a_2 C_{2SU3} + \left[ \frac{a_1}{2} - \frac{3a_2}{16} \right] C_{2O3} \quad (2.10)$$

$$E_{II} = \frac{a_2}{2} (\lambda^2 + \mu^2 + \lambda\mu + 3\lambda + 3\mu) + (a_1 - \frac{3}{8} a_2) L(L+1) \quad (2.11)$$

$$H_{II} = a_1 \hat{L}^2 + a_2 \hat{Q}^2 \quad (2.12)$$

şeklinde yazılır. İncelen çekirdek aşağıdaki özellikleri veriyorsa rotasyonel karakterdedir [20].

(i)  $\beta$  ve  $\gamma$  titreşim modları, taban durumundan farklı rotasyonel özelliklere sahiptir ve  $\beta \rightarrow g, \gamma \rightarrow g$  E2 geçişleri tam olarak yasaktır.

(ii)  $\beta$  ve  $\gamma$  dönme bandında eşit spinli düzeyler dejenere olmalıdır.

(iii)  $R_{4/2} = E(4_1^+) / E(2_1^+)$  oranı 3.33 değerine sahiptir.

$$\hat{Q} = (s^+ \tilde{d} + d^+ s) - \frac{\sqrt{7}}{2} (d^+ \tilde{d})^{(2)} \quad \text{denklemin kuadropol operatörünün özel formudur.}$$

Bu form kullanılırsa  $T(E2) = \alpha \hat{Q}$ , SU(3)'ün üreticisi olur. Bu durumda seçim kuralı  $\Delta(\lambda, \mu) = (0, 0)$  dır. Buna göre sadece bant arası geçişler izinli olup  $\beta \rightarrow g, \gamma \rightarrow g$  geçişleri yasaktır.

## 2.6. O(6) Dinamik Simetrisi

“O(6),  $\gamma$ -kararsız rotor” olarak adlandırılan bu dinamik simetri grubunun Hamiltoniyen ifadesi[9],

$$U(6) \supset O(6) \supset O(5) \supset O(3) \quad (2.13)$$

$$[N] \quad \sigma \quad \tau \quad v_\Delta \quad L$$

$$\sigma = N, N-2, \dots, 0 \quad \text{veya } 1 \quad \text{ve} \quad \tau = \sigma, \sigma-1, \dots, 0 \quad (2.14)$$

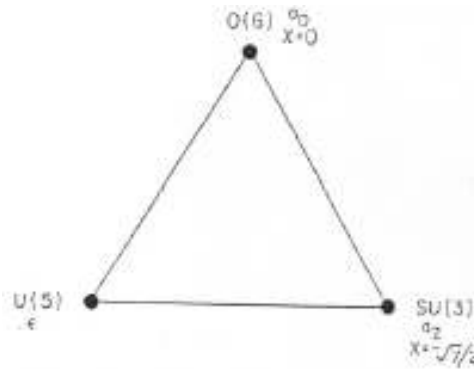
$$H_{III} = \alpha C_{206} + \lambda C_{205} + \delta C_{203} \quad (2.15)$$

$$E_{III} = 2\alpha\sigma(\sigma+4) + 2\gamma\tau(\tau+3) + 2\delta L(L+1) \quad (2.16)$$

$$H_{III} = a_0 \hat{P}^+ \hat{P} + a_1 \hat{L}^2 + a_3 \hat{T}_3^2 \quad (2.17)$$

Bu yapının özelliklerini gösteren çekirdeklerde  $R_{4/2} = E(4_1^+) / E(2_1^+)$  oranı 2.5 değerine sahiptir [22].

Denklem (2.8)'de O(6) üreticisi olarak tanımlı kuadrupol operatör ifadesi,  $\hat{Q} = e_B(s^+ \tilde{d} + d^+ s)$  eşitliğini içerir. Bu da bizi  $\Delta\sigma = 0$  seçim kuralına götürür. Verilen bu kuadrupol operatörün  $\Delta n = \pm 1$  özelliğine sahip olduğu ve  $\tau$  değerine sahip durumları bağlamadığı bilinmektedir. Böylece  $\Delta\tau = \pm 1$  ile tanımlı ikinci bir seçim kuralı ortaya çıkmaktadır.



**Şekil 2.1.** Etkileşen bozon Modelinin tanımlandığı U(5)-O(6)-SU(3) dinamik simetrilerini gösteren Casten üçgeni [20].

Yukarıda anlatılan yaklaşımları daha anlaşılır hale getirmek üzere R. F. Casten tarafından tanımlanan ve Casten üçgeni olarak adlandırılan pedagojik bir IBM üçgeni

geliştirilmiştir. Nükleer yapıyı grup olarak tanımlayan U(5), O(6) ve SU(3) dinamik simetrilerini geometrik olarak gösteren Casten üçgeni yukarıdaki şekilde (Şekil 2.1) verilmiştir.

## 2.7. IBM-2 Hamiltoniyeni

IBM-2 modelinin IBM-1 modelinden en önemli farkı proton ve nötronları ayrı ayrı ele almasıdır. IBM-1 modelinde proton ve nötron sayıları, parçacık farkı gözetmeksizin toplam olarak ele alınır. Buna göre en yakın kapalı kabuk dışındaki proton veya nötronlar çiftler halinde yani bozon olarak ele alınır. IBM-2 model için Hamiltoniyen ifadesi [23].

$$H = \varepsilon_{\nu} n_{d\nu} + \varepsilon_{\pi} n_{d\pi} + \kappa Q_{\pi} Q_{\nu} + V_{\pi\pi} + V_{\nu\nu} + M_{\pi\nu} \quad (2.18)$$

şeklinde yazılır. Burada  $n_{d\rho}$  proton (nötron) d-bozon operatörüdür. İlk iki terim çiftlenim etkileşmesi olduğunu gösterir.  $\kappa$ ; Proton bozon sayısına bağlı bir parametredir. Üçüncü terim protonlar ve nötronlar arasındaki etkileşimin kuadrupol karakterini vurgular. Dördüncü terim proton-proton etkileşimini temsil eder. Beşinci terim nötron-nötron bozonları arasındaki etkileşimi temsil eder. Son terim ise Majorana kuvveti olarak bilinir. Bu kuvvet proton-nötron simetrisi ile karışmış durumları, tamamen simetrik olan durumlara kaydırır.

$$n_{d\rho} = d^{\dagger} \tilde{d}, \rho = \pi, \nu$$

$$\tilde{d}_{\rho m} = (-1)^m d_{\rho, -m} \quad (2.19)$$

$$Q_{\rho} = (s_{\rho}^{\dagger} \tilde{d}_{\rho} + d_{\rho}^{\dagger} s_{\rho})^{(2)} + \chi_{\rho} (d_{\rho}^{\dagger} \tilde{d}_{\rho})^{(2)}$$

$$V_{\rho\rho} = \sum_{L=0,2,4} C_{L\rho} ((d_{\rho}^{\dagger} d_{\rho}^{\dagger})^{(L)} \cdot (d_{\rho}^{\dagger} \tilde{d}_{\rho})^{(L)})^{(0)} \quad ; \rho = \pi, \nu \quad (2.20)$$

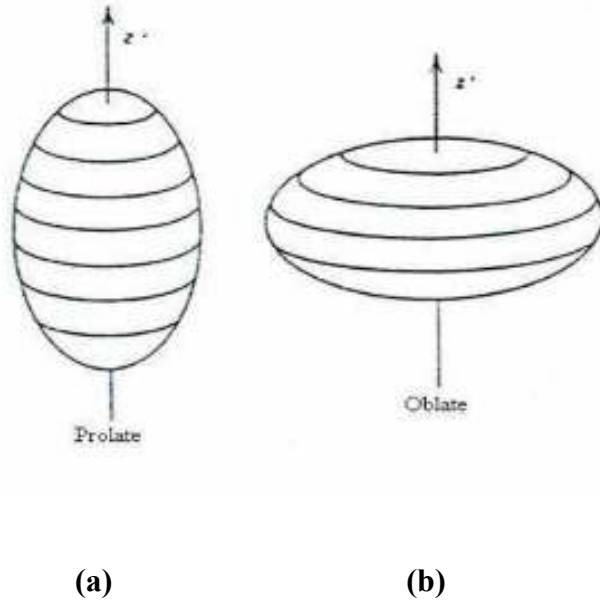
Burada  $s_{\rho}^{\dagger}$ ,  $d_{\rho m}^{\dagger}$  and  $s_{\rho}$ ,  $d_{\rho m}$  s ve d-bozon yaratma ve yok etme operatörleridir.

