

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

**KİNETİK KARMA SPİN- 1 VE SPİN- 2 SİSTEMİNDE
MEYDANA GELEN DİNAMİK FAZ GEÇİŞLERİ VE
DİNAMİK FAZ DİYAGRAMLARI**

**Tezi Hazırlayan
Mehmet ERTAŞ**

**Tezi Yöneten
Prof. Dr. Mustafa KESKİN**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

Bu çalışma, TÜBİTAK – 107T533 kodlu proje, TÜBİTAK (BİDEB)- 2210 kodlu burs programı ve Erciyes Üniversitesi FBA-06-01 kodlu proje ile desteklenmiştir.

**Temmuz 2008
KAYSERİ**

Prof. Dr. Mustafa KESKİN danışmanlığında **Mehmet ERTAŞ** tarafından hazırlanan **“Kinetik Karma Spin- 1 ve Spin- 2 Sisteminde Meydana Gelen Dinamik Faz Geçişleri ve Dinamik Faz Diyagramları”** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

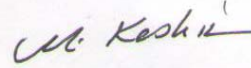
30/07/2008

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI



Üye : Prof. Dr. Mustafa KESKİN



Üye : Doç. Dr. Mustafa GENÇASLAN

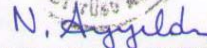


ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 05/08/2008 tarih ve 2008/23-03 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

05/08/2008




Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tamamlanmasında emek ve yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarım süresince değerli fikir ve tecrübeleri ile bana büyük destek sağlayan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mustafa KESKİN'e içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında birçok konuda yardımlarını gördüğüm Yrd. Doç. Dr. Osman CANKO'ya ve çalışma arkadaşlarıma, özellikle Ersin KANTAR ve Bayram DEVİREN'e teşekkür ederim.

Tez çalışması esnasında BİDEB- 2210'nolu burs programı ve 107T533'nolu proje ile TÜBİTAK'a ve FBA-06-01'nolu proje ile Erciyes Araştırma Fonuna sağladıkları destekten dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince gösterdikleri anlayış, maddi ve manevi yönden desteklerini hiç eksik etmeyen canım anneme, babama, kardeşime ve ablama en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

KİNETİK KARMA SPİN- 1 VE SPİN- 2 SİSTEMİNDE MEYDANA GELEN DİNAMİK FAZ GEÇİŞLERİ VE DİNAMİK FAZ DİYAGRAMLARI

Mehmet ERTAŞ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2008

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa KESKİN

ÖZET

Salınımlı dış manyetik alan altında, bikuadratik en yakın etkileşme (K) ve kristal alan etkileşme parametrelili (D) kinetik karma spin-1 ve spin-2 Ising modelinin dengesiz davranışları, ortalama alan yaklaşımı ile araştırıldı. Glauber geçiş oranları kullanılarak ortalama alan dinamik denklemleri elde edildi. Sistemdeki çözümleri veya fazları elde etmek için ortalama düzen parametrelerinin zamanla değişimi incelendi. Faz dönüşümlerinin doğasını karakterize etmek (birinci- ve ikinci-derece faz geçişi) ve dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarını elde etmek için, dinamik düzen parametrelerinin davranışı indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelendi. Dinamik faz diyagramları üç farklı düzlemde sunuldu. Bu faz diyagramları düzensiz (d), ferrimagnetik (i), antikuadrupol ya da staggered (a) temel fazları ve dört adet karma faz veya bölge içerir, bunlar, i+d, i+a, i+a+d ve a+d karma fazlarıdır. Bu faz diyagramlarının özellikleri indirgenmiş bikuadratik ve indirgenmiş kristal alan etkileşme parametrelerine kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu bulundu.

Anahtar Kelimeler: Karma spin-1 ve spin-2 Ising modeli, Glauber-tipi stokastik dinamik, Dinamik faz geçişleri, Dinamik faz diyagramları, Salınımlı manyetik alan.

**DYNAMIC PHASE TRANSITIONS AND DYNAMIC PHASE DIAGRAMS IN
THE KINETIC MIXED SPIN-1 AND SPIN-2 ISING SYSTEM IN AN
OSCILLATING MAGNETIC FIELD**

Mehmet ERTAŞ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, July 2008

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Mustafa KESKİN

ABSTRACT

The nonequilibrium aspects of the kinetics of a mixed spin-1 and spin-2 Ising system including the biquadratic nearest-neighbor pair interaction (K) and crystal-field interaction (D) under the presence of a time-dependent oscillating external magnetic field is investigated within a mean-field approach. The set of mean-field dynamic equations are obtained by employing the Glauber transition rates. The time variations of average order parameters are investigated to find the phases or solutions in the system. The thermal behaviors of the dynamic order parameters are also studied to characterize the nature (first and second order phase transition) of the phase transitions and obtain the dynamic phase transition (DPT) temperatures. The dynamic phase diagrams are presented in three different planes. The phase diagrams contain disordered (d), ferrimagnetic (i), the antiquadrupolar or staggered (a) fundamental phases, and four coexistence or mixed phase regions, namely the i+d, i+a, i+a+d and a+d. Properties of the dynamic phase diagrams strongly depend on reduced crystal-field interaction and reduced biquadratic interaction parameters.

Keywords: Mixed spin-1 and spin-2 Ising model, Glauber-type stochastic dynamics, Dynamic phase transition, Dynamic phase diagrams, Oscillating magnetic field

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
MODELİN TANITIMI VE ORTALAMA ALAN DİAMİK DEKLEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ.....	6
2.1. Modelin Tanıtımı.....	6
2.2. Glauber Dinamiği ve Dinamik Durum Denklemlerinin Elde Edilmesi.....	7
3. BÖLÜM	
DİAMİK DÜZEN PARAMETRELERİ, DİNAMİK FAZ GEÇİŞ NOKTALARI VE DİAMİK FAZ DİYAGRAMLARI.....	16
3.1. Dinamik Düzen Parametreleri Ve Dinamik Faz Geçiş Noktaları.....	16
3.2. Dinamik Faz Diyagramları.....	25
3.2.1 (T, h) Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları.....	25
3.2.2 (k, T) Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları.....	32
3.2.3 ($\mathcal{A}$, T) Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları.....	36
4. BÖLÜM	
SONUÇ VE TARTIŞMA.....	40
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 3.1. Karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin alt örgü mıknatıslanmaları ve alt örgü kuadrupol momentlerinin zamanla değişimi **a)** Sistemde sadece düzensiz faz mevcuttur ($k = 0.25$, $d = 0.75$, $h = 0.25$ ve $T = 2.25$) **b)** Sistemde sadece antikuadrupol ya da staggered (a) fazı mevcuttur, ($k = 0.25$, $d = -0.25$, $h = 0.075$, $T = 1.75$) **c)** Sistemde ferrimanyetik (i) faz mevcuttur, ($k = 0.25$, $d = 1.5$, $h = 0.025$, $T = 1.25$). 19
- Şekil 3.2. Karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin alt örgü mıknatıslanmaları ve alt örgü kuadrupol momentlerinin zamanla değişimi **a)** Sistemde hem düzensiz (d) fazı hem de antikuadrupol ya da staggered (a) fazı mevcuttur, ($k = 0.25$, $d = -0.25$, $h = 1.75$, $T = 1.5$). **b)** Sistemde ferrimanyetik (i) faz ve düzensiz (d) faz mevcuttur, ($k = -0.025$, $h = 0.9$, $d = 0.25$, $T = 0.05$) **c).** Sistemde ferrimanyetik (i) faz ve antikuadrupol ya da staggered (a) fazı mevcuttur, ($k = 0.125$, $d = -0.075$, $h = 0.125$, $T = 0.5$) **d)** Sistemde ferrimanyetik (i) faz, antikuadrupol (a) faz ve düzensiz (d) faz mevcuttur, ($k = 0.125$, $d = 0.125$, $h = 1.0$, $T = 0.225$). 20
- Şekil 3.3. $k = -0.025$, $d = 0.25$ ve $h = 0.025$ değerleri için ortalama mıknatıslanmaların M_A ve M_B (kalın çizgi) ve kuadrupol momentlerin Q_A ve Q_B (ince çizgi) indirgenmiş sıcaklığa bağlı olarak davranışları. Sistemde ikinci-derece faz geçişi meydana gelmektedir, ($T_C = 1.3785$) 23
- Şekil 3.4. $k = 0.125$, $d = 0.125$ ve $h = 0.025$ değerleri için ortalama mıknatıslanmaların M_A ve M_B (kalın çizgi) ve kuadrupol momentlerin Q_A ve Q_B (ince çizgi) indirgenmiş sıcaklığa bağlı olarak davranışları **a)** Şekil 3.3 ile aynı fakat $T_C = 1.507$ **b)** Sistemde peş peşe iki faz geçişi meydana gelmektedir. Birincisi; a fazından i fazına birinci-derece faz geçişi ($T_{tQ} = 0.827$), ikincisi i

fazından d fazına ikinci-derece faz geçişi meydana gelmektedir ($T_C = 1.507$).

24

Şekil 3.5. Kinetik karma spin-1 ve spin-2 Ising modelinin (T , h) düzleminde dinamik faz diyagramları. **a)** $k = -0.025$ ve $d = 0.25$ için **b)** $k = 0.25$ ve $d = 1.5$ için **c)** $k = 0.125$ ve $d = 0.125$ için ve **d)** $k = 0.25$ ve $d = 0.25$ için. Dinamik üçlü kritik nokta içi dolu daire sembolü ile gösterilmiştir. Kesikli ve sürekli çizgiler sırasıyla birinci ve ikinci-derece faz geçiş çizgileridir.

29

Şekil 3.6. Şekil 3.5 ile aynı fakat, **a)** $k = 0.25$ ve $d = 0.0375$ için **b)** $k = -0.125$ ve $d = -0.125$ için **c)** $k = -0.025$ ve $d = -0.05$ için **d)** $k = -0.025$ ve $d = -0.3$ için.

30

Şekil 3.7. Şekil 3.5 ile aynı fakat, **a)** $k = 0.25$ ve $d = -0.05$ için **b)** $k = 0.125$ ve $d = -0.075$ için **c)** $k = 0.25$ ve $d = -0.25$ için ve **d)** $k = 0.125$ ve $d = -0.2$ için, ayrıca bu sistemde dinamik üçlü kritik nokta yok.

31

Şekil 3.8. Şekil 3.5 ile aynı fakat, $k = 0.25$ ve $d = -0.75$ için ve sistemde dinamik üçlü kritik nokta yok

32

Şekil 3.9. Karma spin-1 ve spin-2 modelinin (k , T) düzleminde dinamik faz diyagramları. Dinamik üçlü kritik nokta içi dolu daire sembolü ile gösterilmiştir. Kesikli ve sürekli çizgiler sırasıyla birinci ve ikinci-derece faz geçiş çizgileridir. **a)** $d = 0.0375$ ve $h = 0.25$ için **b)** $d = 1.5$ ve $h = 0.93$ için **c)** $d = 0.25$ ve $h = 0.9375$ için ve **d)** $d = 0.25$ ve $h = 0.25$

34

Şekil 3.10. Karma spin-1 ve spin-2 modelinin (k , T) düzleminde dinamik faz diyagramları. Kesikli çizgiler birinci- derece faz geçiş çizgisidir. **a)** $d=0.2$ ve $h = 1.02$ için **b)** $d = 0.25$ ve $h = 1.0625$ için, **c)** $d = 1.5$ ve $h = 1.125$ için ve **d)** $d = 0.25$ ve $h = 2.0$

35

Şekil 3.11. Karma spin-1 ve spin-2 modelinin (d , T) düzleminde dinamik faz diyagramları..Dinamik üçlü kritik nokta içi dolu daire sembolü ile gösterilmiştir. Kesikli ve sürekli çizgiler sırasıyla birinci ve ikinci-derece faz geçiş çizgileridir. **a)** $k = -0.025$ ve $h = 0.25$ için **b)** $k = 0.25$ ve $h = 0.955$ için **c)** $k = 0.25$ ve $h = 0.5$ için ve **d)** $k = 0.25$ ve $h = 0.93$ **e)** $k = 0.25$ ve $h = 0.5$ için

38

Şekil 3.12. Şekil 3.11 ile aynı fakat, **a)** $k = 0.125$ ve $h = 1.02$ için **b)** $k = 0.25$ ve $h = 2.0$

39

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Yoğun madde ve istatistik fizik alanlarında son 25 yılın ilginç ve önemli araştırma konularından birisi, iki alt örgülü karma spin Ising sistemlerinin incelenmesidir. Nedeni ise: (i) Bu çalışmaların, termomanyetik kayıt sistemleri gibi önemli teknolojik uygulama alanları ile ilgili olması [1], (ii) Bu sistemlerin, tek spinli sistemlere göre daha az simetriye sahip olmaları ve (iii) Bu sistemlerin, moleküler tabanlı manyetik malzemelerin anlaşılabilmesine model oluşturmalarıdır [2]. Karma spin sistemlerinin denge durumundaki özellikleri, düzen parametrelerinin sıcaklıkla değişimi, kritik üsteller, reentrant olaylar, denge faz geçişleri ve faz diyagramları v.b., dengeli istatistik fizikte geliştirilen ve iyi bilinen, kapalı form yaklaşıkları (ortalama-alan yaklaşımı (OAY), Bragg-Williams (BW), Bethe-Peierls (BP), kümesel değişim), seriye açılım, transfer matris (TM), etkin alan teorisi (EAT), Monte Carlo (MC) hesaplamaları, renormalizasyon grup (RG) teknikleri v.b., gibi yöntemlerle incelenmiş ve incelenmeye devam edilmektedir.

Karma (yarım tamsayılı- yarım tamsayılı) spin $(1/2, 3/2)$; spin $(1/2, 5/2)$; spin $(3/2, 5/2)$ Ising sistemleri; karma (yarım tamsayılı- tamsayılı) spin $(1/2, 1)$; spin $(1, 3/2)$ Ising sistemleri ve karma (tamsayılı- tamsayılı) spin $(1, 2)$ Ising sistemi önemli karma spin sistemlerindendir. Bu karma spin sistemlerinden, karma spin $(1/2, 1)$ ve spin $(1, 3/2)$ Ising sistemleri en fazla çalışılan sistemlerdir. Karma spin $(1/2, 1)$ Ising sistemi, üzerinde ilk defa çalışma yapılan bir sistem olup, aynı zamanda şimdiye kadar en kapsamlı incelenen sistemdir. Bu sistemin denge davranışları üzerine, dengeli istatistik fizikte geliştirilen ve yukarıda belirtilen yöntemlerle yeterli sayıda çalışma yapılmıştır [3-7], ve bunlar içindeki kaynaklar]. Modelin denge özelliklerinin anlaşılması için yeterli sayıda çalışma yapılmasına rağmen, dengesiz özellikleri için yeterli sayıda

çalışma yapılmamıştır. Karma spin ($1/2, 1$) Ising sisteminin dinamiği üzerine ilk çalışma Buendia ve Machado tarafından yapıldı [8]. Keskin ve arkadaşları [9], Buendia ve Machado'nun çalışmasında gördükleri eksikliklerden dolayı bu sistemi çok daha kapsamlı bir şekilde aynı yöntemle incelediler. Çalışmalarında, (T, h) ve (d, T) düzlemlerinde altı farklı tipte dinamik faz diyagramları elde edildi. Halbuki, Buendia ve Machado (T, h) düzleminde yalnız iki farklı temel faz diyagramı bulmuş ve (d, T) düzleminde faz diyagramlarını elde etmemişlerdir. Ekiz ve Keskin [10], modelin dinamiğini, manyetik alan varlığında ve yokluğunda, nokta dağılımlı çift yaklaşık yöntemini kullanarak araştırdılar. Godoy ve Figueiredo [11], bilineer etkileşme Hamiltonyenli dengesiz spin ($1/2, 1$) Ising sisteminin kararlı durumlarını, dinamik çift yaklaşık yöntemini, MC ve sonlu-boyut ölçüm methodunu [12], MC ve dinamik çift yaklaşım methodunu kullanarak araştırdılar [13] ve sistemin faz diyagramlarını elde ettiler. Godoy ve Figueiredo ayrıca, kristal alan etkileşme parametresini içeren aynı modelin dinamiğini MC ve dinamik çift yaklaşık methodunu kullanarak çalıştılar [14-15]. Godoy ve Figueiredo yukarıda belirtilen çalışmalarının [11-15] hiç birinde manyetik alan varlığını kullanmadılar.