## 2.8. Kuadrupol Moment

Elektrik kuadrupol moment çekirdek deformasyonunu test etmede önemli bir nicelik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu büyüklük çekirdeğin şekil ve boyutları hakkında bilgi verir. Eğer kuadrupol moment sıfırdan büyükse çekirdek prolate deformasyona,

sıfırdan küçük ise oblate deforme şekle sahiptir. Nükleer yapıyı tanımlayan ve deforme yapı hakkında bilgi veren bu nicelikler Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Kuadrupol moment değeri sıfır olması demek çekirdeğin küresel simetrik bir yapısı olduğu anlamına gelmektedir.

Nükleer IBM modelinin en önemli özelliklerinden birisi de çekirdeğin enerjisinin yanında elektromanyetik özellikleri hakkında da bilgi vermesidir. Elektromanyetik özelliklerden elektrik kuadrupol geçişler, E2 ayrı bir öneme sahiptir. B(E2) geçiş olasılıkları hesaplanırken E2 operatörü kullanılır. Bu operatörün hesaplanabilmesi için ikinci dereceden hermitsel bir tensörün var olması gerekir. Çünkü bozon sayısı korunmalıdır. Bu kısıtlamalar sonucunda E2 operatörü şu şekilde yazılır [24] ,



**Şekil 2.2** Nükleer Yapıda deformasyonu tanımlayan (a) prolate ve (b) oblate durumlar.

$$T(E2) = e_{\pi} Q_{\pi}^z + e_{\nu} Q_{\nu}^z \quad (2.21)$$

$$Q_{\rho}^z = e_{\rho} (d_{\rho}^{\dagger} x s_{\rho} + s_{\rho}^{\dagger} x \tilde{d}_{\rho})^{(2)} + \chi_{\rho} (d_{\rho}^{\dagger} x \tilde{d}_{\rho})^{(2)} \quad (2.22)$$

Burada  $\rho$  proton veya nötron bozonlarına karşılık gelmektedir. Ayrıca  $\chi_{\rho}$  parametresi kuadrupol operatörün yapısını belirleyen bir katsayıdır.  $Q_{\rho}$ ,  $Q_{\pi}$  ve  $Q_{\nu}$

kuadrupol operatörleri olup,  $e_\pi$  ve  $e_\nu$ ; proton ve nötron bozonları için etkin yüklerdir. E2 geçişleri için B(E2) geçişi şu şekilde yazılabilir,

$$B(E2; I_i \rightarrow I_f) = \frac{[\langle I_f || T(E2) || I_i \rangle]^2}{2I_i + 1} \quad (2.23)$$

$2_1^+$  durumu için kuadrupol moment değeri aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$Q(2_1^+) = \langle L, M = 2 | \hat{Q} | L, M = 2 \rangle \quad (2.24)$$

Burada Q kuadrupol operatörüdür.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Giriş

IBM-1 modeli çekirdeklerin uyarılmış enerji düzeylerini hesaplamakta oldukça başarılıdır. Bu modelde hesaplanan  $R_{4/2} = E(4_1^+)/E(2_1^+)$  oranı çekirdeğin dinamik simetrisi ve hangi karakterde olduğu hakkında bilgi vermektedir. Bu oranın aldığı değere göre çekirdeğin hangi karakterde olduğu anlaşılmaktadır. Bu oran 2.0 ise küresel titretili, 2.5 ise  $\gamma$ -soft rotor ve 3.3 ise ideal simetrik rotor özelliğine sahiptir [22].

IBM-1 modeli düşük enerjili nükleer kolektif hareketin anlatılmasında oldukça başarılı olmuştur [11,12,16-18]. IBM-1 modeli ile uyarılma enerji düzeyleri hesaplanarak kuadrupol moment değerleri bulunabilir. Kuadrupol moment değerlerinin değişmesi çekirdeğin küresel simetri özelliğinden uzaklaştığının anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Kuadrupol momentin sıfırdan büyük olması durumunda çekirdek kavun biçiminde (prolate), sıfırdan küçük olması durumunda çekirdek topaç biçiminde (oblate) olur. Kuadrupol momentin sıfır olması durumunda çekirdek küresel simetri özelliğine sahiptir.

Bu çalışmada izotoplarının enerji seviyeleri, seviyelerden geçiş olasılıkları ve geçişlerde elektrik kuadrupol değerleri hesaplandı. Bu hesaplanan değerler ile çekirdeğin IBM üçgenin neresinde bulunduğu, elektrik kuadrupol değerine bakarak çekirdeğin hangi karakterde olduğu hakkında tahminler yapıldı. Elektrik kuadrupol değerleri IBM-1, IBM-2 modelleri ile PHINT [17] paket programı kullanılarak hesaplandı. Bu iki değer deneysel sonuçlar ve Ru (Z = 44) değerleri ile karşılaştırıldı.

#### 3.2. Bazı Çift-Çift Mo İzotoplarının İncelenmesi ( $^{94-108}\text{Mo}$ )

Stachel ve arkadaşlarının çalışmalarına göre [25] A~100 kütle bölgesi civarında yer alan Mo, Ru gibi çekirdek izotoplarının nükleer yapısal şekli SU(5) dinamik

simetrisinin özelliklerini taşır. Bu limite yakın olan çekirdekte  $R_{4/2}$  oranı 2.0 değerine yakın olmaktadır [22].

Bu çalışmada çift-çift  $^{94-108}\text{Mo}$  çekirdeğinin  $R_{4/2}$  oranları IBM-1 ve IBM-2 modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. IBM-2 modelinde proton ve nötron bozonları ayrı ayrı dikkate alınmakta ve bu sayı en yakın kapalı kabuğa göre elde edilmektedir.

Mo çekirdeğinin proton sayısı 42 olduğundan, proton bozon sayısı  $N_{\pi} = \frac{50-42}{2} = 4$

olur. Nötron bozon sayıları da yine aynı yöntemle bulunur. Kullanılan IBM-1 ve IBM-2 parametreleri ile birlikte proton ve nötron bozon sayıları aşağıda Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmiştir.

**Tablo 3.1.**  $^{94-108}\text{Mo}$  İzotopları IBM-1 Modeli İçin Hamiltoniyen Hesaplanırken Kullanılan Parametrelerin Uyarlanmış En İyi Değerleri.

$\begin{smallmatrix} A \\ Z \end{smallmatrix} X$	N	EPS	ELL	QQ	CHQ	OCT	HEX
$^{94}\text{Mo}$	5	0.7550	-0.0020	0.020	-0.010	0.0030	0.0059
$^{96}\text{Mo}$	6	0.9640	0.0018	-0.032	-0.838	-0.0010	-0.0097
$^{98}\text{Mo}$	7	0.7500	0.0015	-0.020	-0.015	0.0030	0.0048
$^{100}\text{Mo}$	8	0.5650	0.0020	-0.020	-0.012	0.0030	0.0048
$^{102}\text{Mo}$	9	0.3380	0.0015	-0.020	-0.015	0.0030	0.0070
$^{104}\text{Mo}$	10	0.2190	0.0050	-0.020	-0.015	0.0040	0.0070
$^{106}\text{Mo}$	11	0.5080	0.0045	-0.030	-1.100	-0.0007	-0.0070
$^{108}\text{Mo}$	11	0.5080	0.0045	-0.030	-1.100	-0.0007	-0.0070

Molibden izotoplarının pozitif pariteli enerji düzeyleri hesaplanırken IBM-1 ve IBM-2 model Hamiltonyenleri ayrı ayrı kullanıldı. Enerjiler elde edilirken, tablolardaki (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2) parametreler kullanıldı.  $^{94-108}\text{Mo}$  izotoplarının proton bozon sayıları sabit olup  $N_{\pi} = 4$  iken, nötron bozon sayısı  $N_{\nu} = 1$ ’den  $N_{\nu} = 8$ ’e kadar değişir.

Bu tablolardaki IBM-1 ve IBM-2 parametre değerleri, sırasıyla bir parametre değişirken diğerleri sabit tutmak suretiyle bazı deneysel enerji değerlerini elde

edecek şekilde fit ederek tahmin edilmektedir. Bu işlem, bütün fitler gerçekleşinceye kadar iterasyon yapılarak uygulanır. Bu çalışmada fit edilerek oluşturulan orijinal

**Tablo 3.2.**  $^{94-108}\text{Mo}$  İzotopları IBM-2 Modeli İçin Hamiltoniyen Hesaplanırken Kullanılan Parametrelerin Uyarlanmış En İyi Değerleri.

$^A_Z X_N$	$N_\pi$	$N_\nu$	$N$	$\varepsilon$	$\kappa$	$\chi_\nu$	$\chi_\pi$	$C_{L\nu}(L=0,2,4)$	$C_{L\pi}(L=0,2,4)$
$^{94}\text{Mo}$	4	1	5	0.99	-0.080	-1.20	0.60	0.00, 0.00, 0.00	0.00, 0.00, -0.40
$^{96}\text{Mo}$	4	2	6	0.98	-0.080	-1.00	-0.10	0.00, 0.00, 0.00	-0.25, 0.00, 0.00
$^{98}\text{Mo}$	4	3	7	1.00	-0.080	-0.80	0.60	0.00, 0.00, 0.00	0.00, -0.04, 0.00
$^{100}\text{Mo}$	4	4	8	0.86	-0.090	-0.60	0.60	0.00, 0.00, -0.15	0.00, -0.10, 0.00
$^{102}\text{Mo}$	4	5	9	0.62	-0.095	-0.40	0.60	0.00, 0.00, 0.07	0.00, 0.00, 0.00
$^{104}\text{Mo}$	4	6	10	0.50	-0.100	-0.50	0.30	0.00, -0.10, 0.10	0.00, 0.00, 0.00
$^{106}\text{Mo}$	4	7	11	0.50	-0.150	-0.30	0.30	0.40, 0.00, 0.00	0.00, 0.00, 0.00
$^{108}\text{Mo}$	4	7	11	0.50	-0.150	-0.30	0.30	0.40, 0.00, 0.00	0.00, 0.00, 0.00

parametre değerleri PHINT[17] kod programı kullanılarak elde edilmiştir. Bu parametrelerden  $\varepsilon$  değerinin diğer parametrelere göre daha baskın ve büyük olması SU(5) çekirdek spektrumunun özelliklerini temsil eder. SU(5)'in yapısal özellikleri vibrasyonel yani küresel tipte çekirdeğin yapısını öne çıkarır[25]. öte yandan K parametresinin değeri ön plana çıkıyorsa, bu durum O(6) tipte çekirdeklerin yapısal özelliklerini karakterize eder. O(6) dinamik simetri özelliği, ne tam küresel ne de tam deforme yani gama kararsız olarak bilinen çekirdek tipinin nükleer yapısal özelliklerini vurgular. Bu parametrelerden  $\chi_\nu + \chi_\pi = 0$  eşitliğine yaklaşan özellikleri gösterir[26]. Tablodan da açıkça görüldüğü gibi  $\chi_\nu$  ve  $\chi_\pi$  parametre değerlerinin toplamı sıfıra civarında bir değere yaklaşmaktadır. Bu durum O(6) dinamik simetri yapısının bir özelliğidir. Ayrıca  $\varepsilon$  parametresinin büyük değerlerden küçük değerlere doğru azalması U(5) küresel simetrik yapıdan sapma olduğunun açık bir göstergesidir. Bunun yanında, nötron sayısı  $N = 52$ 'den  $N = 66$ 'ya doğru gittikçe  $\kappa$



parametre değeri artmaktadır. O halde çekirdeğin U(5) yapıdan O(6) yapıya meylettiği düşüncesi doğru bir yaklaşımdır.

### 3.2.1. Enerji Spektrumu

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'deki parametre değerleri kullanılarak çift-çift molibden çekirdeklerinin  $N = 52$  den  $N = 66$  'ya kadar olan izotoplarının enerji düzeyleri hesaplandı. Hesaplanan bu enerji değerleri daha önce elde edilmiş deneysel sonuçlarla aşağıdaki tabloda (Tablo 3.3) karşılaştırılmıştır.

**Tablo 3.3.**  $^{94-108}\text{Mo}$  İzotopları için IBM-1, IBM-2 Modelleriyle Hesaplanan Enerji Düzeylerinin Deneysel Bulgularla Karşılaştırılması.

İzotop	Spin Parite ( $I^\pi$ )	Bu Çalışma (MeV)		Deneysel [18]
		IBM-1	IBM-2	
$^{94}_{42}\text{Mo}_{52}$	$2_1^+$	0.86	0.87	0.87
	$4_1^+$	1.69	1.57	1.57
	$5_1^+$	3.39	3.16	-
	$6_1^+$	2.47	2.11	2.42
	$7_1^+$	4.13	3.55	-
	$8_1^+$	3.20	2.47	2.96
	$10_1^+$	3.89	2.66	3.90
	$2_2^+$	1.75	1.80	1.86
	$3_1^+$	2.60	2.60	-
	$4_2^+$	2.57	2.47	-
	$0_2^+$	1.78	1.84	-
	$2_3^+$	2.62	2.62	2.07
	$4_3^+$	3.42	3.21	-
$^{96}_{42}\text{Mo}_{54}$	$2_1^+$	0.78	0.77	0.78
	$4_1^+$	1.63	1.63	1.63
	$5_1^+$	3.36	3.65	2.44
	$6_1^+$	2.56	2.59	2.44
	$7_1^+$	4.36	4.77	2.88
	$8_1^+$	3.55	3.63	2.98
	$10_1^+$	4.61	4.75	3.79

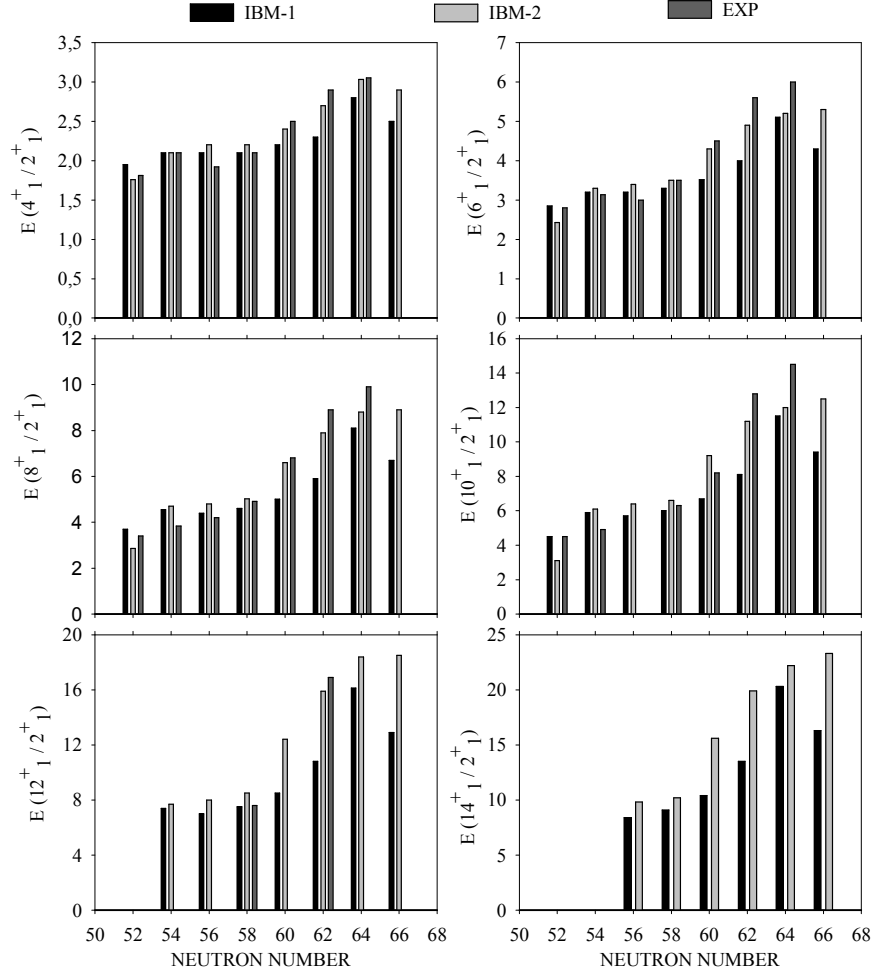
İzotop	Spin Parite ( $I^\pi$ )	Bu Çalışma (MeV)		Deney [18]
		IBM-1	IBM-2	
	$12_1^+$	5.73	5.95	-
	$2_2^+$	1.57	1.66	1.50
	$3_1^+$	2.42	2.61	1.98
	$4_2^+$	2.46	2.61	1.87
	$0_2^+$	1.48	1.57	1.15
	$2_3^+$	2.30	2.50	1.63
	$4_3^+$	3.18	3.49	2.22
$^{98}_{42}\text{Mo}_{56}$	$2_1^+$	0.74	0.74	0.79
	$4_1^+$	1.53	1.59	1.51
	$5_1^+$	3.38	3.52	-
	$6_1^+$	2.38	2.54	2.34
	$7_1^+$	4.35	4.64	-
	$8_1^+$	3.27	3.59	3.27
	$10_1^+$	4.21	4.73	-
	$12_1^+$	5.20	5.95	-
	$14_1^+$	6.24	7.27	-
	$2_2^+$	1.57	1.57	1.43
	$3_1^+$	2.45	2.49	2.10
	$4_2^+$	2.43	2.51	2.22
	$0_2^+$	1.58	1.69	0.73
	$2_3^+$	2.45	2.63	1.76
	$4_3^+$	3.37	3.51	2.57
$^{100}_{42}\text{Mo}_{58}$	$2_1^+$	0.54	0.53	0.54
	$4_1^+$	1.13	1.16	1.14
	$5_1^+$	2.42	2.61	1.98
	$6_1^+$	2.46	2.61	1.87
	$7_1^+$	1.48	1.57	1.15
	$8_1^+$	2.30	2.50	1.63
	$10_1^+$	3.18	3.49	2.22
	$12_1^+$	0.74	0.74	0.79
	$14_1^+$	1.53	1.59	1.51