Önemli karma yarım tamsayılı- tamsayılı Ising sistemlerinden bir diğeri karma spin ($1, 3/2$) Ising sistemidir. Karma spin ($1, 3/2$) Ising sistemi demir-nitrit bileşiği için model olarak kullanılan ilginç karma spin Ising sistemlerinden birisidir; özel olarak MC hesaplamaları karma spin-1 ve spin-3/2 Ising modeline Fe_4N 'nin karakteristik özelliğini araştırmak için uygulanmıştır [16, 17]. Karma spin ($1, 3/2$) Ising sisteminin denge özellikleri, dengeli istatistik fizikte geliştirilen ve iyi bilinen değişik yöntemlerle incelenmiştir [18-21]. Bu sistemin dinamiği üzerine ilk çalışma Keskin ve arkadaşları [22] tarafından yapılmıştır. Keskin ve arkadaşları, bu sistemin dinamik davranışını, Glauber tipi dinamik kullanarak, zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında araştırdılar. Üç farklı düzlemde dinamik faz diyagramlarını hesapladılar.

Karma spin ($1, 2$) Ising sistemi (tamsayı-tamsayı karma Ising sistemi), yukarıda belirtilen karma spin sistemlerine göre daha az ilgi görmüştür. Karma spin ($1, 2$) Ising sisteminin denge faz diyagramları üzerine ilk çalışma, ayrık yol integral temsilli (discretized path-integral representation) çift yaklaşım yöntemini kullanarak, Weng ve Li [23] tarafından yapılmıştır. Iwasita ve arkadaşları [24], çeşitli yüksek spin

etkileşmeleri için dört spin model yaklaşımını kullanarak, karma spin (1, 2) Ising sisteminin mıknatıslanmasının sıcaklığa bağlılığını araştırdılar. Zhang ve arkadaşları [25], Monte Carlo ve etkin alan teorisini kullanarak, bal örgü tabakasında karma spin (1, 2) Ising sisteminin manyetik özellikleri üzerine çalışma yaptılar. Albayrak ve Yiğit [26] karma spin (1, 2) Ising sisteminin kritik davranışlarını, tam tekrarlama bağıntılarını kullanarak incelediler. Son zamanlarda ortalama- alan yaklaşımı ve Monte Carlo hesaplamaları kullanılarak, farklı anizotropik spin (1, 2) Ising sisteminin manyetik özellikleri Wei ve arkadaşları tarafından araştırıldı [27]. Diğer taraftan, karma spin-1 ve spin-2 Ising sisteminin dinamik davranışları ve dinamik faz diyagramlarının elde edilmesi, en iyi bilgimiz dahilinde şimdiye kadar yapılmamıştır.

Yukarıda belirtildiği gibi karma spin Ising sistemlerinin denge davranışları dengeli istatistik fizikte geliştirilen ve iyi bilinen yaklaşık yöntemlerle incelendiği halde, dengesiz davranışları üzerine son yıllarda çok az sayıda çalışma yapılmaya başlanmıştır [8-10, 22, 28]. Dengesiz sistemlerdeki ilginç problemlerden birisi, dengesiz veya dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarının hesaplanması ve dinamik faz diyagramlarının elde edilmesidir. Dinamik faz geçişlerinin arkasındaki, yani sebep olan mekanizma kesin olarak keşfedilmediği gibi temel fenomenolojisi de halen çok az geliştirilebilmiştir ve bundan dolayı da üzerinde çok çalışılan ve çalışılması gerekli konulardan birisi olmuştur. DFG ilk olarak Glauber tipi stokastik dinamiği [29] kullanılarak, zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında kinetik spin-1/2 Ising modelinin kararlı durumları ortalama alan yaklaşımı kullanılarak incelenmesi sonucu bulundu [30, 31]. Kinetik spin-1/2 Ising modelindeki dinamik faz geçişleri, dinamik ortalama alan yaklaşık metoduyla [32] ve dinamik Monte-Carlo hesaplamaları ile incelenmiştir [33-37]. Landau tipi potansiyelleri olan sistemlerde DFG sıcaklıklarını ve dinamik faz diyagramlarını elde edebilmek için Tutu ve Fujiwara sistematik bir metot geliştirmişlerdir [38]. Tek boyutlu kinetik spin-1/2 Ising modelindeki DFG' ler Glauber metoduyla incelenmiştir [39]. Son yıllarda ise daha karmaşık sistemlerde, yani spin-1 [40, 46, 49, 51], spin-3/2 [41, 47, 50] ve spin-2 [42, 48] Ising sistemleri için, DFG noktaları hesaplanması ve dinamik faz diyagramlarının elde edilmesi çalışmaları yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. DFG sıcaklıkları deneysel olarak ilk defa çok ince Co/Cu (001) ferromanyetik filmler [43], ferroik (ferromanyetler, ferroelektrikler ve ferroelastikler) sistemlerde ve çok ince manyetik filmler de

gözlenmiştir [44]. Bunlara ilaveten, DFG' lerin evrenin ilk oluşumunun açıklanmasında rol oynayabileceği de düşünülmektedir [45].

Bu tezde, yukarıda özetle belirtilen, ileri teknolojik uygulama potansiyellerine sahip malzemeleri incelemede ve akademik araştırmalar bakımından önemli ve aynı zamanda dinamik özellikleri incelenmemiş olan karma spin (1, 2) sisteminin dinamiğini kapsamlıca Glauber tipi stokastik dinamikle incelenecektir. Özellikle, DFG sıcaklıklarını hesaplayarak, indirgenmiş sıcaklık (T) ile indirgenmiş manyetik alan genliği (h) düzleminde, ayrıca indirgenmiş sıcaklık ile indirgenmiş etkileşim parametreleri düzlemlerinde, yani (T, k) ve (T, d) ' de, dinamik faz diyagramları elde etmektir. Böylece arkasındaki mekanizma kesin olarak bilinmeyen ve temel fenomenolojisi ise halen az geliştirilmiş olan, ve hesaplanması çok daha karmaşık olan DFG noktalarını elde etmek gibi önemli bir konuya katkıda bulunmaktır. Aynı zamanda bu konuda yapılacak deneysel çalışmalara ışık tutmaktır. Bu tezin diğer iki önemli amacı: (1) Karma spin (1, 2) sisteminin veya benzer sistemlerin dinamiğini daha duyarlı sonuçlar veren dinamik Monte-Carlo hesaplamaları, renormalizasyon grup teknikleri gibi yöntemlerle yapılacak araştırmalara temel oluşturmak. (2) Karmaşık sistemlerin dinamiğini mikroskobik teorilerle inceleyen veya mikroskobik teorisini geliştirmeye çalışan bilim adamlarının araştırmalarına temel oluşturmaktır.

Giriş bilgilerinden sonra, Bölüm 2'de iki alt örgülü kinetik spin (1, 2) Ising modelinin tanıtımı yapılacak ve master denkleminde yola çıkılarak modelin dinamik davranışını veren ortalama alan dinamik denklemleri elde edilecektir. Bölüm 3'de ise. Bölüm 2'de elde edilen ortalama alan dinamik denklemleri, Adams-Multon kestirme ve düzeltme yöntemi ve Romberg integrasyon metodları kullanılarak nümerik olarak çözülecek. Sistemde mevcut olan fazları elde etmek için dinamik düzen parametrelerinin zamanla değişimleri incelenecek. Daha sonra dinamik faz geçişlerinin doğasını karakterize (sürekli ve süreksiz, yani birinci- ve ikinci-derece faz geçişleri) etmek ve DFG noktaları tespit etmek için, dinamik mıknatıslanma ve dinamik kuadrupol moment, indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelenecektir. Farklı indirgenmiş manyetik alan genliği (h), indirgenmiş kristal alan etkileşme parametresi (d) ve indirgenmiş bikuadratik etkileşme parametresi (k) için DFG noktalarından faydalanılarak (T, h) , $(k,$

T) ve $(\mathcal{A}, T)$ düzlemlerinde sistemin dinamik faz diyagramları sunulacaktır. Son bölümde ise, yapılan çalışma özetlenerek elde edilen sonuçların tartışılması yapılacaktır.

2. BÖLÜM

MODELİN TANITIMI VE ORTALAMA ALAN DİNAMİK DENKLEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ

2.1. Modelin Tanıtımı

Karma spin-1 ve spin-2 Ising modeli A ve B gibi iki alt örgülü Ising model olup, A alt örgüsü $S_i^A = \pm 1, 0$ ve B alt örgüsü $S_j^B = \pm 2, \pm 1, 0$ spin değerlerine sahiptir. Karma spin-1 ve spin-2 Ising modeli'nin dört tane düzen parametresi mevcuttur. Bunlar;

- 1) A alt örgüsü için ortalama mıknatıslanma (m_A); $m_A \equiv \langle S_i^A \rangle$ olarak tanımlanır
- 2) B alt örgüsü için ortalama mıknatıslanma (m_B); $m_B \equiv \langle S_j^B \rangle$ olarak tanımlanır
- 3) A alt örgüsü için ortalama kuadrupol moment (q_A); $q_A \equiv \langle 3(S_i^A)^2 - 2 \rangle$ olarak tanımlanır.
- 4) B alt örgüsü için ortalama kuadrupol moment (q_B); $q_B \equiv \langle (S_j^B)^2 - 2 \rangle$ olarak tanımlanır.

Burada, ortalama mıknatıslanma ifadesi bir tarafa yönelimin diğer tarafa yöneliminden fazlalığını gösterir ve aynı zamanda, dipol moment olarak da adlandırılır. Diğer taraftan ortalama kuadrupol moment ifadesi ise, ortalama mıknatıslanmanın karesinin lineer bir fonksiyonudur. Ortalama kuadrupol moment tanımlarındaki ikinci kısım, sıcaklık sonsuza gittiğinde $q = 0$ olmasını sağlar. Karma spin-1 ve spin-2 Ising modelinin düzen parametreleri, dört farklı temel fazı tanımlar. Bunlar ;

- i. Düzensiz faz (d) $m_A = m_B = 0$, $q_A \neq q_B > 0$,

ii. Ferromanyetik faz,

a.) Ferromanyetik-1 (f_1) $m_A = m_B = \pm 1$, $q_A = q_B \neq 0$

b.) Ferromanyetik-2 (f_2) $m_A = m_B = \pm 2$, $q_A = q_B \neq 0$

iii. Ferrimanyetik faz (i) $m_A \neq m_B \neq 0$, $q_A \neq q_B \neq 0$,

iv. Antikuadrupolar veya staggered faz (a) $m_A = m_B = 0$, $q_A \neq q_B < 0$.

şeklindedir. Bu karma spin sistemi için en genel Hamiltonyen ifadesi;

$$\mathcal{H} = -J \sum_{\langle ij \rangle} S_i^A S_j^B - K \sum_{\langle ij \rangle} (Q_i^A)(Q_j^B) - D \left(\sum_i (Q_i^A) + \sum_j (Q_j^B) \right) - H \left(\sum_i S_i^A + \sum_j S_j^B \right). \quad (2.1)$$

Burada $\langle ij \rangle$ toplamın en yakın komşu çiftler üzerinden alınacağını gösterirken, J, K ve D sırasıyla bilineer, bikuadratik ve kristal-alan veya tek-iyon anizotropi etkileşme sabitleridir. H zamana bağlı salınımlı dış manyetik alandır ve $H(t) = H_0 \cos(\omega t)$ şeklindedir. H_0 , salınımlı dış manyetik alanın genliği, ω açısal frekansıdır ve $\omega = 2\pi\nu$ olarak tanımlanır. Denklem 2.1 deki Hamiltonyen ifadesinde $D=0$ ise karma-spin izotropik BEG modeli ve $K=0$ ise de karma-spin Blume-Capel (BC) modeli olarak adlandırılır. S_i^A , A alt örgüsündeki spinin değerleri ve S_j^B , B alt örgüsündeki spinin değerlerini alır.