İzotop	Spin Parite ( $I^\pi$ )	Bu Çalışma (MeV)		Deney [18]
		IBM-1	IBM-2	
	$2_2^+$	3.38	3.52	-
	$3_1^+$	2.38	2.54	2.34
	$4_2^+$	1.83	1.87	1.77
	$0_2^+$	1.18	1.37	0.70
	$2_3^+$	1.85	2.09	1.46
	$4_3^+$	2.58	2.66	2.10
$^{102}_{42}\text{Mo}_{60}$	$2_1^+$	0.32	0.30	0.30
	$4_1^+$	0.69	0.74	0.74
	$5_1^+$	1.72	1.92	-
	$6_1^+$	1.11	1.30	1.33
	$7_1^+$	2.28	2.69	-
	$8_1^+$	1.58	1.99	2.02
	$10_1^+$	2.10	2.78	2.42
	$12_1^+$	2.68	3.76	-
	$14_1^+$	3.29	4.73	-
	$2_2^+$	0.73	0.73	0.85
	$3_1^+$	1.21	1.26	1.25
	$4_2^+$	1.18	1.27	1.40
	$0_2^+$	0.81	1.10	0.70
	$2_3^+$	1.28	1.60	1.25
	$4_3^+$	1.75	1.91	-
	$^{104}_{42}\text{Mo}_{62}$	$2_1^+$	0.21	0.21
	$4_1^+$	0.49	0.58	0.56
	$5_1^+$	1.32	1.48	-
	$6_1^+$	1.83	1.87	1.77
	$7_1^+$	1.18	1.37	0.70
	$8_1^+$	1.85	2.09	1.46
	$10_1^+$	2.58	2.66	2.10
	$12_1^+$	0.32	0.30	0.30
	$14_1^+$	0.69	0.74	0.74
	$2_2^+$	1.72	1.92	-

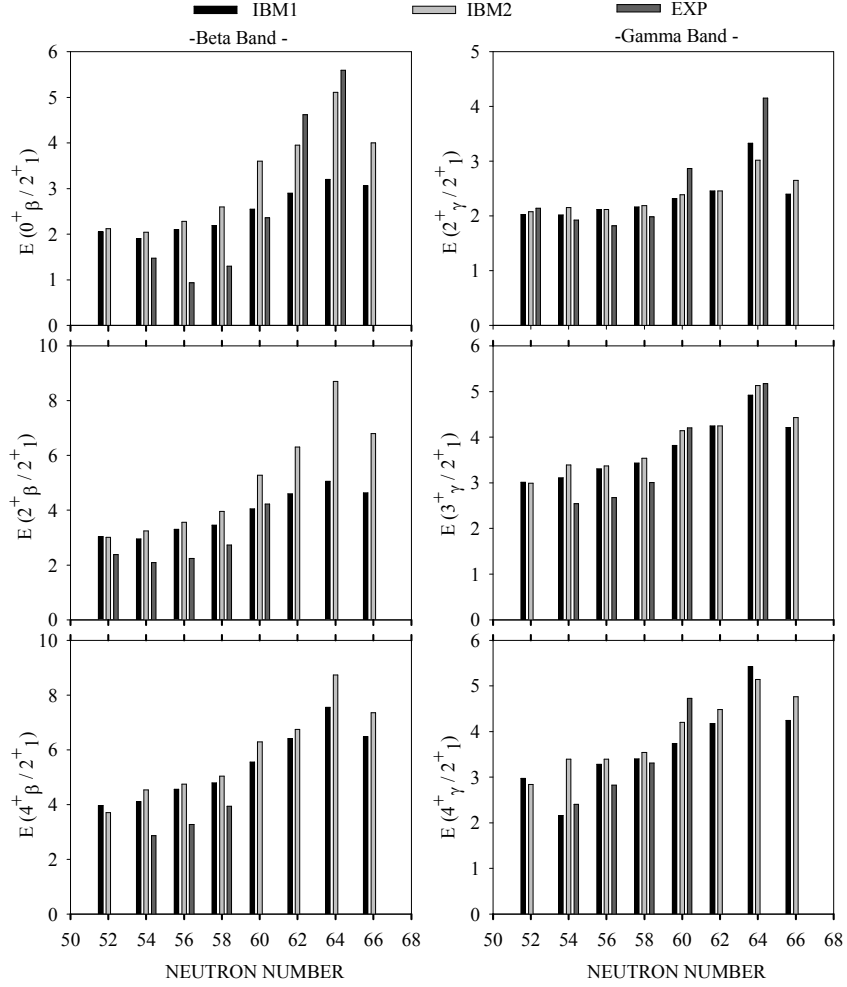
İzotop	Spin Parite ( $I^\pi$ )	Bu Çalışma (MeV)		Deneysel [18]
		IBM-1	IBM-2	
	$3_1^+$	1.11	1.30	1.33
	$4_2^+$	2.28	2.69	-
	$0_2^+$	0.61	0.84	0.89
	$2_3^+$	0.96	1.35	-
	$4_3^+$	1.34	1.44	-
$^{106}_{42}\text{Mo}_{64}$	$2_1^+$	0.18	0.17	0.17
	$4_1^+$	0.49	0.52	0.52
	$5_1^+$	1.36	1.51	-
	$6_1^+$	0.91	0.89	1.03
	$7_1^+$	1.86	2.05	-
	$8_1^+$	1.45	1.52	1.69
	$10_1^+$	2.06	2.06	2.47
	$12_1^+$	2.89	3.16	-
	$14_1^+$	3.64	3.82	-
	$2_2^+$	0.60	0.52	0.71
	$3_1^+$	0.88	0.88	0.89
	$4_2^+$	0.97	0.88	-
	$0_2^+$	0.57	0.88	0.96
	$2_3^+$	0.90	1.50	-
	$4_3^+$	1.35	1.50	-
	$^{108}_{42}\text{Mo}_{66}$	$2_1^+$	0.19	0.19
	$4_1^+$	0.47	0.57	-
	$5_1^+$	1.26	1.48	-
	$6_1^+$	0.84	1.03	-
	$7_1^+$	0.61	0.84	0.89
	$8_1^+$	0.96	1.35	-
	$10_1^+$	1.34	1.44	-
	$2_2^+$	0.18	0.17	0.17
	$3_1^+$	0.49	0.52	0.52
	$4_2^+$	1.36	1.51	-
	$0_2^+$	0.91	0.89	1.03

İzotop	Spin Parite ( $I^\pi$ )	Bu Çalışma (MeV)		Deneysel [18]
		IBM-1	IBM-2	
	$2_3^+$	1.86	2.05	-
	$4_3^+$	1.45	1.52	1.69

Ayrıca Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de görüldüğü gibi hesaplanan enerji düzeyleri deneysel [18] olanlarla uyum içerisindedir. Bu durum, IBM yaklaşımının ve seçilen parametrelerin doğru olduğu görüşünü güçlendirmektedir. Ayrıca henüz literatürde var olmayan bazı enerji düzeyleri de hesaplanarak bu şekillerde gösterilmiştir. Burada  $E_{4/2} = E(4_1^+ / 2_1^+)$  oranı, nükleer yapının özelliklerini belirlemede en iyi kriterlerden olup SU(5) için 2 değerine, O(6) için 2.5 değerine ve SU(3) için ise 3.33 değerine yaklaşmaktadır. Bu sınır değerler baz alınarak burada çalışılan çift-çift Mo çekirdeklerinin nükleer yapı özellikleri tespit edilebilir. Buna göre hafif molibden izotopları için  $E_{4/2}$  değeri 2 civarı iken daha ağır Mo izotopları için bu oran 2.5 ve daha sonrasında 3.0 değerine doğru artmaktadır. Hesaplama sonuçlarına göre bütün Mo izotopları için bu oranın  $E_{4/2} > 2$  olduğunu göstermektedir. Çift-çift Mo (N=52-66) izotoplarının nükleer yapı karakteristiği, Harmonik Vibratör (küresel-U(5)) yapıdan baskın olarak gama-soft rotor (O(6)) yapıya doğru değişmektedir. Böylece  $^{94-108}\text{Mo}$  çekirdeklerinin enerji spektrumu saf vibrasyonel limit olan U(5) yapısı ile daha rotasyonel olan O(6) limit yapısı arasında yer almaktadır. Sonuçta A~100 civarı kütle bölgesindeki geçiş çekirdekleri açık olarak üç eksenli yapıya dayanan bir şekil değişimi göstermektedir. Şekil 3.2 incelendiğinde gama bandı enerji durum değerlerinin beta bandı enerji durumlarına göre deneysel olarak daha iyi bir uyum sergilediği görülmektedir.  $2_1^+, 4_1^+, 6_1^+, 8_1^+, 10_1^+, 12_1^+, 14_1^+$  düzeyleri taban durum bandı (GS band);  $0_2^+, 2_3^+, 4_3^+$  düzeyleri *quasi- $\beta$*  bandı ve  $2_2^+, 3_1^+, 4_2^+$  düzeyleri ise *quasi- $\gamma$*  bandı olarak ifade edilmektedir. *Quasi- $\beta$*  bandı, *quasi- $\gamma$*  ve deneysel verilerin karşılaştırılması şekil 3.2’de verilmiştir. IBM-1 ve IBM-2 ile hesaplanan sonuçlarla deneysel verilerin genel bir uyum içinde olduğu görülmekle birlikte nötron sayısı 58, 60, 62, 64, 66 olan izotoplar için tam bir uyum gözükmemektedir. Bunun nedeninin kapalı kabuklar dışındaki nötron sayısı arttıkça Hamiltonian denkleminde yeni düzenlemeler yapılması gereği olabileceği düşünülmektedir.



**Şekil 3.1.**  $^{94-108}\text{Mo}$  İzotopları için hesaplanan IBM-1 ve IBM-2 Modeli Enerji düzeyleri,  $E(\pi^+)/E(2^+)$  oranlarının deneysel [18] bulgularla karşılaştırılması.



**Şekil 3.2.**  $^{94-108}\text{Mo}$  İzotopları için hesaplanan IBM-1 ve IBM-2 Modeli *quasi* –  $\beta$  bandı,  $E(\pi_{\beta}^+)/E(2_1^+)$  ile *quasi* –  $\gamma$  bandı,  $E(\pi_{\gamma}^+)/E(2_1^+)$  oranlarının deneysel [18] oranlarla karşılaştırılması.

### 3.2.2. B(E2) Değerleri

Çekirdeğin yapısının anlaşılması için kullanılan diğer bir kriter de elektrik kuadrupol geçiş olasılıklarının yani B(E2) değerlerinin hesaplanmasıdır.  $^{94-108}\text{Mo}$  izotopları için B(E2) değerleri PHINT PCIBADEM paket programı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamada kullanılan E2SD ve E2DD bozon etkin yük parametreleri Tablo 3.4’te verilmiştir. Bu değerler iterasyon yapılarak bulunan değerlerdir. Etkin yük değerleri kullanılarak B(E2) geçiş olasılıkları, IBM-1 ve IBM-2 ile hesaplandı. Bu değerler ile deneysel sonuçların karşılaştırılması Tablo 3.5 ve Şekil 3.3’ de verilmiştir. Elektromanyetik geçişlerle ilgili veriler, nükleer model dalga fonksiyonlarının geçerliliğini de test etme imkanı sağlar. Burada, çift-çift  $^{94-108}\text{Mo}$  izotoplarının

$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ ,  $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ ,  $2_2^+ \rightarrow 2_1^+$ ,  $3_1^+ \rightarrow 4_1^+$ ,  $4_2^+ \rightarrow 4_1^+$ , ve  $4_2^+ \rightarrow 2_2^+$  geçişleri için B(E2) değerleri hesaplanarak IBM yaklaşımının tutarlılığı incelenmiştir. Elde edilen B(E2;  $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ ), B(E2;  $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ ), B(E2;  $2_2^+ \rightarrow 2_1^+$ ), B(E2;  $3_1^+ \rightarrow 4_1^+$ ), B(E2;  $4_2^+ \rightarrow 4_1^+$ ) ve B(E2;  $4_2^+ \rightarrow 2_2^+$ ) değerleri, Şekil 3.3’de de görüldüğü gibi deneysel verilerle iyi bir uyum sergilemektedir. Burada nötron sayısı arttıkça bütün geçişlere ait B(E2) değerleri düzgün olarak artmakta olup bazı B(E2) değerleri literatürde olmayıp da ilk defa bu çalışmada elde edilen orijinal verilerdir.

**Tablo 3.4.**  $^{94-108}\text{Mo}$  İzotopları için B(E2) Değerlerini hesaplamak üzere belirlenip kullanılan IBM-1, IBM-2 Modelleri E2SD ve E2DD parametre değerleri.

${}^A_Z\text{X}$	$e_p$ ( $\rho=\pi, \nu$ ) Effective Boson Numbers			
	$e_\pi$ (E2SD)		$e_\nu$ (E2DD)	
	IBM-1	IBM-2	IBM-1	IBM-2
${}^{94}_{42}\text{Mo}_{52}$	2.2	2.0	2.0	1.0
${}^{96}_{42}\text{Mo}_{54}$	2.0	1.9	1.0	1.0
${}^{98}_{42}\text{Mo}_{56}$	1.9	1.7	1.0	1.0
${}^{100}_{42}\text{Mo}_{58}$	2.3	2.0	1.0	1.0
${}^{102}_{42}\text{Mo}_{60}$	2.7	2.3	1.0	1.0
${}^{104}_{42}\text{Mo}_{62}$	2.8	2.4	1.0	1.0
${}^{106}_{42}\text{Mo}_{64}$	2.3	2.1	1.0	1.0
${}^{108}_{42}\text{Mo}_{66}$	2.7	2.4	1.0	1.0