2.2. Glauber Dinamiği ve Dinamik Durum Denklemlerinin Elde Edilmesi

Karma spin (1, 2) sisteminin dinamik durum denklemleri, Glauber dinamiği kullanılarak elde edilecektir. Dinamik bir model elde etmek için Hamiltonyen ifadesine ek olarak bir dış pertürbasyon öne sürülmesi gerekir. İhtimaliyet fonksiyonlarının ele alınması ile böyle bir model ileri sürülmüştür. Glauber [29], Ising sistemlerinin bir ısı banyosu ile temas halinde olduğunu ve spinlerin bir durumdan diğer bir duruma zamana bağlı olarak değiştiğini öngörmüştür. Glauber-tipi stokastik sürece göre, bir durumdan diğer duruma geçiş birim zamanda $1/\tau$ oranında değişmektedir. Herhangi bir i . spinin S_i durumundan S'_i durumuna birim zamandaki geçiş olasılığı ya da olasılık yoğunluğu $W_i(S_1, S_2, \dots, S_N)$ olarak ifade edilir. Böylece, sistem herhangi bir t zamanında

$S_1, S_2, \dots, S_N$ şeklinde spin konfigürasyonuna sahip olur ki bu $P(S_1, S_2, \dots, S_N; t)$ ihtimaliyet fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu ihtimaliyet fonksiyonunun zamanla değişimi, spinler ve ısı banyosu arasındaki etkileşmeyi tanımlayan master denklemi ile verilir. Sistemin B alt örgüsündeki spinlerin biran için sabit kaldığı düşünülerek, A alt örgüsü için master denklemi;

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P^A(S_1^A, S_2^A, \dots, S_N^A; t) = & - \sum_i \left(\sum_{S_i \neq S_i'} W_i^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A) \right) P^A(S_1^A, S_2^A, \dots, S_i^A, \dots, S_N^A; t) \\ & + \sum_i \left(\sum_{S_i \neq S_i'} W_i^A(S_i'^A \rightarrow S_i^A) P^A(S_1^A, S_2^A, \dots, S_i'^A, \dots, S_N^A; t) \right), \end{aligned} \quad (2.2)$$

şeklinde yazılır. Burada $W_i^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A)$ ve $W_i^A(S_i'^A \rightarrow S_i^A)$ olasılık yoğunlukları veya geçiş yoğunlukları olarak tanımlanır. Genel kanonik dağılım ifadesinden;

$$P_0(S_1^A, S_2^A, \dots, S_i^A, \dots, S_N^A) \propto \exp(\beta H), \quad (2.3)$$

yazılır. Burada $P_0(S_1^A, S_2^A, \dots, S_i^A, \dots, S_N^A)$ sistem dengede iken $(S_1^A, S_2^A, \dots, S_i^A, \dots, S_N^A)$ konfigürasyonunda spinlerin bulunma ihtimaliyetini gösterir. Sistem dengede iken, master denklemi ve kanonik dağılımın genel tanımı yardımıyla her bir spinin S_i^A durumundan $S_i'^A$ durumuna birim zamanda geçiş olasılığı $W_i^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A)$;

$$W_i^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta \Delta E(S_i^A \rightarrow S_i'^A))}{\sum_{S_i'} \exp(-\beta \Delta E(S_i^A \rightarrow S_i'^A))}, \quad (2.4)$$

ile verilir. Burada $\beta = 1/k_B T$ 'dır ve k_B Boltzmann faktörüdür. Daha sonra Hamiltonyen ifadesinin kullanılması ile $\Delta E^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A)$ değeri bulunur. $\Delta E^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A)$ spinler arası geçişte sistemin enerjisindeki değişmedir. S_i^A 'nin zaman içindeki beklenen değerindeki değişme ile daha önce bulunan $W_i^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A)$ ve $\Delta E^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A)$ 'nin de kullanılmasıyla, A alt örgüsü için dinamik diferansiyel denklem elde edilir. Benzer işlemler yapılarak, B alt örgüsü içinde dinamik diferansiyel denklem elde edilir. İlk olarak A alt örgüsü için dinamik diferansiyel denklemi elde edelim. A alt örgüsü için Hamiltonyen ifadesi,

$$\mathcal{H} = -J \sum_{\langle ij \rangle} S_i^A S_j^B - K \sum_{\langle ij \rangle} [3(S_i^A)^2 - 2] [(S_j^B)^2 - 2] - D \left(\sum_i [3(S_i^A)^2 - 2] + \sum_j [(S_j^B)^2 - 2] \right) - H \left(\sum_i S_i^A + \sum_j S_j^B \right), \quad (2.5)$$

denklemleri ile verilir. $\Delta E(S_i^A \rightarrow S_i'^A)$ herhangi bir spinin S_i^A durumundan $S_i'^A$ durumuna geçişi sırasında sistemin enerjisindeki meydana gelen değişimdir ve denklem (2.5)'teki Hamiltonyen ifadesinden yararlanarak,

$$\Delta E(S_i^A \rightarrow S_i'^A) = -(S_i^A \rightarrow S_i'^A) \left(H + J \sum_j S_j^B \right) - 3[(S_i'^A)^2 - (S_i^A)^2] [K \sum_j ((S_j^B)^2 - 2) + D] \quad (2.6)$$

elde edilir. Burada $x = (H + J \sum_j S_j^B)$ ve $y = 3[K \sum_j ((S_j^B)^2 - 2) + D]$ ile tanımlanırsa

$$\Delta E(S_i^A \rightarrow S_i'^A) = -(S_i^A \rightarrow S_i'^A) x - ((S_i'^A)^2 - (S_i^A)^2) y \quad (2.7)$$

olur. Şimdi S_i^A durumundan $S_i'^A$ durumuna mümkün olan tüm enerji değişimlerini hesaplayabiliriz. Bulunan bu enerji değişimi ifadeleri (2.4) denkleminde yerine yazılarak tüm geçişler için olasılık yoğunluklarını şu şekilde hesaplayabiliriz:

$$W_i^A(1 \rightarrow 0) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(x + y))}{1 + \exp(-\beta(x + y)) + \exp(-2\beta x)}, \quad (2.8a)$$

$$W_i^A(1 \rightarrow -1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-2\beta x)}{1 + \exp(-\beta(x + y)) + \exp(-2\beta x)}, \quad (2.8b)$$

$$W_i^A(0 \rightarrow 1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(x + y))}{1 + \exp(\beta(x + y)) + \exp(\beta(-x + y))}, \quad (2.8c)$$

$$\begin{aligned}
W_i^A(0 \rightarrow -1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(-x+y))}{1 + \exp(\beta(x+y)) + \exp(\beta(-x+y))} \\
&= \frac{\exp(-2\beta x)}{1 + \exp(-\beta(x+y)) + \exp(-2\beta x)},
\end{aligned} \tag{2.8d}$$

$$\begin{aligned}
W_i^A(-1 \rightarrow 0) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(x-y))}{1 + \exp(\beta(x-y)) + \exp(2\beta x)} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(x+y))}{1 + \exp(-\beta(x+y)) + \exp(-2\beta x)},
\end{aligned} \tag{2.8e}$$

$$\begin{aligned}
W_i^A(-1 \rightarrow 1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(2\beta x)}{1 + \exp(\beta(x-y)) + \exp(2\beta x)} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(x+y))}{1 + \exp(\beta(x+y)) + \exp(\beta(-x+y))},
\end{aligned} \tag{2.8f}$$

$$W_i^A(1 \rightarrow 1) = W_i^A(0 \rightarrow 0) = W_i^A(-1 \rightarrow -1) = 0. \tag{2.8g}$$

$W_i^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A)$ ifadesine baktığımızda olasılık yoğunluklarının S_i^A 'ya bağlı olmadığını görürüz. Bu bize $W_i^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A) = W_i^A(S_i'^A)$ şeklinde yazabilmemizi sağlar. Böylece olasılık yoğunlukları,

$$W_i^A(0 \rightarrow 1) = W_i^A(-1 \rightarrow 1) = W_i^A(1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(x+y))}{1 + \exp(\beta(x+y)) + \exp(\beta(-x+y))}, \tag{2.9a}$$

$$W_i^A(1 \rightarrow 0) = W_i^A(-1 \rightarrow 0) = W_i^A(0) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(x+y))}{1 + \exp(-\beta(x+y)) + \exp(-2\beta x)}, \tag{2.9b}$$

$$W_i^A(1 \rightarrow -1) = W_i^A(0 \rightarrow -1) = W_i^A(-1) = \frac{\exp(-2\beta x)}{1 + \exp(-\beta(x+y)) + \exp(-2\beta x)}, \tag{2.9c}$$

şeklinde yazılabilir.

$W_i^A(S_i^A \rightarrow S_i'^A) = W_i^A(S_i'^A)$ olduğundan denklem 2.2 ile verilen master eşitliği,

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} P_A(S_1^A, S_2^A, \dots, S_N^A; t) &= - \sum_i \left(\sum_{S_i^A \neq S_i'^A} W_i^A(S_i'^A) P^A(S_1^A, S_2^A, \dots, S_i^A, \dots, S_N^A; t) \right) \\
&\quad + \sum_i \left(\sum_{S_i^A \neq S_i'^A} W_i^A(S_i^A) P^A(S_1^A, S_2^A, \dots, S_i'^A, \dots, S_N^A; t) \right),
\end{aligned} \tag{2.10}$$

şeklinde yazılabilir. Master denkleminde yararlanılarak, A alt örgüsü için genel diferansiyel denklemler şu şekilde elde edilir:

$$\tau \frac{d}{dt} \langle S_k^A \rangle = -\langle S_k^A \rangle + \frac{1}{\tau} \frac{2 \sinh(\beta x)}{\exp(-\beta y) + 2 \cosh(3\beta x)}, \quad (2.11)$$

$$\tau \frac{d}{dt} \langle 3(S_k^A)^2 - 2 \rangle = -\langle 3(S_k^A)^2 - 2 \rangle + \frac{1}{\tau} \left(1 - \frac{3 \exp(-\beta y)}{2 \cosh(\beta x) + \exp(-\beta y)} \right), \quad (2.12)$$

burada $x = (H + J \sum_j S_j^B)$ ve $y = 3[K \sum_j ((S_j^B)^2 - 2) + D]$. Ortalama alan yaklaşımı kullanılarak (2.11) ve (2.12) denklemleri

$$\tau \frac{d}{dt} \langle S_i \rangle_A = -\langle S_i \rangle_A + \frac{2 \sinh(\beta x_1)}{\exp(-\beta y_1) + 2 \cosh(3\beta x_1)}, \quad (2.13)$$

$$\tau \frac{d}{dt} \langle 3(S_i^A)^2 - 2 \rangle_A = -\langle 3(S_i^A)^2 - 2 \rangle_A + 1 - \frac{3 \exp(-\beta y_1)}{2 \cosh(\beta x_1) + \exp(-\beta y_1)}, \quad (2.14)$$

olarak bulunur. Burada $x_1 = Jz \langle S_j^B \rangle + H_0 \cos(wt)$ ve $y_1 = 3z[K \sum_j ((S_j^B)^2 - 2) + D]$. Elde edilen bu diferansiyel denklemler,

$$\Omega \frac{dm_A}{d\xi} = -m_A + \frac{2 \sinh[(m_B + h \cos \xi) / T]}{2 \cosh[(m_B + h \cos \xi) / T] + \exp[-3(kq_B + d') / T]}, \quad (2.15)$$

$$\Omega \frac{dq_A}{d\xi} = -q_A + 1 - \frac{3 \exp[-3(kq_B + d') / T]}{2 \cosh[(m_B + h \cos \xi) / T] + \exp[-3(kq_B + d') / T]}, \quad (2.16)$$

şeklinde de yazılabilir. Burada $m_A \equiv \langle S_i \rangle_A$, $q_A \equiv 3 \langle S_i^2 \rangle_A - 2$, $m_B \equiv \langle S_j \rangle_B$, $q_B \equiv \langle S_j^2 \rangle_B - 2$, $k = K/J$, $d = D/J$, $\xi = wt$, $T = (\beta Jz)^{-1}$, $H = H_0 \cos(wt)$, $h = \frac{H_0}{Jz}$ ve

$\Omega = \tau w$ olarak tanımlanmıştır. T , h , k , d ve Ω boyutsuz parametrelerdir. Sistemimizde $\Omega = 2\pi$ ve $z=4$ değerinde sabit olarak ele alınacaktır.

Bundan önceki hesaplamalara benzer olarak, A alt örgüsündeki spinlerin biran için sabit kaldığı düşünülerek, B alt örgüsü için ortalama-alan dinamik denklemlerini elde edilir.

B alt örgüsü için olasılık yoğunlukları,

$$W_j^B(2 \rightarrow 1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(a+3b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-3\beta(a+b)) + \exp(-4\beta a)}, \quad (2.17a)$$

$$W_j^B(2 \rightarrow 0) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-2\beta(a+2b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-3\beta(a+b)) + \exp(-4\beta a)}, \quad (2.17b)$$

$$W_j^B(2 \rightarrow -1) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-3\beta(a+b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-3\beta(a+b)) + \exp(-4\beta a)}, \quad (2.17c)$$

$$W_j^B(2 \rightarrow -2) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-4\beta a)}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-3\beta(a+b)) + \exp(-4\beta a)}, \quad (2.17d)$$

$$W_j^B(1 \rightarrow 2) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(a+3b))}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(-\beta(a+b)) + \exp(-\beta 2a) + \exp(-\beta(3a-3b))}, \quad (2.17e)$$

$$\begin{aligned} W_j^B(1 \rightarrow 0) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(a+b))}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(-\beta(a+b)) + \exp(-\beta 2a) + \exp(-\beta(3a-3b))} \\ &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-2\beta(a+2b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-3\beta(a+b)) + \exp(-4\beta a)}, \end{aligned} \quad (2.17e)$$

$$\begin{aligned} W_j^B(1 \rightarrow -1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-2\beta a)}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(-\beta(a+b)) + \exp(-\beta 2a) + \exp(-\beta(3a-3b))} \\ &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-3\beta(a+b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-3\beta(a+b)) + \exp(-4\beta a)}, \end{aligned} \quad (2.17f)$$

$$\begin{aligned} W_j^B(1 \rightarrow -2) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-3\beta(a-b))}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(-\beta(a+b)) + \exp(-\beta 2a) + \exp(-\beta(3a-3b))} \\ &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-4\beta a)}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-3\beta(a+b)) + \exp(-4\beta a)}, \end{aligned} \quad (2.17g)$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(0 \rightarrow 2) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(2\beta(a+2b))}{1 + \exp(2\beta(a+2b)) + \exp(\beta(a+b)) + \exp(-\beta(a-b)) + \exp(-2\beta(a+2b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(a+3b))}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(-\beta(a+b)) + \exp(-2\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17h}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(0 \rightarrow 1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(a+b))}{1 + \exp(2\beta(a+2b)) + \exp(\beta(a+b)) + \exp(-\beta(a-b)) + \exp(-2\beta(a+2b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(a+3b))}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17i}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(0 \rightarrow -1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(a-b))}{1 + \exp(2\beta(a+2b)) + \exp(\beta(a+b)) + \exp(-\beta(a-b)) + \exp(-2\beta(a+2b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-3\beta(a+b))}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17j}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(0 \rightarrow -1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(a-b))}{1 + \exp(2\beta(a+2b)) + \exp(\beta(a+b)) + \exp(-\beta(a-b)) + \exp(-2\beta(a+2b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-3\beta(a+b))}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17j}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(0 \rightarrow -2) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-2\beta(a-2b))}{1 + \exp(2\beta(a+2b)) + \exp(\beta(a+b)) + \exp(-\beta(a-b)) + \exp(-2\beta(a+2b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-4a)}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17k}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(-1 \rightarrow 2) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(3\beta(a+b))}{1 + \exp(3\beta(a+b)) + \exp(2\beta a) + \exp(\beta(a-b)) + \exp(-\beta(a-3b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(a+3b))}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(-\beta(a+b)) + \exp(-2\beta a) + \exp(-3\beta(a-b))},
\end{aligned} \tag{2.17l}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(-1 \rightarrow 1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(2\beta a)}{1 + \exp(3\beta(a+b)) + \exp(2\beta a) + \exp(\beta(a-b)) + \exp(-\beta(a-3b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(a+3b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17m}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(-1 \rightarrow 0) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(a-b))}{1 + \exp(3\beta(a+b)) + \exp(2\beta a) + \exp(\beta(a-b)) + \exp(-\beta(a-3b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-2\beta(a+2b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17n}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(-1 \rightarrow -2) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(a-3b))}{1 + \exp(3\beta(a+b)) + \exp(2\beta a) + \exp(\beta(a-b)) + \exp(-\beta(a-3b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-4\beta a)}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17o}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(-2 \rightarrow 2) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(4\beta a)}{1 + \exp(4\beta a) + \exp(3\beta(a-b)) + \exp(2\beta(a-2b)) + \exp(\beta(a-3b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(a+3b))}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(\beta(a+b)) + \exp(-2\beta a) + \exp(-3\beta(a-b))},
\end{aligned} \tag{2.17ö}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(-2 \rightarrow 1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(3\beta(a-b))}{1 + \exp(4\beta a) + \exp(3\beta(a-b)) + \exp(2\beta(a-2b)) + \exp(\beta(a-3b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(a+3b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17p}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(-2 \rightarrow 0) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(2\beta(a-2b))}{1 + \exp(4\beta a) + \exp(3\beta(a-b)) + \exp(2\beta(a-2b)) + \exp(\beta(a-3b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-2\beta(a+2b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17r}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(-2 \rightarrow -1) &= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(a-3b))}{1 + \exp(4\beta a) + \exp(3\beta(a-b)) + \exp(2\beta(a-2b)) + \exp(\beta(a-3b))} \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-2\beta(a+2b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.17s}$$

$$W_j^B(2 \rightarrow 2) = W_j^B(1 \rightarrow 1) = W_j^B(0 \rightarrow 0) = W_j^B(-1 \rightarrow -1) = W_j^B(-2 \rightarrow -2) = 0 \tag{2.17ş}$$