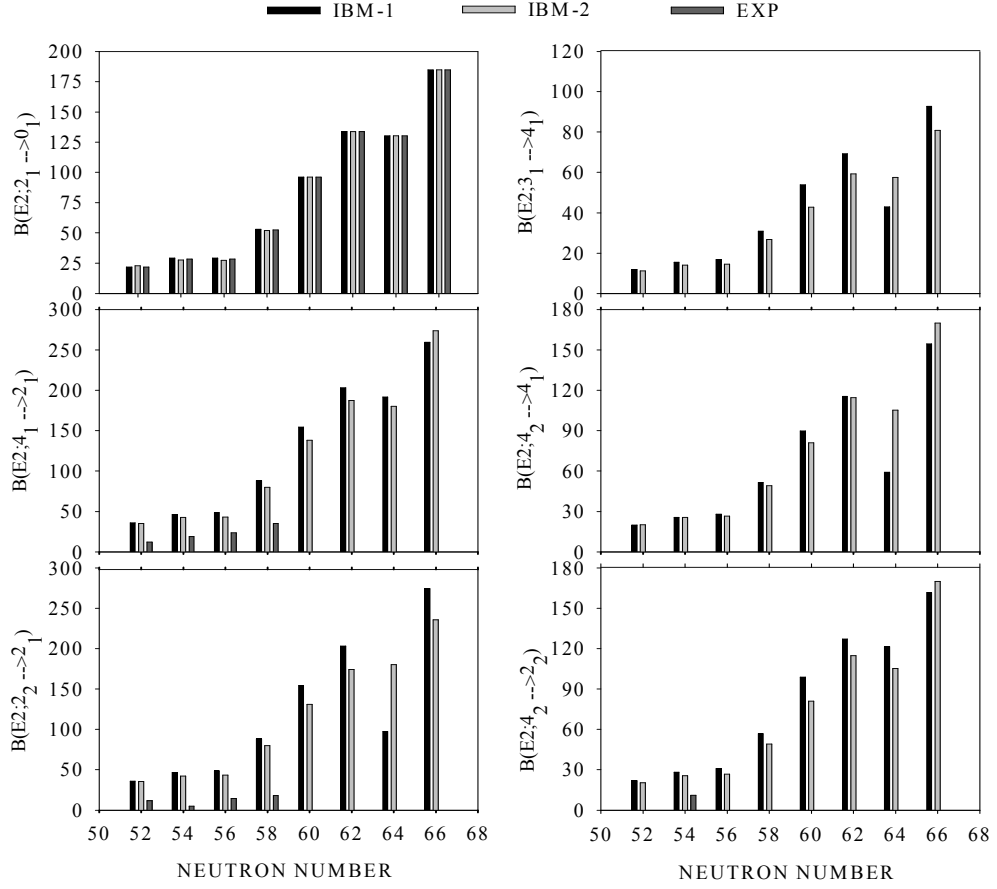


**Tablo 3.5**  $^{94-108}\text{Mo}$  İzotoplarında Bazı Geçişler İçin Hesaplanan B(E2) Değerlerinin Deneysel Sonuçlar İle Karşılaştırılması.

İzotop	$I_i^+ \rightarrow I_f^+$	B(E2) ( $e^2b^2$ )		
		IBM-1	IBM-2	Deney [27-29]
$^{94}_{42}\text{Mo}_{52}$	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	22.04	22.78	21.8±1.1
	$0_1^+ \rightarrow 2_1^+$	110.21	113.88	-
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	36.05	35.29	12.0±1.8
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	41.49	38.35	-
	$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	37.77	32.84	-
	$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	8.03	5.93	-
	$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	0.00	0.04	0.32±0.07
	$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	0.64	0.03	-
	$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	36.04	35.54	11.6±2.6
	$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	24.20	19.70	-
$^{96}_{42}\text{Mo}_{54}$	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	29.26	27.45	28.4±1.4
	$0_1^+ \rightarrow 2_1^+$	146.31	137.23	-
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	46.37	42.56	18.9±3.6
	$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	7.19	5.92	-
	$0_2^+ \rightarrow 2_1^+$	35.96	137.23	2.70±0.35
	$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	0.13	0.34	1.56±0.19
	$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	0.00	0.08	-
	$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	46.62	42.34	4.8±0.8
	$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	28.05	25.57	11.0±3.3
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	53.09	47.97	-
	$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	50.82	45.47	-
	$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	40.65	36.17	-
	$12_1^+ \rightarrow 8_1^+$	0.00	0.00	-

İzotop	$I_i^+ \rightarrow I_f^+$	B(E2) ( $e^2b^2$ )		
		IBM-1	IBM-2	Deney [27-29]
$^{98}_{42}\text{Mo}_{56}$	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	29.27	27.36	28.6±0.9
	$0_1^+ \rightarrow 2_1^+$	146.35	136.78	-
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	48.45	43.16	23.6±2.4
	$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	8.25	5.74	-
	$0_2^+ \rightarrow 2_1^+$	41.27	28.72	-
	$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	0.00	0.05	1.29±0.11
	$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	0.16	0.05	-
	$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	48.46	43.40	14.3±2.5
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	58.81	50.61	-
	$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	61.17	51.27	-
	$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	56.12	46.05	-
	$12_1^+ \rightarrow 8_1^+$	0.00	0.00	-
$^{100}_{42}\text{Mo}_{58}$	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	53.09	51.98	52.6±2.6
	$0_1^+ \rightarrow 2_1^+$	265.43	259.92	-
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	88.00	79.91	35.1±3.0
	$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	13.81	7.96	-
	$0_2^+ \rightarrow 2_1^+$	69.03	39.81	3.8±0.6
	$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	0.01	0.04	1.13±0.08
	$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	0.15	0.15	-
	$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	88.01	79.91	17.8±2.1
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	108.39	93.53	-
	$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	116.29	96.60	-
$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	112.91	90.89	-	
$^{102}_{42}\text{Mo}_{60}$	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	29.27	27.36	96.3
	$0_1^+ \rightarrow 2_1^+$	146.35	136.78	-
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	48.45	43.16	-
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	8.25	5.74	-
	$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	41.27	28.72	-
	$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	0.00	0.05	-
	$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	0.16	0.05	-
	$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	48.46	43.40	-
$^{104}_{42}\text{Mo}_{62}$	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	58.81	50.61	133.7
	$0_1^+ \rightarrow 2_1^+$	61.17	51.27	-
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	56.12	46.05	-

İzotop	$I_i^+ \rightarrow I_f^+$	<b>B(E2) (<math>e^2b^2</math>)</b>		
		<b>IBM-1</b>	<b>IBM-2</b>	<b>Deney [27-29]</b>
	$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	16.29	0.35	-
	$0_2^+ \rightarrow 2_1^+$	81.46	1.73	-
	$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	0.06	3.43	-
	$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	0.12	41.30	-
	$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	203.31	174.26	-
	$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	127.18	114.67	-
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	242.72	209.71	-
	$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	261.90	215.02	-
$^{106}_{42}Mo_{64}$	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	130.26	130.31	130.30
	$0_1^+ \rightarrow 2_1^+$	651.28	651.56	-
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	191.68	180.26	-
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	215.05	200.96	-
	$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	220.64	160.92	-
	$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	6.93	0.08	-
	$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	12.95	0.27	-
	$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	17.59	40.19	-
	$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	97.05	180.26	-
	$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	210.32	197.55	-
$^{108}_{42}Mo_{66}$	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	184.70	184.70	184.69
	$0_1^+ \rightarrow 2_1^+$	923.49	923.50	
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	259.54	274.01	
	$2_1^+ \rightarrow 0_2^+$	0.32	14.94	
	$0_2^+ \rightarrow 2_1^+$	1.61	74.69	
	$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	16.29	0.35	
	$2_2^+ \rightarrow 0_2^+$	81.46	1.73	
	$4_2^+ \rightarrow 2_2^+$	0.06	3.43	
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	0.12	41.30	
	$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$	203.31	174.26	
	$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$	127.18	114.67	

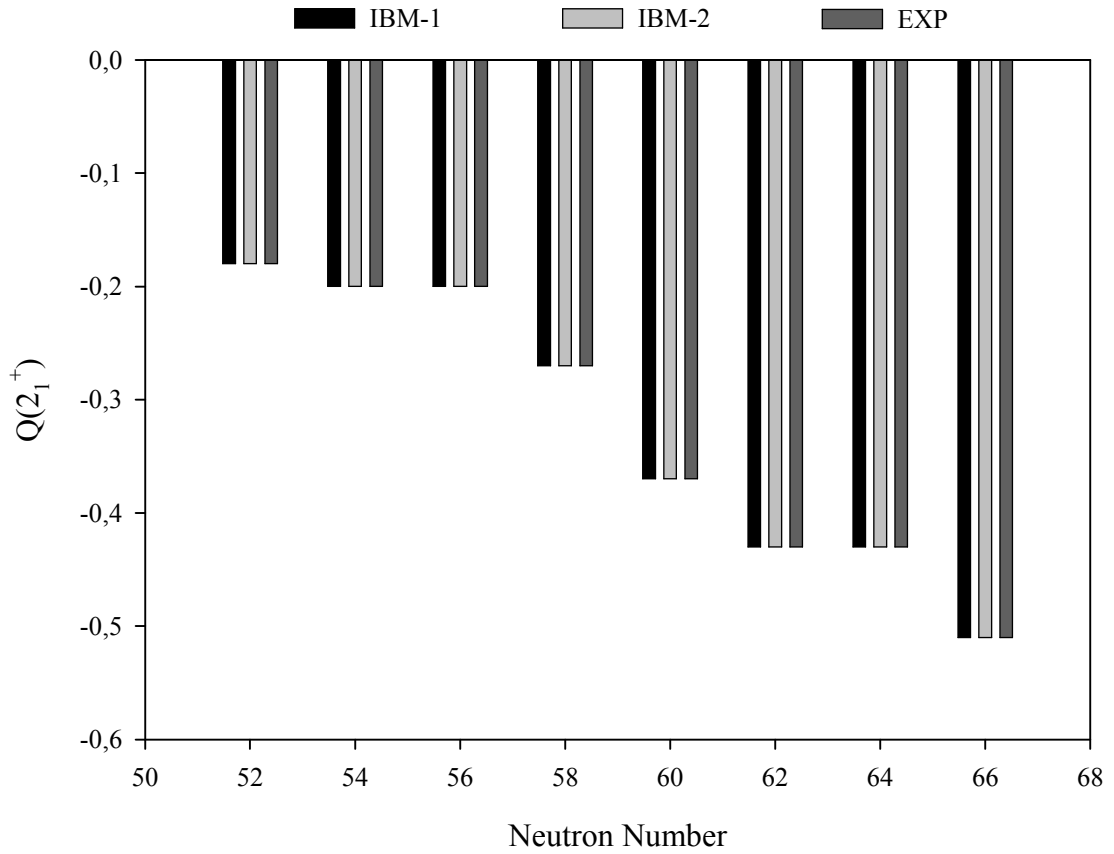


**Şekil 3.3**  $^{94-108}\text{Mo}$  İzotopları İçin IBM-1 ve IBM-2 Modelleriyle Hesaplanan B(E2) Değerlerinin Deneysel [27-29] Verilerle Karşılaştırılması.

### 3.2.3. Kuadrupol Moment

Kuadrupol momentler, nükleer şekildeki değişmeyi anlayabilmek için en önemli gözlenebilir niceliklerden biridir[1]. Elektrik kuadrupol moment çekirdeğin küresel simetriden nasıl uzaklaştığını açıklamaktadır. Bu büyüklüğün sıfırdan farklı olması küresel simetriğinin bozulduğunun göstergesidir. Çünkü çiftlenim kuvveti çekirdeği bir arada tutmaya çalışan bir kuvvet iken kuadrupol kuvvetler, çekirdeği deforme etme eğiliminde olan etkiyi oluşturur. Bu nedenle bu nicelik, genel IBM kuadrupol operatörü kullanılarak burada çalışılan çift-çift Mo izotopları için hesaplanmış ve bu hesaplama sonuçları  $38 \leq Z \leq 48$  için verilen nükleer kuadrupol deformasyon tablolarından[27,29,30] elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. İlk  $2^+$  düzeyinin kuadrupol momentlerinin hesaplanarak literatürdeki deneysel verilerle

karşılaştırılması, IBM modelinin bu çalışmada kullanılmasının uygunluğunu test için diğer bir yoldur. Şekil 3.4’ te çift-çift  $^{94-108}\text{Mo}$  çekirdekleri için IBM-1 ve IBM-2’de hesaplanan  $Q(2_1^+)$  değerlerinin deneysel verilerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırması yapılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi hesaplanan  $Q(2_1^+)$  değerleri deneysel sonuçlarla mükemmel bir uyum sergilemektedir. Buna göre, hesaplamalarda kullanılan IBM modeli yönteminin çift-çift  $^{94-108}\text{Mo}$  izotopları için çok uygun bir yöntem olduğu ortaya çıkmaktadır. Elektrik kuadrupol moment değerleri her iki model içinde sıfırdan küçüktür. Buda çekirdeğin şeklinin küresel simetri özeliğinden uzaklaştığının bir göstergesidir. Bu değerlerin sıfırdan küçük olması, çekirdeğin oblate bir yapıya meylettiğini göstermektedir.



**Şekil 3.4.**  $^{94-108}\text{Mo}$  İzotopları için IBM-1 ve IBM-2 Modelleriyle Hesaplanan  $Q(2_1^+)$  Değerlerinin Deneysel Sonuçlar İle Karşılaştırılması. [27-29]

Ayrıca  $^{94-108}\text{Mo}$  izotoplarının yukarıda verilen  $2^+$  düzeyine karşılık gelen (IBM-1 ve IBM-2 modelleriyle) hesaplanmış elektrik kuadrupol momentler, komşu Ru ( $Z = 44$ ) çekirdek izotoplarınıninkilerle Tablo 3.6' da karşılaştırılmıştır.

**Tablo 3.6**  $^{94-108}\text{Mo}$  İzotopları için IBM-1 ve IBM-2 Modelleriyle Hesaplanan  $Q(2^+)$  Değerlerinin Deneysel Sonuçlar [27-29] ve Ru ( $Z=44$ ) izotopları ile karşılaştırılması. [31]

N	$Q(2^+)$			
	Mo ( $Z=42$ )			Ru ( $Z=44$ ) <sup>*</sup>
	IBM 1	IBM 2	Deney	
52	-0.18	-0.18	-0.18	-0.15
54	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20
56	-0.20	-0.20	-0.20	-0.40
58	-0.27	-0.27	-0.27	-0.57
60	-0.37	-0.37	-0.37	-0.76
62	-0.43	-0.43	-0.43	-
64	-0.43	-0.43	-0.43	-
66	-0.51	-0.51	-0.51	-

## 4. SONUÇLAR

### 4.1. $^{94}_{42}\text{Mo}_{52}$ İzotopu İçin Sonuçlar

$^{94}\text{Mo}$  izotopu için IBM-1 ve IBM-2 modelleriyle hesaplanan enerji düzeylerinin deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Bu izotopun hangi limite yakın olduğu ise  $R_{4/2} = E(4_1^+) / E(2_1^+)$  oranına bakılarak anlaşılabilir. Bu oran IBM-1 ve IBM-2 modelinde hesaplanan sonuçlara göre sırasıyla 1.95 ve 1.81 dir. Deneysel sonuç ise 1.81 olduğundan her iki modelin sonucu da deneysel sonuçla yakın değerlerdedir. Bu duruma bakılarak çekirdeğin bu izotopu için küresel simetriyi tanımlayan U(5) dinamik simetrisine yani küresel titreşiciye yakın olduğu sonucu çıkarılabilir. Elektrik kuadrupol moment değeri sıfırdan küçük olduğu için izotopun şekli oblate yani topaç biçimindedir. Deneysel sonuçlarla elde edilen değer son derece iyi bir uyum sergilemektedir.

### 4.2. $^{96}_{42}\text{Mo}_{54}$ İzotopu İçin Sonuçlar

Hazırlanan tablolardan ve çizilen grafiklerden anlaşıldığına göre  $^{96}\text{Mo}$  izotopu için IBM-1 ve IBM-2 modelleriyle hesaplanan enerji düzeyleri deneysel verilerle iyi bir uyum sergilemektedir. Bu izotop için hesaplanan IBM-1 ve IBM-2  $R_{4/2} = E(4_1^+) / E(2_1^+)$  oranları 2.01 ve 2.12'dir. Deneysel verilerin oranı 2.09'dur. Bu durum, bu izotopun da küresel simetriye daha yakın olduğunu ve U(5) simetrisi ile tanımlanabileceği sonucunu ortaya koymaktadır. Hesaplanan elektrik kuadrupol moment değeri sıfırdan küçük olduğundan izotopun küresel simetrisinin bozularak yine oblate şekle yaklaştığı sonucuna varılır.

### 4.3. $^{98}_{42}\text{Mo}_{56}$ İzotopu İçin Sonuçlar

Bu izotopun IBM-1 ve IBM-2 modelleriyle elde edilen  $R_{4/2}$  oranları sırasıyla 2.07 ve 2.15 olarak çıkmaktadır. Bu değerler, deneysel sonuç olan 1.92 değerine yakın olup küresel U(5) simetrisine yakındır. Elektrik kuadrupol değeri sıfırdan küçük olup bu izotopun şeklide topaç benzemektedir.