şekilinde elde edilir. $W_j^B(S_j^B \rightarrow S_j'^B)$ ifadesine baktığımızda olasılık yoğunluklarının S_j^B 'ye bağlı olmadığını görürüz. Bu bize $W_j^B(S_j^B \rightarrow S_j'^B) = W_j^B(S_j'^B)$ şeklinde yazabilmemizi sağlar. Böylece olasılık yoğunlukları,

$$\begin{aligned}
W_j^B(1 \rightarrow 2) &= W_j^B(0 \rightarrow 2) = W_j^B(-1 \rightarrow 2) = W_j^B(-2 \rightarrow 2) = W_j^B(2) \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(\beta(a+3b))}{1 + \exp(\beta(a+3b)) + \exp(-\beta(a+b)) + \exp(-2\beta a) + \exp(-3\beta(a-b))},
\end{aligned} \tag{2.18a}$$

$$\begin{aligned}
W_j^B(2 \rightarrow 1) &= W_j^B(0 \rightarrow 1) = W_j^B(-1 \rightarrow 1) = W_j^B(-2 \rightarrow 1) = W_j^B(1) \\
&= \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-\beta(a+3b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))},
\end{aligned} \tag{2.18b}$$

$$W_j^B(2 \rightarrow -1) = W_j^B(1 \rightarrow -1) = W_j^B(0 \rightarrow -1) = W_j^B(-2 \rightarrow -1) = W_j^B(-1) \\ = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-3\beta(a+b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))}, \quad (2.18c)$$

$$W_j^B(2 \rightarrow -2) = W_j^B(1 \rightarrow -2) = W_j^B(0 \rightarrow -2) = W_j^B(-1 \rightarrow -2) = W_j^B(-2) \\ = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-4\beta a)}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))}, \quad (2.18d)$$

$$W_j^B(2 \rightarrow 0) = W_j^B(1 \rightarrow 0) = W_j^B(-1 \rightarrow 0) = W_j^B(-2 \rightarrow 0) = W_j^B(0) \\ = \frac{1}{\tau} \frac{\exp(-2\beta(a+2b))}{1 + \exp(-\beta(a+3b)) + \exp(-2\beta(a+2b)) + \exp(-4\beta a) + \exp(-3\beta(a+b))}, \quad (2.18e)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $a = (H + J \sum_i S_i^A)$ ve $b = [K \sum_i (3(S_i^A)^2 - 2) + D]$ şeklinde tanımlanmıştır. Ortalama alan yaklaşımı kullanılarak B alt örgüsü için ortalama alan dinamik denklemleri

$$\Omega \frac{dm_B}{d\xi} = -m_B \\ + \frac{2 \exp[4(kq_A + d)/T] \sinh[2(m_A + h \cos \xi)/T] + \exp[(kq_A + d)/T] \sinh[(m_A + h \cos \xi)/T]}{\exp[4(kq_A + d)/T] \cosh[2(m_A + h \cos \xi)/T] + \exp[(kq_A + d)/T] \cosh[(m_A + h \cos \xi)/T] + 0.5}, \quad (2.19)$$

$$\Omega \frac{dq_B}{d\xi} = -q_B \\ + \frac{2 \exp[4(kq_A + d)/T] \cosh[2(m_A + h \cos \xi)/T] - \exp[(kq_A + d)/T] \cosh[(m_A + h \cos \xi)/T] - 1}{\exp[4(kq_A + d)/T] \cosh[2(m_A + h \cos \xi)/T] + \exp[(kq_A + d)/T] \cosh[(m_A + h \cos \xi)/T] + 1/2}, \quad (2.20)$$

şeklinde de yazılabilir. Yine burada $m_A \equiv \langle S_i \rangle_A$, $q_A \equiv 3 \langle S_i^2 \rangle_A - 2$, $m_B \equiv \langle S_j \rangle_B$, $q_B \equiv \langle S_j^2 \rangle_B - 2$, $d = D/J$, $k = K/J$, $\xi = wt$, $T = (\beta J z)^{-1}$, $H = H_0 \cos(wt)$, $h = \frac{H_0}{Jz}$ ve $\Omega = \tau w$ olarak tanımlanmıştır. T, h ve Ω boyutsuz parametrelerdir. Sistemimizde $\Omega = 2\pi$ ve $z=4$ değerinde sabittir. Gelecek bölümde bu denklemlerin nümerik çözümleri yapılacak ve çözümler tartışılacak.

3. BÖLÜM

DİNAMİK DÜZEN PARAMETRELERİ, DİNAMİK FAZ GEÇİŞ NOKTALARI VE DİNAMİK FAZ DİYAGRAMLARI

3.1. Dinamik Düzen Parametreleri ve Dinamik Faz Geçiş Noktaları

Bu kesimde, öncelikle sistemde var olan fazları bulmak için (2.15), (2.16) ve (2.19), (2.20) ile verilen ortalama alan dinamik denklemleri Adams-Moulton kestirme ve düzeltme yönteminin kullanılması ile nümerik olarak çözülerek dinamik düzen parametrelerinin zamana bağlı davranışları incelenecektir. Daha sonra, dinamik düzen parametreleri tanımı yapılacak ve bu tanım denklemleri Adams-Moulton kestirme düzeltme ve Romberg integrasyon yöntemleri kullanılarak nümerik olarak çözülecek ve dinamik düzen parametrelerinin davranışları indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelenecek, ve bunun bir sonucu olarak dinamik faz geçiş noktaları tespit edilecektir. Bu amaçlar için, (2.15), (2.16) ve (2.19), (2.20)'de verilen dinamik denklemlerin kararlı çözümleri k , d , h ve T parametrelerinin farklı değerleri için hesaplanacaktır. Elde edilen dinamik faz geçiş noktalarından yararlanarak dinamik faz diyagramları (T, h) , (k, T) ve (d, T) düzlemlerinde sunulacaktır. Denklem (2.15), (2.16) ve (2.19), (2.20)'nin kararlı çözümleri 2π periyodu için ξ 'nin periyodik bir fonksiyonu olacaktır. Bunun nedeni ise dinamik denklemlerdeki kosinüslü terimden kaynaklanmaktadır.

$$m_A(\xi + 2\pi) = m_A(\xi) \text{ ve } m_B(\xi + 2\pi) = m_B(\xi), \quad (3.1)$$

$$q_A(\xi + 2\pi) = q_A(\xi) \text{ ve } q_B(\xi + 2\pi) = q_B(\xi). \quad (3.2)$$

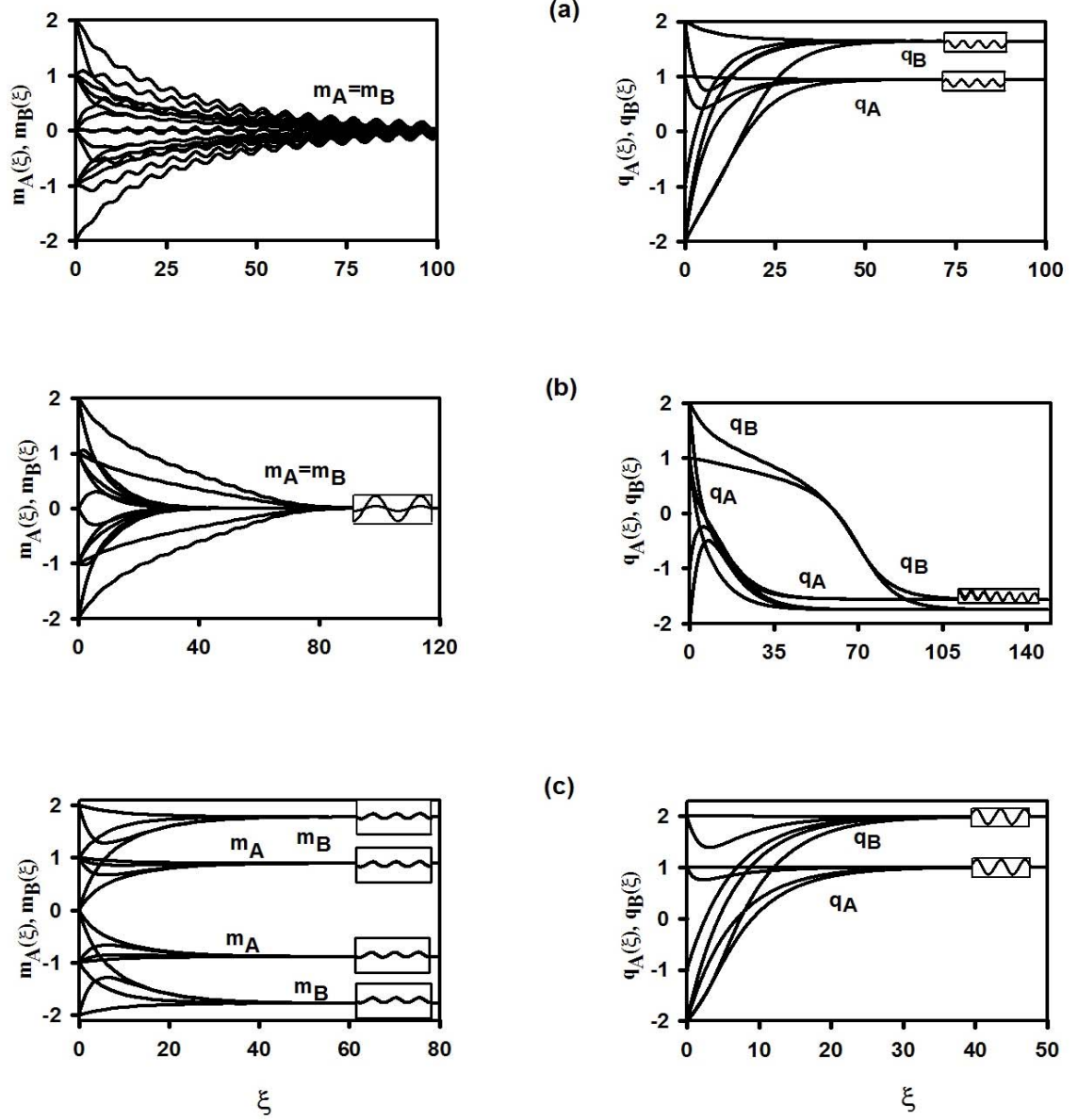
Böylece, çözümler sahip oldukları ya da olmadıkları özelliklerine göre dört tip çözümden biri olabilir.

$$m_A(\xi + \pi) = -m_A(\xi) \text{ ve } m_B(\xi + \pi) = -m_B(\xi), \quad (3.3)$$

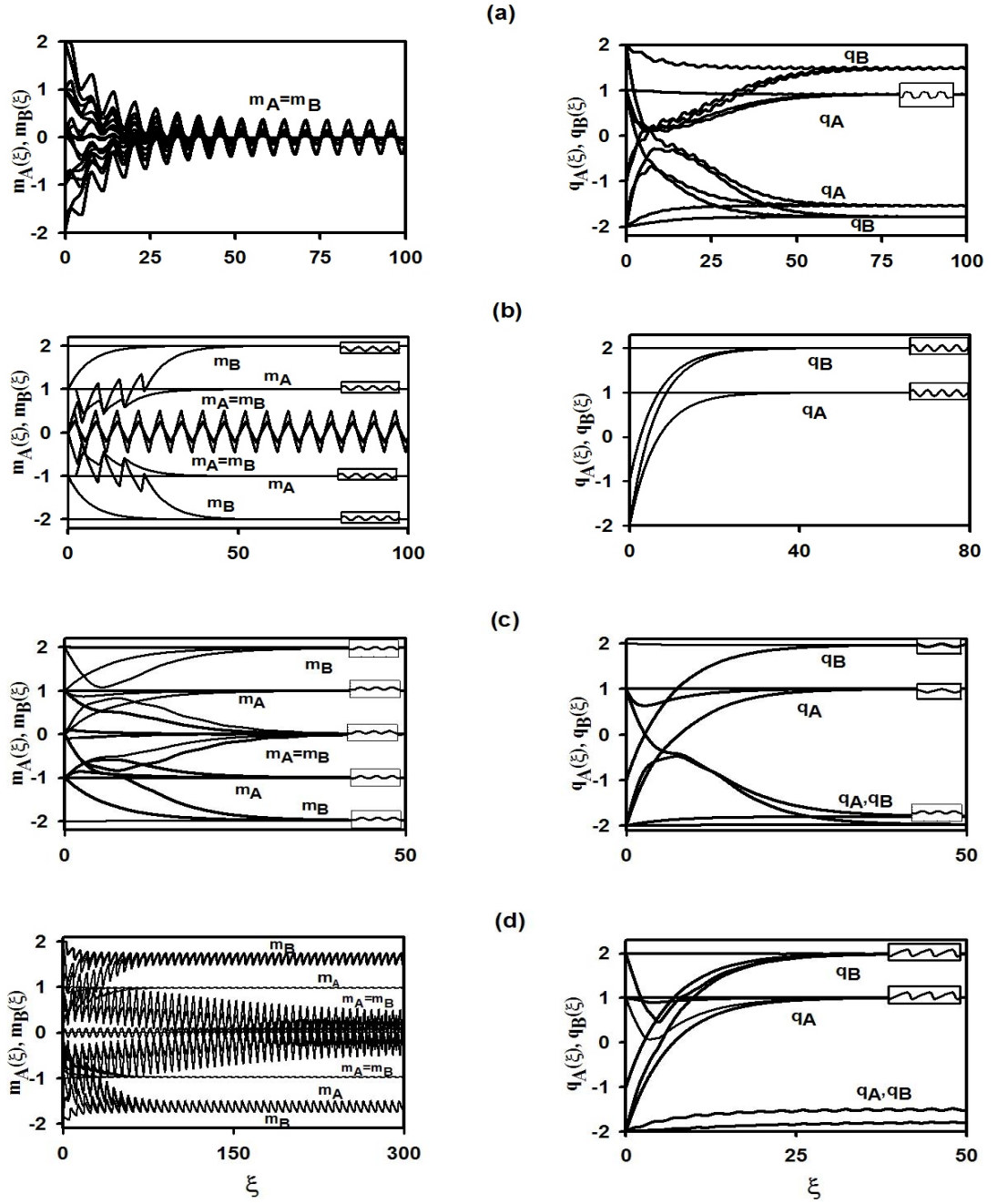
$$q_A(\xi + \pi) = -q_A(\xi) \text{ ve } q_B(\xi + \pi) = -q_B(\xi). \quad (3.4)$$

Denklem (3.3) ve (3.4)'ün birinci tip çözümü, simetrik çözüm olarak adlandırılır ve düzensiz faza karşılık gelir. Bu çözümde, alt örgü mıknatıslanmaları m_A ve m_B birbirine eşittir ($m_A = m_B$), $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ sıfır değeri civarında salınır ve dış manyetik alana uyum gösterir. Diğer taraftan, kuadrupol düzen parametreleri sonlu sıcaklıklarda $q_A = 1$ ve $q_B = 2$ değerleri etrafında salınırlar ve sıcaklık sonsuza gittiğinde $q_A = 3\langle S_k^2 \rangle - 2$ ve $q_B = \langle S_k^2 \rangle - 2$ tanımı ile sıfır değeri civarında salınırlar. Denklem (3.3)'e uyan ve denklem (3.4)'e uymayan ikinci tip çözüm ise antikuadrupol ya da staggered faza karşılık gelir. Bu çözümde, m_A ve m_B birbirine eşit ($m_A = m_B$) ve sıfır değeri etrafında salınırlar ve dış manyetik alana uyarlar. Diğer taraftan, q_A ve q_B birbirine eşit değildir ve dış manyetik alana uymayarak sıfırdan farklı negatif bir değer etrafında salınırlar. Üçüncü tip çözüm denklem (3.3) ve (3.4)'e uymaz ve simetrik olmayan çözüm olarak adlandırılır, ve bu çözüm ferrimanyetik (i) çözüme karşılık gelir. Bunun nedeni ise, m_A ve m_B birbirine eşit değildir ($m_A \neq m_B$) ve sıfırdan farklı bir değer civarında salınırlar. Diğer taraftan, kuadrupol düzen parametreleri q_A ve q_B birbirine eşit değildir ($q_A \neq q_B$) ve sıfırdan farklı bir değer civarında salınırlar. Bu durumda mıknatıslanma ve kuadrupol düzen parametreleri dış manyetik alana uymazlar. Bu gerçekler açık bir şekilde Bölüm 2'de elde edilen (2.15), (2.16) ve (2.19), (2.20) ile verilen dinamik durum denklemlerinin nümerik olarak çözülmesiyle görülebilir. Bu dinamik denklemler, verilen parametreler ve başlangıç değerleri için Adams-Moulton kestirme ve düzeltme yöntemi kullanılarak çözüldü ve çözümler Şekil 3.1 ve Şekil 3.2.'de gösterildi. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de yedi farklı çözüm görülmektedir. Sistemde, d, i ve a temel fazlarının ya da çözümlerinin yanı sıra dört tane bir arada var olan bölgeler, yani karma fazlar mevcuttur. Karma fazlar, a ve d fazlarının bir arada bulunduğu a + d karma fazı; i ve d fazlarının bir arada bulunduğu i + d karma fazı; i ve a fazlarının bir arada bulunduğu i + a karma fazı; i, a ve d fazlarının bir arada bulunduğu i + a + d karma fazlarıdır. Şekil 3.1(a)'da yalnızca simetrik çözüm elde edildi ve bundan dolayı sadece

düzensiz (d) fazı vardır. m_A ve m_B sıfır değeri etrafında salınmakta ve alt örgü kuadropol momentler q_A ve q_B sırasıyla +1 ve +2 değerleri etrafında salınırlar. Bu, d fazına karşılık gelmektedir. Şekil 3.1(b)'de m_A ve m_B birbirine eşit ve sıfır değeri etrafında salınırken, q_A ve q_B birbirlerinden ve sıfırdan farklı negatif bir değer etrafında salınmaktadır. Bu, a fazına karşılık gelmektedir. Bu çözümler başlangıç değerlerine bağlı değildir. Şekil 3.1(c)'de yalnızca simetrik olmayan çözüm bulunmaktadır ve $m_A = \pm 1$ ve $m_B = \pm 2$ değerleri etrafında salınırken, q_A ve q_B birbirinden ve sıfırdan farklı bir değer etrafında salınmaktadır. Bundan dolayı sadece ferrimanyetik (i) faz vardır. Şekil 3.2(a)'da m_A ve m_B sıfır etrafında salınırken q_A ve q_B başlangıç değerlerine göre ya birbirinden ve sıfırdan farklı pozitif bir değer etrafında salınmakta ya da birbirinden ve sıfırdan farklı negatif bir değer etrafında salınmaktadır, yani sistemde a + d karma fazı mevcuttur. Şekil 3.2 (b)'de görüldüğü gibi m_A ve m_B başlangıç değerlerine göre birbirine eşit ve sıfır değeri etrafında ya da birbirinden ve sıfırdan farklı bir değer etrafında salınmaktadır. Yani; m_A ve m_B sıfır değeri etrafında salınırken, q_A ve q_B sıfırdan ve birbirinden farklı pozitif bir değer etrafında salınır. Bu durumda sistemde d fazının olduğu anlaşılır Bununla birlikte m_A ve m_B sıfırdan farklı bir değer etrafında salınırken q_A ve q_B birbirinden ve sıfırdan farklı bir değer etrafında salınmaktadır. Bu durumda ise i fazının sistemde mevcut olduğu anlaşılır. Tüm bunlar göz önüne alındığında sistemde i + d karma fazı olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3.2(c)'de m_A ve m_B başlangıç değerlerine göre birbirine eşit ve sıfır değeri etrafında ya da birbirinden ve sıfırdan farklı bir değer etrafında salınmaktadır. m_A ve m_B sıfır değeri etrafında salınırken, q_A ve q_B sıfırdan ve birbirinden farklı negatif bir değer etrafında salınırlar. Diğer taraftan, m_A ve m_B sıfırdan farklı bir değer etrafında salınırken, $q_A = 1$ ve $q_B = 2$ değerleri etrafında salınırlar, yani sistemde i + a fazı olduğu görülür. Şekil 3.2(d), Şekil 3.2(c)'ye benzer olmakla birlikte, Şekil 3.2(c)'de i + a ve Şekil 3.2(d)'de i + a + d karma fazları mevcuttur. Şekil 3.2 (b), Şekil 3.2 (c) ve Şekil 3.2 (d)'deki çözümler başlangıç değerlerine bağlı değildir.



Şekil 3.1. Karma spin (1, 2) Ising sisteminin alt örgü mıknatıslanmaları ve alt örgü kuadrupol momentlerinin zamanla değişimi. **a)** Sistemde sadece düzensiz (d) faz mevcuttur, ($k=0.25$, $d=0.75$, $h = 0.25$, $T = 2.25$). **b)** Sistemde sadece antikuadrupol yada staggered (a) fazı mevcuttur, ($k = 0.25$, $d = -0.25$, $h = 0.075$, $T=1.75$). **c)** Sistemde ferrimanyetik (i) faz mevcuttur, ($k=0.25$, $d = 1.5$, $h = 0.025$, $T = 1.25$).



Şekil 3.2. Karma spin (1, 2) Ising sisteminin alt örgü mıknatıslanmaları ve alt örgü kuadrupol momentlerinin zamanla değişimi. **a)** Sistemde hem düzensiz (d) fazı hem de antikuadrupol yada staggered (a) fazı mevcuttur, yani (d+a) karma fazı mevcuttur, ($k = 0.25$, $d = -0.25$, $h = 1.75$, $T = 1.5$). **b)** Sistemde i + d karma fazı mevcuttur, ($k = -0.025$, $h = 0.9$, $d = 0.25$, $T = 0.05$). **c)** Sistemde i + a karma fazı mevcuttur, ($k = 0.125$, $d = -0.075$, $h = 0.125$, $T = 0.5$). **d)** Sistemde i + a + d karma fazı mevcuttur, ($k = 0.125$, $d = 0.125$, $h = 1.0$, $T = 0.225$).

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'ye bakıldığında sistemde yedi farklı faz mevcut olduğu görülmektedir. Bu fazlar, sırasıyla d, a, i, a + d, i + d, i + a ve i + a + d fazlarıdır. Bu yedi fazın arasındaki dinamik faz sınırlarını belirleyebilmemiz için, dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarını hesaplamalı ve daha sonra bu DFG sıcaklıkları kullanılarak sistemin dinamik faz diyagramları sunulabilir. Dinamik faz geçiş sıcaklıkları, bir periyot başına ortalama düzen parametrelerinin yada dinamik düzen parametrelerinin davranışının indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelenmesiyle elde edilecektir.

Dinamik düzen parametreleri, dinamik alt örgü mıknatıslanmaları (M_A , M_B) ve dinamik alt örgü kuadrupol momentleri (Q_A , Q_B)

$$M_A = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} m_A(\xi) d\xi, \quad M_B = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} m_B(\xi) d\xi. \quad (3.5)$$

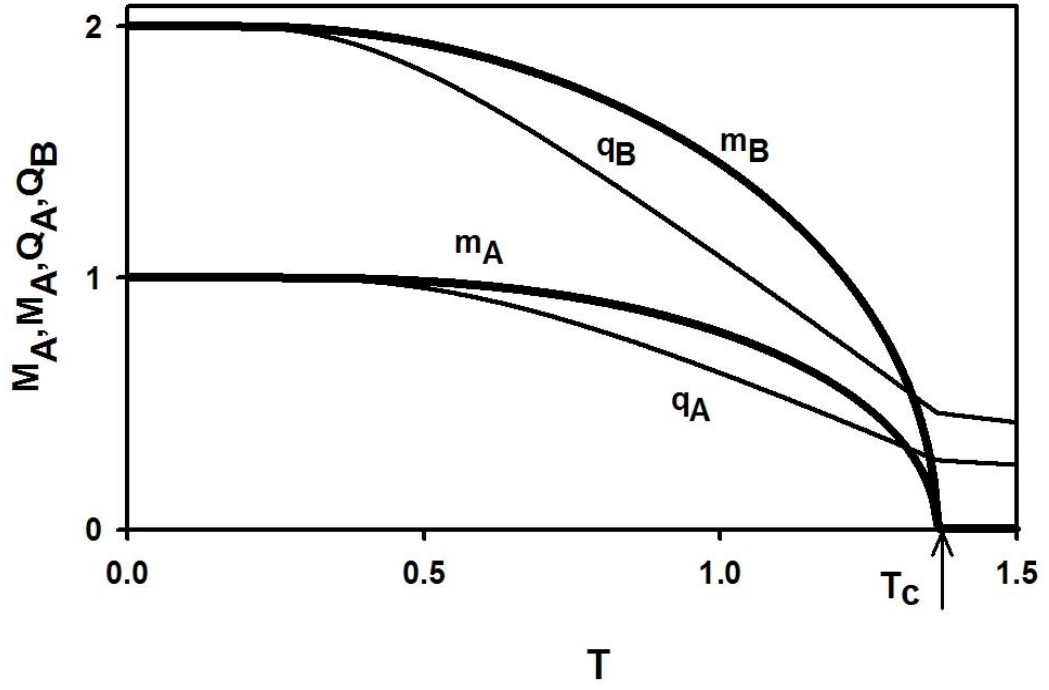
ve

$$Q_A = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} q_A(\xi) d\xi, \quad Q_B = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} q_B(\xi) d\xi. \quad (3.6)$$

şeklinde tanımlanır.

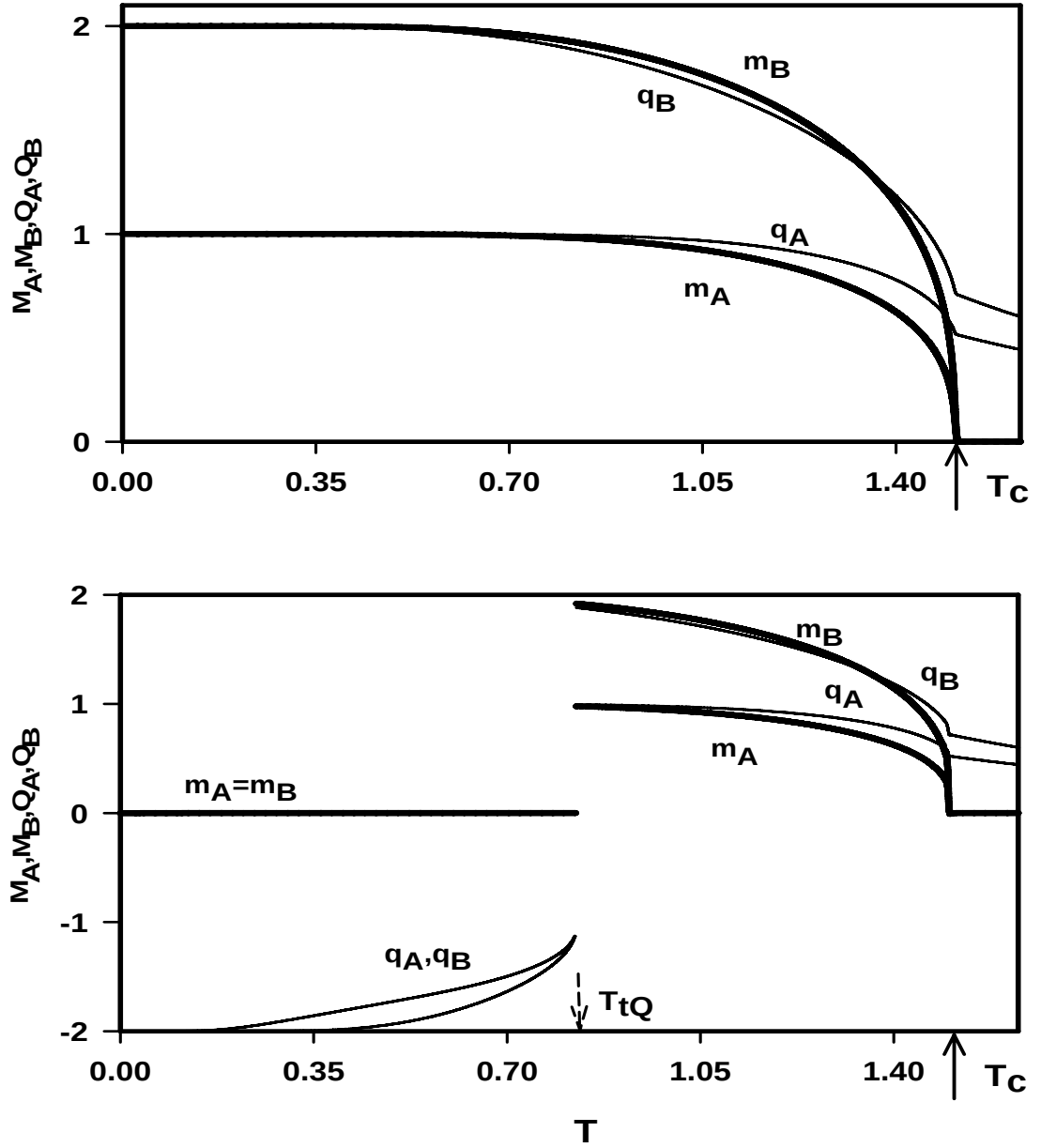
M_A , M_B , Q_A ve Q_B 'nin davranışı, h , d ve k 'nin bir kaç değeri için indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak, Romberg integrasyon yöntemi ile Adams-Moulton kestirme ve düzeltme gibi nümerik metotların birleştirilmesiyle kapsamlıca incelendi. Bu inceleme sonucu faz geçişlerinin karakteristikleri (birinci- veya ikinci derece faz geçişleri) belirlendi ve DFG sıcaklıkları elde edildi. Örnek olarak, dinamik düzen parametrelerinin sıcaklığa bağlılığı Şekil 3. 3- 3. 4'de verildi. Bu şekillerde kalın çizgi M_A ve M_B 'yi, ince çizgi Q_A ve Q_B 'yi temsil etmektedir. T_{IQ} ve T_C , sırasıyla M_A , M_B , Q_A ve Q_B için birinci- ve ikinci-derece faz geçiş (yada kritik) sıcaklıklarını göstermektedir. Şekil 3.3, $k = -0.025$, $d = 0.25$ ve $h = 0.025$ için M_A , M_B , Q_A ve Q_B 'nin davranışlarını indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak göstermektedir. Bu şekilde, sıfır sıcaklıkta $M_A = M_B = 2$ ve $Q_A = 1.0$, $Q_B = 2.0$ ve düzen parametreleri indirgenmiş sıcaklık artarken sürekli olarak azalarak, $T_C = 1.3725$ de sıfır