#### 4.4. $^{100}_{42}\text{Mo}_{58}$ İzotopu İçin Sonuçlar

Bu izotop için deneysel  $R_{4/2}$  oranı 2.12 olup IBM-1 ve IBM-2 'de hesaplanan 2.11 ve 2.19 değerleri ile son derece örtüşmektedir. Elektrik kuadrupol değeri sıfırdan küçük olduğundan bu izotopun şeklide topaça benzemektedir.

#### 4.5. $^{102}_{42}\text{Mo}_{60}$ İzotopu İçin Sonuçlar

Bu izotop için deneysel  $R_{4/2}$  oranı 2.5 olup IBM-1 ve IBM-2 'de bulunan değerler sırasıyla 2.18 ve 2.45'dir. Görüldüğü gibi hesaplanan değerler deneysel sonuçla hemen hemen aynıdır. Elektrik kuadrupol moment değeri ise önceki izotoplara kıyasla sıfırdan daha uzak negatif bir değerdedir. Bu durum, bu izotopun öncekilere kıyasla daha az küresel, daha çok deforme olduğunu ortaya koymaktadır. Buna göre izotop O(6) dinamik simetrisine daha yakın olarak karakterize edilebilir. Çünkü bu dinamik simetri için belirlenen  $R_{4/2}$  limit değeri 2.5 dir.

#### 4.6. $^{104}_{42}\text{Mo}_{62}$ İzotopu İçin Sonuçlar

Bu izotop için  $R_{4/2}$  oranı IBM-1 ve IBM-2 için sırasıyla 2.33 ve 2.69 olup deneysel değer 2.92'dir. Elektrik kuadrupol moment değeri ise sıfırdan daha uzak negatif bir değerdedir. Bu izotop IBM üçgeninde  $\gamma$ -kararsız rotor (O(6)) değerine daha yakın olarak kabul edilir.

#### 4.7. $^{106}_{42}\text{Mo}_{64}$ İzotopu İçin Sonuçlar

Deneysel  $R_{4/2}$  oranı 3.05 olup, IBM-1 ve IBM-2'de bulunan değerler sırasıyla 2.75 ve 3.04'dür. Bu değerler O(6) dinamik simetrisinin özelliklerinin yani gama-kararsız bir yapının yanı sıra deforme rotor (SU(3)) etkiside tanımlamaktadır. Ayrıca elektrik kuadrupol moment değeri sıfırdan daha uzak bir negatif değerdedir. Bu durum bu izotopun deforme yapıya diğer izotoplardan daha yakın olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.



#### 4.8. $^{108}_{42}\text{Mo}_{66}$ İzotopu İçin Sonuçlar

Bu izotopun deneysel  $R_{4/2}$  oranı yoktur. IBM-1 ve IBM-2 'de bulunan değerler sırasıyla 2.48 ve 2.96 olup O(6) yapısının yanında deforme yapıyı tanımlamaktadır. Elektrik kuadrupol moment değeri, burada incelenen çift-çift Mo izotopları arasında en çok sıfırdan sapan değerde olup negatif karakterdedir.

#### 4.9. Genel Sonuç

Bu çalışmada Etkileşen Bozon Modelinin IBM-1 ve IBM-2 versiyonları kullanılarak nötron zengini  $A > 92$  çekirdeklerinden bazı çift-çift Mo izotoplarının enerji spektrumları,  $B(E2)$  değerleri ve elektrik kuadrupol momentleri ( $Q(2_1^+)$ ) incelenmiştir. Hesaplanan sonuçlar ile daha önceki literatür çalışmalarında elde edilmiş deneysel veriler arasında çok iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir. Bu durum seçilen yöntemin (IBM modeli)  $94 \leq A \leq 108$  molibden izotopları için doğru olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca kullanılan parametrelerin son derece uygun değerlerde olduğunu ispatlanmıştır. Bu çalışma ile  $A \sim 100$  kütle bölgesi çekirdeklerinden bazı çift-çift Mo izotoplarının komşu Ru çekirdekleri ile paralel bir nükleer yapı dinamiği içerisinde tanımlanabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Turkan, N., Bascetin, T., Inci, I., Phys. At. Nucl. 72, 960, 2009.
2. Inci, I., Turkan, N., Turk. J. Phys. 30, 503, 2006.
3. Inci, I., ve Turkan, N., Turk. J. Phys. 30, 493, 2006.
4. Turkan, N., ve Inci, I., Phys. Scr. 75, 515, 2007.
5. Kim, Y.S., ve ark., Phys. Rev. C, 142, 788, 1996.
6. Sauter. T., ve ark., Phys. Rev. C, 55, 3127, 1997.
7. Mantica, P.F., ve ark., Phys. Rev. C, 63, 034312, 2001.
8. Fransen, C., ve ark., Acta Phys. Polon. B, 32, 777, 2001.
9. Pietralla, N., ve ark., Phys. Rev. C, 83, 1303, 1999.
10. Genilloud, L., ve ark., Nucl. Phys. A, 662, 3, 2000
11. Arima, A., Iachello, F., Interacting Boson Model of Collective Nuclear States I. The Vibrational Limit, Annals of Phys., 99,253-317, 1976.
12. Arima, A., Iachello, F., Interacting Boson Model of Collective Nuclear States II. The Rotational Limit, Annals of Phys., 111, 201-238, 1978.
13. Lisetskiy, A.F., ve ark., Shell Model Description of ‘mixed-symmetry’ States in  $^{94}\text{Mo}$ , Nucl.Phys., A, 677, 100-114, 2000.
14. Fransen, C., ve ark., Identification of Mixed-Syemmetry States in  $^{94}\text{Mo}$ , Acta Physica Polonica, B, 32(3), 777-781, 2001.
15. H. Feshbach, F.Iachello, Ann. Phys. 84, 211, 1974.
16. Arima, A., Iachello, F., Ann. Phys. (N.Y.) 123 ,468, 1979.
17. Scholten, O., The Program Package PHINT Manual Book, National Superconducting Cyclotron Laboratory, Dept. of Physics, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824, 1982.
18. Firestone, R.B., *Table Of Isotopes*, John Wiley and Sons Inc., New York, 1996.
19. Pfeifer, W., An Introduction to the Interacting Boson Model of The Atomic Nucleus, VDF, Zürich, 1998.

20. Casten, R.F., ve Warner, D.D., The Interacting Boson Approximation, Rev. of Mod. Phys. 60(2), 389-469, 1988.
21. Kern, J., ve ark., Search for Nuclei Exhibitin the U(5) Dynamical Symmetry, Nucl. Phys. A, 593, 21-47, 1995.
22. Caprio, M.A., Structure of Collective Modes in Transitional and Deformed Nuclei, Ph.D. Thesis, Yale UNİVERSTY, Yale, May 2003.
23. Radhi, F.S., Stewart, N.M., Z. Phys. A, 356, 145, 1996.
24. Garcia-Ramos, J.E., Arias, J.M., Barea, J., Frank, A., Phys. Rev. C, 68, 024307, 2003.
25. Stachel, J., Isacker, P., Heyde, K., Phys. Rev., C, 25, 650-660, 1982.
26. Bijker, R., Dieperink, A. E. L., Scholten, O., Nucl. Phys., A, 334, 207-211, 1980
27. Barette, J., Barette, M., ve ark., Nucl. Phys. A, 172(1), 41, 1971.
28. Barette, J., Barette, M., ve ark., Phys. Rev. C, 6, 1339, 1972.
29. Raghavan, P., At. Data Nucl. Data Tables 42, 189, 1989.
30. <http://cdfc.sinp.msu.ru/services/defchart/defmain.html>
31. Fahlender, C., Hasselgreen, L., Possnert, G., Thun, J.E., Phys. Scr. 18, 47, 1978.

## ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Yozgat'ın Kadışehri ilçesine bağlı Kabalı köyünde doğdu. İlköğrenimini sırasıyla Kabalı Köyü İlkokulu ile Kadışehri Ahmet Yesevi İlköğretim Okulunda tamamlayarak orta öğrenimini Yozgat Lisesinde bitirmiştir. 2002 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Yozgat Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü 2007 yılında bitirerek 2008 yılında Bozok Üniversitesin Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek lisansa başlamıştır. Evli ve 1 çocuk babasıdır.

### İletişim Bilgileri

Adres: Bahçelievler Mah. Öğretmenevi Karşısı Bakır Apt. No:2 Çekerek 66500

YOZGAT

Telefon: (354) 468 37 37

E-posta: f\_66540@hotmail.com