olmaktadırlar, ve böylece ikinci-derece faz geçişi meydana gelmektedir. Diğer taraftan, Q_A ve Q_B (sıcaklığın artması ile) T_C sıcaklığına kadar azalmakta ve T_C sıcaklığında bir keskin dönüş yaptıktan sonra sıcaklık sonsuza giderken sıfır olmaktadır. Bu durumda, dinamik faz geçişi i fazından d fazına olmaktadır ve çözüm M_A , M_B , Q_A ve Q_B 'nin başlangıç değerlerine bağlı değildir. Şekil 3. 4, beş farklı başlangıç değeri için, $k = 0.125$, $d = 0.125$ ve $h = 0.025$ değerleri için M_A , M_B , Q_A ve Q_B 'nin termal değişimlerini göstermek için çizilmiştir. Şekil 3.4(a) için başlangıç değerleri $M_A=1$, $M_B=2$, $Q_A=1$, $Q_B=2$; $M_A=M_B=1$, $Q_A=1$, $Q_B=-1$; $M_A=1$, $M_B=0$, $Q_A=1$, $Q_B=-2$; $M_A=0$, $M_B=2$, $Q_A=-2$, $Q_B=2$ ve Şekil 3.4(b) için başlangıç değeri $M_A=M_B=0$ and $Q_A=Q_B=-2$ dir. Şekil 3.4 (a), Şekil 3.3'e benzerdir. T mutlak sıcaklığında dinamik düzen parametreleri $M_A=M_B$ ve $Q_A=Q_B$ 'dir, indirgenmiş sıcaklık artarken dinamik düzen parametreleri sıfıra doğru sürekli olarak azalmakta, $T_C = 1.507$ sıcaklığında sıfır olurlar ve böylece ikinci-derece faz geçişi meydana gelmektedir. Şekil 3.4(b)'de, sistem peş peşe iki faz geçişi vermektedir. Bu geçişlerin birincisi a fazından ($M_A = M_B = 0$ ve $Q_A \neq Q_B \neq 0$) i fazına ($M_A \neq M_B \neq 0$ ve $Q_A \neq Q_B \neq 0$) birinci-dereceden faz geçişidir ($T_{IQ} = 0.827$); Çünkü, dinamik düzen parametreleri indirgenmiş sıcaklık artarken azalmakta ve belirli bir sıcaklıkta yani $T=T_{IQ}$ 'da süreksiz bir şekilde sıfır olmaktadır. İkincisi ise i fazından d fazına ($M_A = M_B = 0$ ve $Q_A = 1, Q_B = 2$), ikinci-dereceden faz geçişidir ($T_C = 1.507$). Bu gerçekler Şekil 3.6(b) faz diyagramında $h = 0.025$ için açıkça görülebilir. (Şekil 3.4'ü Şekil 3.5(c) ile karşılaştırınız).



Şekil 3.3.

$k = -0.025$, $d = 0.25$ ve $h = 0.025$ değerleri için ortalama mıknatıslanmaların M_A ve M_B (kalın çizgi) ve kuadropol momentlerin Q_A ve Q_B (ince çizgi) indirgenmiş sıcaklığa bağlı olarak davranışları. Sistemde ikinci-derece faz geçişi meydana gelmektedir, ($T_C = 1.3785$).



Şekil 3.4. $k = 0.125$, $d = 0.125$ ve $h = 0.025$ değerleri için ortalama mıknatıslanmaların M_A ve M_B (kalın çizgi) ve kuadrupol momentlerin Q_A ve Q_B (ince çizgi) indirgenmiş sıcaklığa bağlı olarak davranışları. **a)** Şekil 3.3 ile aynı fakat $T_C = 1.507$. **b)** Sistemde peşpeşe iki faz geçişi meydana gelmektedir. Birincisi a fazından i fazına ($T_{tQ} = 0.827$) birinci-derece faz geçişi, ikincisi i fazından d fazına ikinci-derece faz geçişi meydana gelmektedir ($T_C = 1.507$).

3.2. Dinamik Faz Diyagramları

Önceki kesimde dinamik faz geçiş sıcaklıkları elde edildi. Bu kesimde ise, sistemin etkileşme parametreleri olan k ve d 'nin çeşitli değerleri için (T, h) düzleminde, h ve d 'nin çeşitli değerleri için (k, T) düzleminde, h ve k 'nın çeşitli değerleri için de (d, T) düzleminde dinamik faz diyagramlarını sunabiliriz. Bu faz diyagramlarında sürekli ve kesik çizgiler sırasıyla ikinci-derece ve birinci-derece faz geçiş çizgilerini göstermektedir. Dinamik üçlü kritik nokta içi dolu dairelerle gösterilmiştir. (T, h) düzleminde farklı temel topolojide on üç, (k, T) düzleminde farklı temel topolojide sekiz ve (d, T) düzleminde ise farklı yedi dinamik faz diyagramı bulundu. Dinamik faz diyagramlarında, T dinamik üçlü kritik noktayı, B dinamik çift kritik son nokta, TP dinamik üçlü (triple) noktayı ve QP dinamik kuadropol noktayı göstermektedir.

3.2.1. (T, h) Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları

Bu kesimde, indirgenmiş bikuadratik etkileşim parametresinin (k) ve indirgenmiş kristal alan etkileşim parametresinin (d) çeşitli değerleri için (T, h) düzleminde faz diyagramları sunulacak ve sistemin k ve d parametrelerine bağlılığı incelenecektir

i) Şekil 3.5 (a), $k = -0.025$ ve $d = 0.25$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramında, indirgenmiş yüksek sıcaklıkta (T) ve indirgenmiş yüksek manyetik genliğinde (h), düzensiz (d) yani paramanyetik faz mevcuttur, h ve T 'nin düşük değerlerinde ise ferrimanyetik (i) faz vardır. Bu iki bölge arasındaki dinamik faz sınırı, $i \rightarrow d$, ikinci-derece faz geçiş çizgisidir. İndirgenmiş sıcaklığın düşük ve indirgenmiş manyetik alan genliğinin belirli değerlerinde i ve d fazının birlikte bulunduğu $i + d$ fazı bulunmaktadır. $i + d$ fazı, i fazı ve d fazından birinci-derece faz geçiş çizgisiyle ayrılmıştır. Sistem aynı zamanda birinci ve ikinci-derece faz geçiş çizgilerini birleştiren yalnızca bir dinamik üçlü kritik noktaya sahiptir. Bu faz diyagramına benzer faz diyagramı daha önce kinetik spin-1/2 [30] (bu sistemde ferrimanyetik (i) faz yerine ferromanyetik (f) faz gelmektedir), spin-1 [46, 51, 52] (bu çalışmalarda i fazının yerine f fazı gelmektedir), spin-3/2 [47] (bu çalışmada i fazının yerine ferromanyetik-3/2 ($f_{3/2}$) fazı gelmektedir) ve spin-2 [42, 48] (bu çalışmalarda i fazı yerine ferromanyetik-2 (f_2) fazı gelmektedir) Ising sistemlerinde elde edilmiştir.

Ayrıca bu faz diyagramı karma spin (1/2, 1) [8, 9] ve karma spin (1, 3/2) [22] Ising sistemlerinde de elde edilmiştir.

ii) Şekil 3.5 (b), $k = 0.25$ ve $d = 1.5$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramı Şekil 3.5 (a)'ya benzemektedir, fakat Şekil 3.5 (a)'dan farklı olarak indirgenmiş sıcaklığın ve indirgenmiş manyetik alan genliğinin düşük değerlerinde $i+a$ fazı meydana gelmektedir. $i + a$ fazı ile i fazı arasındaki dinamik faz geçiş çizgisi, birinci-derece faz geçişidir. Bu faz diyagramı daha önce tek spin Ising [42, 46, 48, 52] (Kaynak 42 ile verilen çalışmada $i + a$ karma fazının yerine $f_2 + p$ karma fazı, Kaynak 46 ile verilen çalışmada $i + a$ karma fazının yerine $f + p$ karma fazı, Kaynak 48 ile verilen çalışmada i ve antikuadropolar (a) fazlarının yerine sırasıyla f_2 ve ferrokuadropolar (fq) fazları ve Kaynak 52 ile verilen çalışmada ise i ve a fazlarının yerine f ve f_q fazları gelmektedir) ve karma spin [8, 9, 22] (Kaynak 8 ve 9 daki faz diyagramlarında $i + a$ karma fazı yerine $i + p$ karma fazı gelmiştir) Ising sistemlerinde elde edilmiştir.

iii) Şekil 3.5 (c), $k = 0.125$ ve $d = 0.125$ değeri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Sistemde d ve i fazlarının yanı sıra dört tane bir arada var olan faz (yani karma faz) mevcuttur. Bu karma fazlar, a ve d fazlarının bir arada bulunduğu $a + d$ karma fazı, i ve d fazlarının bir arada bulunduğu $i + d$ karma fazı, i ve a fazlarının bir arada bulunduğu $i + a$ karma fazı, a ve d fazlarının bir arada bulunduğu $a + d$ karma fazı, i , a ve d fazlarının bir arada bulunduğu $i + a + d$ karma fazlarıdır. Bu karma fazlar arasındaki dinamik faz sınırları, $i + a \rightarrow i$, $i + a \rightarrow i + a + d$, $i + a + d \rightarrow a + d$, $a + d \rightarrow d$ ve $i \rightarrow i + d$ birinci-derece ve $i \rightarrow d$ ikinci-derece faz geçiş çizgileridir. Sistemde ayrıca bir tane dinamik üçlü kritik nokta (T), bir tane dinamik üçlü (triple) nokta (TP) ve iki tane dinamik kuadropol nokta (QP) mevcuttur.

iv) Şekil 3.5 (d)'de, $k = 0.25$ ve $d = 0.25$ değerleri için elde edilen faz diyagramı sunulmuştur. Bu faz diyagramı Şekil 3.5 (c)'ye benzemekle birlikte Şekil 3.5 (c)'den farkı: 1) $a + d$ fazı daha büyük bölgeyi kapsamaktadır. 2) Sistem B dinamik çift kritik son noktaya sahiptir. 3) QP dinamik kuadropol nokta kayboluyor. 4) $i + d$ fazı kayboluyor. Bu faz diyagramının benzeri karma spin (1, 3/2) [22] Ising sisteminde elde edildi.

v) Şekil 3.6 (a)'da, $k = 0.25$ ve $d = 0.0375$ değerleri için elde edilen faz diyagramı sunulmuştur. Bu faz diyagramı Şekil 3.5 (d)'ye benziyor ancak B dinamik çift kritik son nokta ve i fazı kayboluyor. Bu faz diyagramının benzeri karma spin $(1, 3/2)$ [22] Ising sisteminde elde edildi.

vi) Şekil 3.6 (b), $k = -0.125$ ve $d = -0.125$ değerleri için elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramında d ve i + a + d fazları mevcuttur. Bu iki bölge arasındaki dinamik faz sınırı, yüksek indirgenmiş sıcaklık ve indirgenmiş manyetik alan genliğinin belirli değerlerinde ikinci-derece faz geçiş çizgisidir ve indirgenmiş sıcaklığın düşük ve indirgenmiş manyetik alan genliğinin büyük değerlerinde birinci-derece faz geçiş çizgisidir.

vii) Şekil 3.6 (c), $k = -0.025$ ve $d = -0.05$ değerleri için elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramı Şekil 3.6 (b)'ye benzer ancak sistem i fazına sahiptir.

viii) Şekil 3.6 (d), $k = -0.025$ ve $d = -0.3$ değerleri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramı Şekil 3.6 (c)'ye benzer fakat indirgenmiş sıcaklığın ve indirgenmiş manyetik alan genliğinin düşük değerleri için i + a fazı mevcuttur. Ayrıca indirgenmiş manyetik alan genliğinin yüksek ve indirgenmiş sıcaklığın düşük değerlerinde meydana gelen i + a fazı daha büyük olmaktadır.

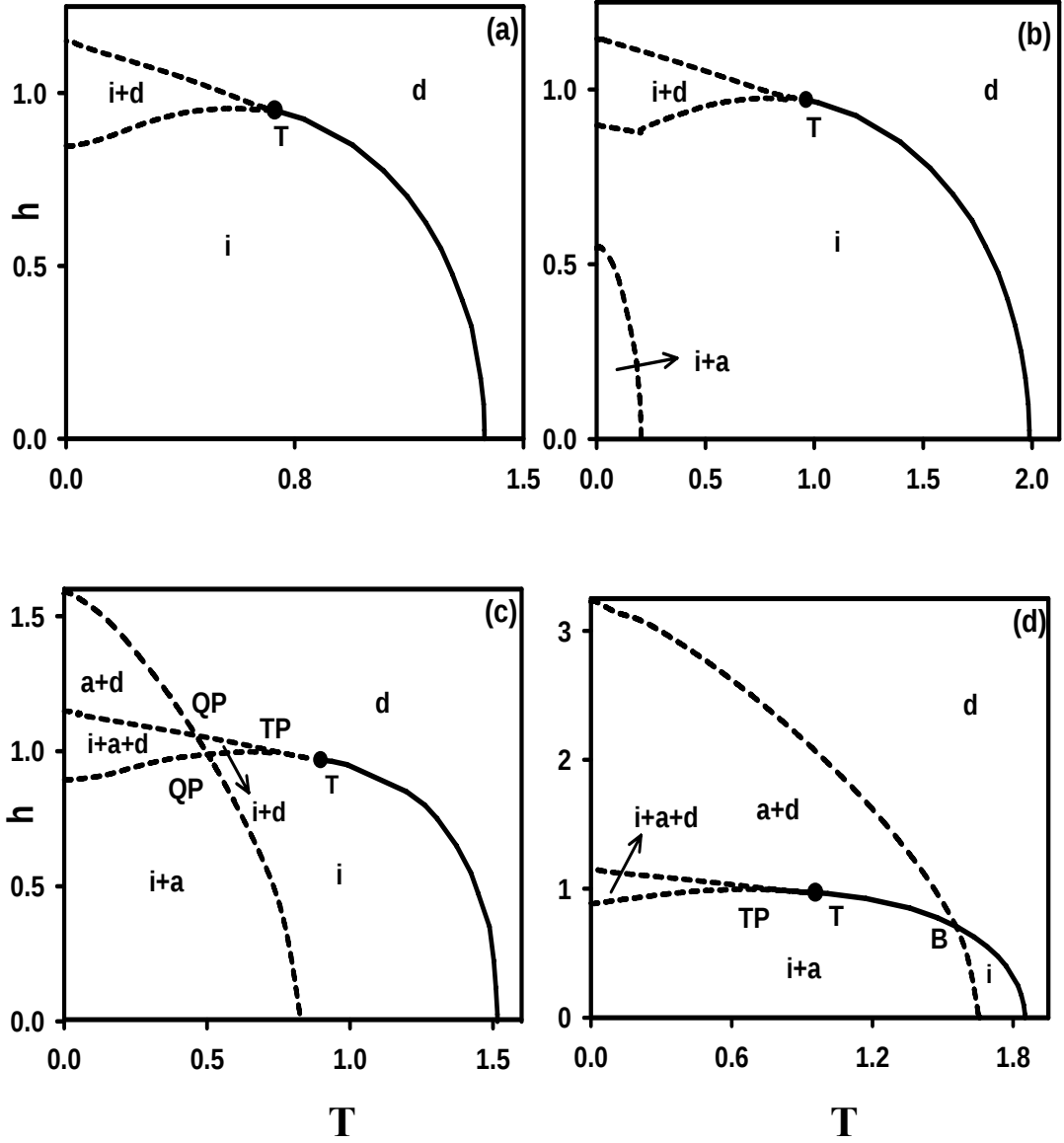
ix) Şekil 3.7 (a), $k = 0.25$ ve $d = -0.05$ değerleri için (T, h) düzleminde elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramı d, a + d, i + a ve i + a + d fazlarına sahiptir. Bu fazlar arasındaki dinamik faz sınırları, yalnızca i + a ile d çözümleri arasında ikinci derece faz geçiş, diğer bölgeler arasında birinci dereceden faz geçiş çizgisidir. Sistemde ayrıca bir tane dinamik üçlü kritik nokta (T) ve bir tane dinamik üçlü (triple) nokta (TP) mevcuttur.

x) Şekil 3.7 (b), $k = 0.125$ ve $d = -0.075$ değerleri için elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramı Şekil 3.7 (a)'ya benzer fakat bir fark dışında, indirgenmiş manyetik alan genliğinin düşük ve indirgenmiş sıcaklığın yüksek değerlerinde i + a ile a + d arasındaki faz geçişi birinci dereceden faz geçiştir. Bu yüzden sistemde ikinci bir dinamik üçlü kritik nokta (T) meydana gelmektedir.

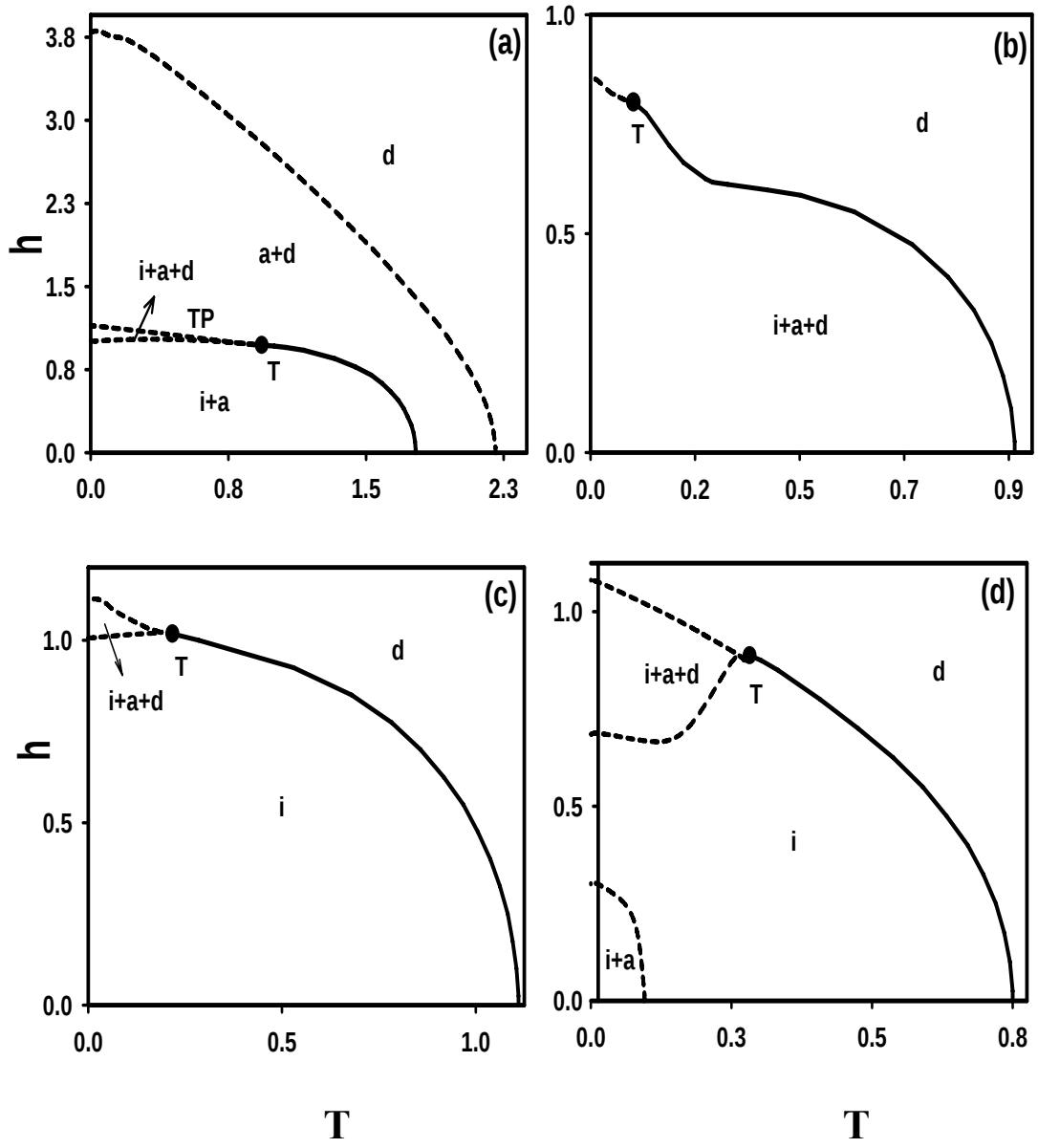
xi) Şekil 3.7 (c), $k = 0.25$ ve $d = -0.25$ değerleri için elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramı Şekil 3.7 (b)'ye benzer fakat bir fark dışında, sistemde $i + a + d$ fazı kayboluyor, dolayısıyla da dinamik üçlü (triple) nokta (TP)'da kayboluyor.

xii) Şekil 3.7 (d), $k = 0.125$ ve $d = -0.2$ değerleri için elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramı ilginç bir faz diyagramıdır, öyle ki sistemde bulunan bölgeler arasındaki faz geçiş sınırlarının hepsi birinci-dereceden faz geçiş çizgileridir. Dolayısıyla da sistemde dinamik üçlü kritik nokta (T) mevcut değildir. Sistemde bir tane B dinamik çift kritik son nokta ve bir tane de QP dinamik kuadropol nokta mevcuttur.

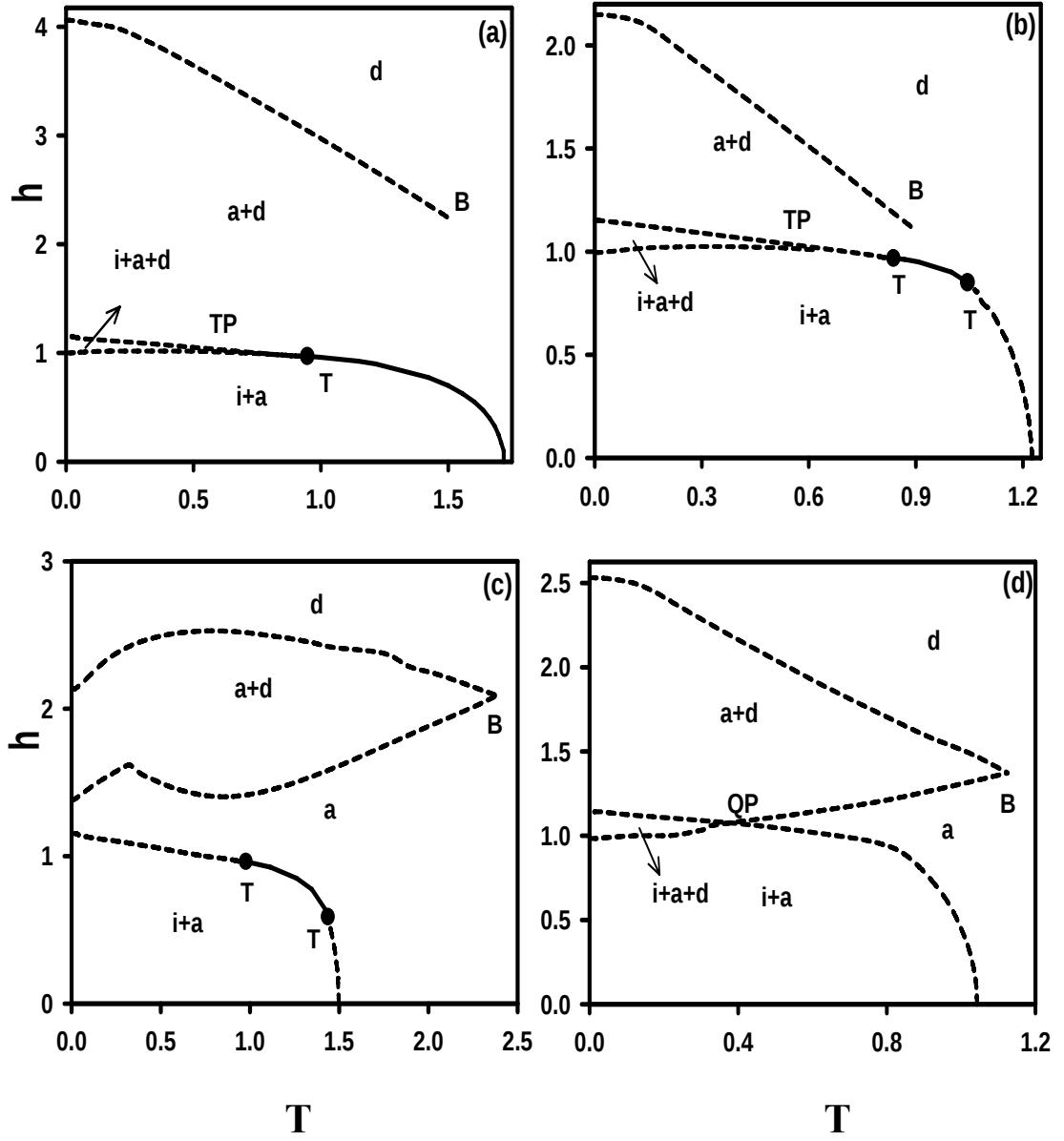
xiii) Şekil 3.8, $k = 0.25$ ve $d = -0.75$ değerleri için elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramı Şekil 3.7 (d)'ye benziyor ancak $i + a + d$ fazı ve QP dinamik kuadropol nokta kayboluyor.



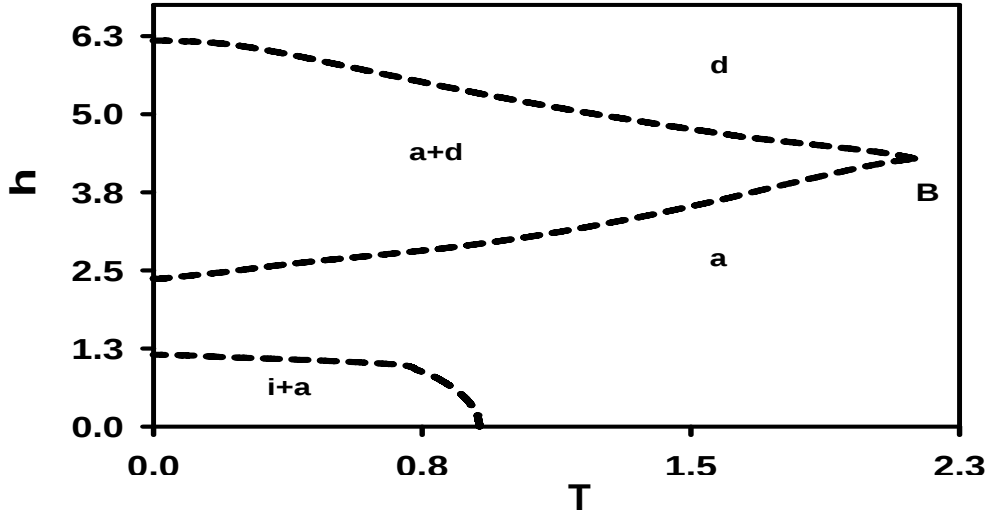
Şekil 3.5. Kinetik karma spin (1, 2) Ising modelinin (T, h) düzleminde dinamik faz diyagramları. a) $k=-0.025$ ve $d=0.25$ için, b) $k=0.25$ ve $d=1.5$ için, c) $k=0.125$ ve $d=0.125$ için ve d) $k=0.25$ ve $d=0.25$ için. Dinamik üçlü kritik nokta içi dolu daire sembolü ile gösterilmiştir. Kesikli ve sürekli çizgiler sırasıyla birinci ve ikinci-derece faz geçiş çizgileridir.



Şekil 3.6. Şekil 3.5 ile aynı fakat, a) $k=0.25$ ve $d=0.0375$ için, b) $k=-0.125$ ve $d=-0.125$ için, c) $k=-0.025$ ve $d=-0.05$ için, d) $k=-0.025$ ve $d=-0.3$ için.



Şekil 3.7. Şekil 3.5 ile aynı fakat, a) $k=0.25$ ve $d=-0.05$ için, b) $k=0.125$ ve $d=-0.075$ için, c) $k=0.25$ ve $d=-0.25$ için ve d) $k=0.125$ ve $d=-0.2$ için, sistemde dinamik üçlü kritik nokta bulunmuyor.



Şekil 3.8. Şekil 3.5 ile aynı fakat, $k=0.25$ ve $d=-0.75$ için ve sistemde dinamik üçlü kritik nokta bulunmuyor.

3.2.2. (k, T) Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları

Bu kesimde, farklı h ve d değerleri için (k, T) düzleminde sistemin dinamik faz diyagramları sunulacaktır. Şekil 3.9-10, h ve d 'nin farklı değerleri için (k, T) düzleminde dinamik faz diyagramlarını göstermektedir ve sekiz temel faz diyagram elde edilmiştir. Bu faz diyagramlarında kesikli ve sürekli çizgiler sırasıyla birinci-derece ve ikinci-derece faz geçiş çizgilerini göstermektedir. Dinamik üçlü kritik nokta içi dolu dairelerle gösterilmiştir.

(i) Şekil 3.9 (a), $d=0.0375$ ve $h=0.25$ değeri için (k, T) düzleminde elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu diyagramda, üç tane dinamik üçlü kritik noktanın yanı sıra bir B dinamik çift kritik son nokta, düzensiz (d) ve ferrimanyetik (i) fazları ile birlikte i + a ve a + d fazları da mevcuttur. d ve i, d ve a + d fazları arasında dinamik faz sınırları birinci-derece faz geçişleridir. Diğer tüm fazlar arasındaki dinamik sınırlar ise ikinci-derece faz geçiş çizgileridir.

(ii) Bu tip faz diyagramı, Şekil 3.9 (b)'de görüldüğü gibi $d=1.5$ ve $h=0.93$ için sunulmuştur. Bu diyagramda, iki tane dinamik üçlü kritik noktanın yanı sıra bir tane dinamik çift kritik son nokta (B) ve bir tane dinamik üçlü (triple) nokta (TP) mevcuttur.

Ayrıca sistemde düzensiz d ve i fazları ile birlikte $i + a$, $a + d$ ve $i + d$ fazları da mevcuttur.

(iii) Bu tip faz diyagram, Şekil 3.9 (c)'de görüldüğü gibi $d=0.25$ ve $h=0.9375$ için sunulmuştur ve Şekil 3.9 (b)'ye benzerdir, fakat Şekil 3.9 (b)'den farklı olarak sistemde $i + a + d$ fazı ve dinamik kuadropol nokta (QP) mevcuttur.

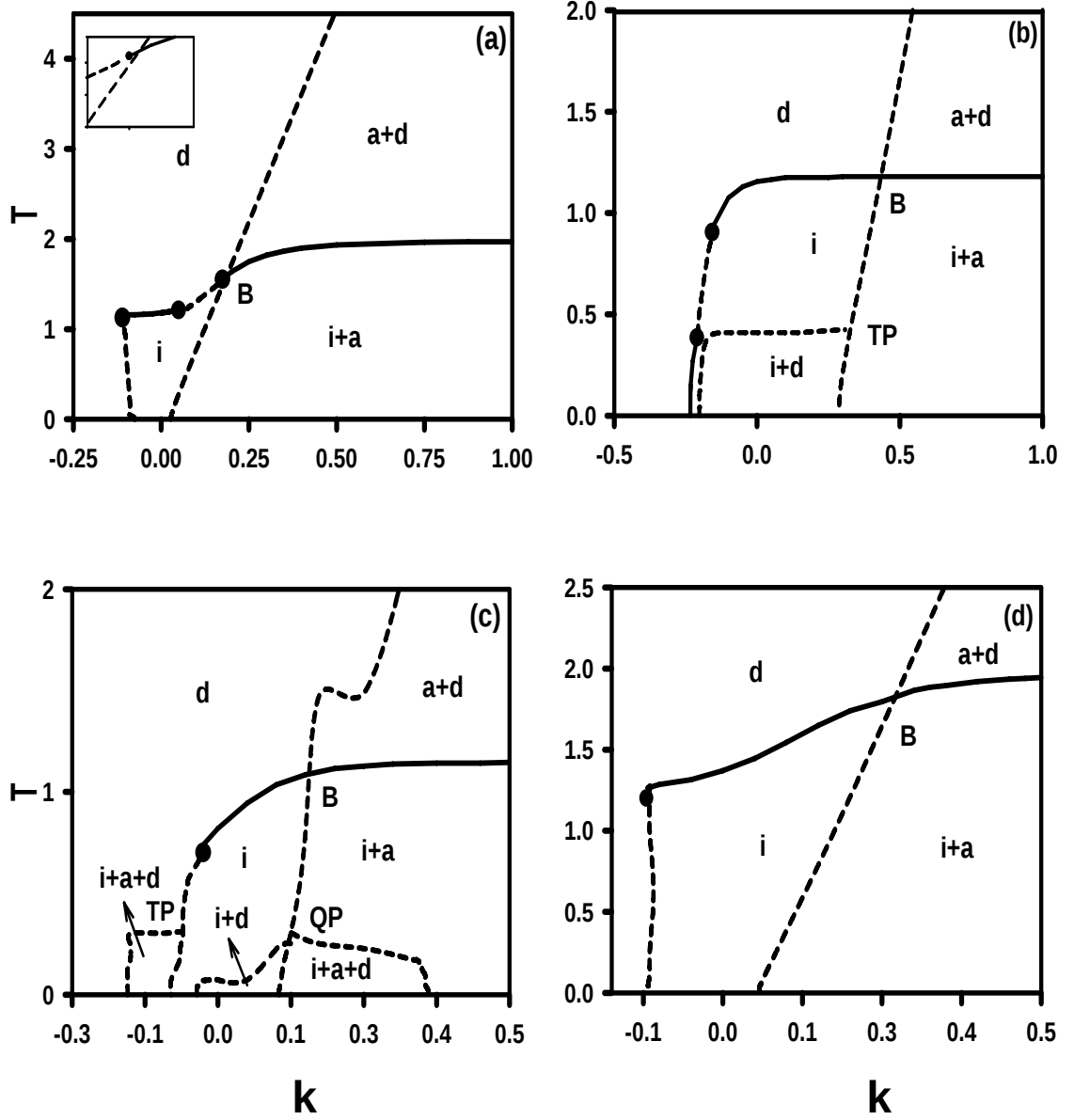
(iv) Bu tip faz diyagram, Şekil 3.9 (d)'de görüldüğü gibi $d=0.25$ ve $h=0.25$ için sunulmuştur ve Şekil 3.9 (a)'ya benzerdir, fakat Şekil 3.9 (a)'dan farkı i fazı daha büyük olmakta ve sistemde yalnızca bir tane dinamik üçlü kritik nokta mevcuttur.

(v) Şekil 3.10 (a), $d=0.2$ ve $h=1.02$ için elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramı çok ilginç bir faz diyagramıdır, öyle ki sistemde dinamik üçlü (triple) nokta (TP) ve dinamik kuadropol nokta (QP)'nin yanında i , d , $i + a$, $a + d$ ve $i + a + d$ fazları da mevcuttur ve bu fazlar arasındaki dinamik faz sınırları birinci-derece faz geçiş çizgileridir. Dolayısıyla da sistemde dinamik üçlü kritik nokta mevcut değildir.

(vi) Bu tip faz diyagram, Şekil 3.10 (b)'de görüldüğü gibi $d=0.25$ ve $h=1.0625$ için sunulmuştur ve Şekil 3.10 (a)'ya benzerdir, fakat Şekil 3.10 (a)'dan farklı olarak $i + a$ fazı ve dinamik üçlü (triple) nokta (TP) kayboluyor.

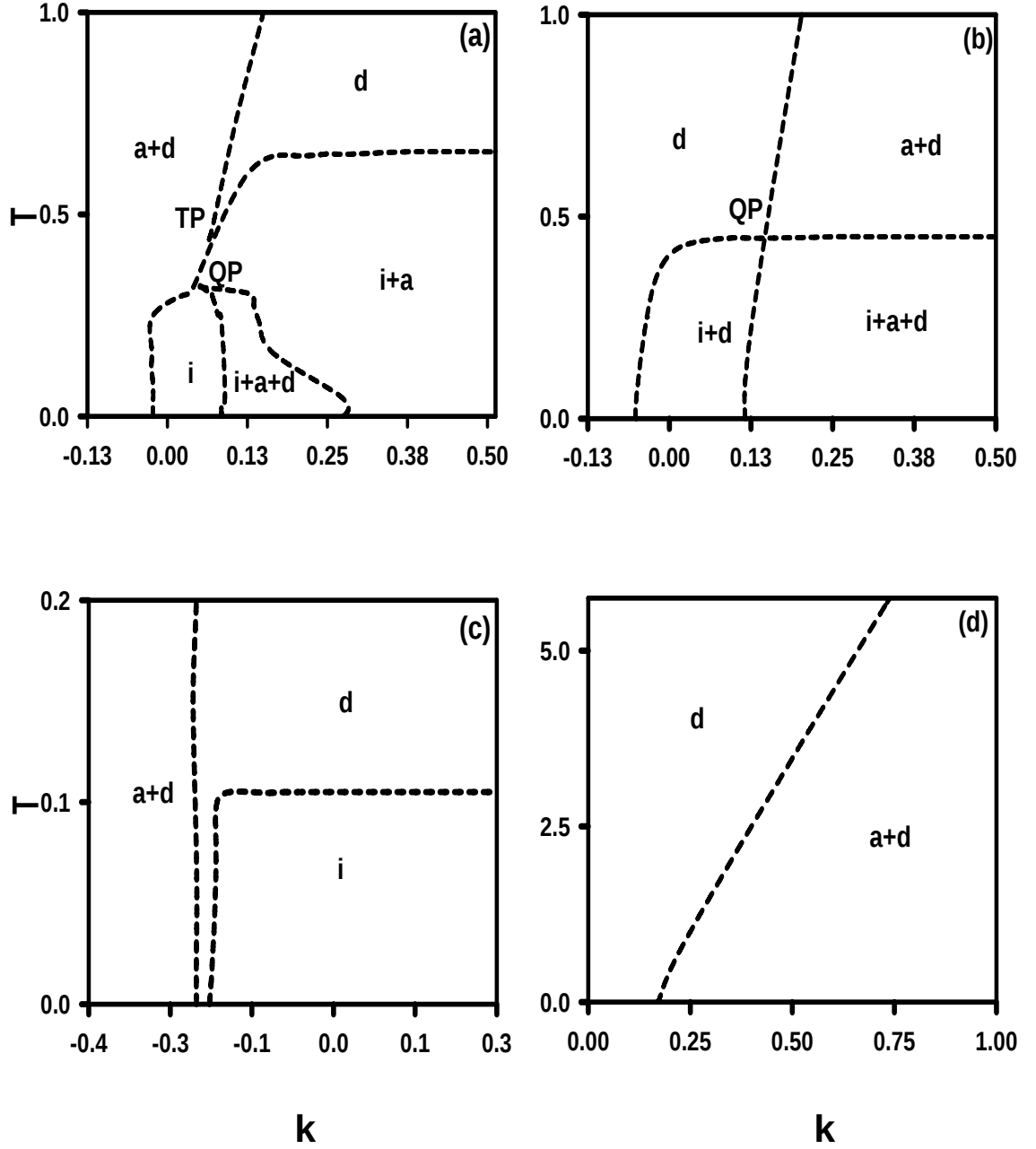
(vii) Şekil 3.10 (c), $d=1.5$ ve $h=1.125$ için elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramı, $i + a + d$ fazının ve dinamik kuadropol noktanın (QP) kaybolması dışında Şekil 3.10 (b)'ye benzemektedir.

(viii) Bu tip faz diyagram, $d=0.25$ ve $h=2.0$ için Şekil 3.10 (d)'de çizilmiştir ve yalnızca d ve $a + d$ fazları mevcuttur. Bu iki faz arasındaki dinamik faz sınırları birinci-derece faz geçiş çizgisidir. Bundan başka sıfır sıcaklıkta ve T 'nin çok küçük değerlerinde ve h 'nin yüksek değerlerinde d fazı vardır. (k, T) düzleminde elde edilen bu faz diyagramının benzeri, Kaynak [22, 49, 50]'de sunulan, daha önceki çalışmalarda da elde edildi. Yalnız Kaynak 49-50 ile verilen sistemlerdeki faz diyagramlarında a fazı yerine ferrokuadropolar (fq) fazı gelmektedir.



Şekil 3.9.

Karma spin (1, 2) modelinin (k, T) düzleminde dinamik faz diyagramları. Dinamik üçlü kritik nokta içi dolu daire sembolü ile gösterilmiştir. Kesikli ve sürekli çizgiler sırasıyla birinci ve ikinci-derece faz geçiş çizgileridir. a) $d = 0.0375$ ve $h = 0.25$ için, b) $d = 1.5$ ve $h = 0.93$ için, c) $d = 0.25$ ve $h = 0.9375$ için ve d) $d = 0.25$ ve $h = 0.25$



Şekil 3.10. Karma spin (1, 2) modelinin (k, T) düzleminde dinamik faz diyagramları. Kesikli çizgiler birinci-derece faz geçiş çizgisidir. a) $d=0.2$ ve $h=1.02$ için, b) $d=0.25$ ve $h=1.0625$ için, c) $d=1.5$ ve $h=1.125$ için ve d) $d=0.25$ ve $h=2.0$

3.2.3. (d , T) Düzleminde Dinamik Faz Diyagramları

Bu kesimde, bir önceki kesimde yapılan işlemlere benzer işlemler yapılacak ve elde edilen dinamik faz geçiş noktalarından faydalanılarak değişik h ve k değerleri için sistemin (d , T) düzleminde dinamik faz diyagramları sunulacaktır. Şekil 3.11- 3.12, h ve d 'nin farklı değerleri için (k , T) düzleminde dinamik faz diyagramlarını göstermektedir ve yedi temel faz diyagram elde edilmiştir. Bu faz diyagramlarında kesikli ve sürekli çizgiler sırasıyla birinci-derece ve ikinci-derece faz geçiş çizgilerini göstermektedir. Dinamik üçlü kritik nokta içi dolu dairelerle gösterilmiştir.

i.) Şekil 3.11 (a), $k = -0.025$ ve $h = 0.25$ değeri için (T , d) düzleminde elde edilen faz diyagramını göstermektedir. Bu faz diyagramında, indirgenmiş sıcaklığın (T) belirli değerlerinde ve indirgenmiş kristal alan etkileşme parametresinin (d) belirli değerlerinde, çözümler düzensizdir (d), d ve T 'nin düşük değerlerinde ise çözümler ferrimanyetik (i) dir. Düzensiz bölge (d) ile ferrimanyetik (i) bölge arasındaki dinamik faz sınırı, $i \rightarrow d$, ikinci-derece faz geçiş çizgisidir. İndirgenmiş sıcaklığın düşük ve indirgenmiş kristal alan etkileşme parametresinin (d) düşük değerlerinde, $i + d$ fazı bulunmaktadır. $i + d$ fazı, i fazı ve d fazından birinci-derece faz geçiş çizgisiyle ayrılmıştır. Sistem aynı zamanda her iki birinci-derece faz geçiş çizgisini birleştiren ve birinci-dereceden ikinci-dereceye faz geçişini gösteren yalnızca bir dinamik üçlü kritik nokta sergilemektedir. Bu faz diyagramının benzeri, Kaynak [9, 22 ve 50]'de (bu çalışmalardan sadece Kaynak 50 ile verilen çalışmada i ve a fazlarının yerine $f_{3/2}$ ve f_q fazları gelmektedir) sunulan çalışmalarda da elde edilmiştir.

ii.) Şekil 3.11 (b)'de, $k = 0.25$ ve $h = 0.955$ değerleri için elde edilen faz diyagramı ilginç bir faz diyagramıdır, öyleki sistemde bir tane dinamik kuadrupol nokta (QP) ve üç tane dinamik çift kritik son nokta (B) mevcuttur. Ayrıca sistem de i ve d fazlarının yanında, a ve d çözümlerin bir arada bulunduğu $a + d$ fazı, i ve d çözümlerin bir arada bulunduğu $i + d$ fazı, i ve a çözümlerin bir arada bulunduğu $i + a$ fazı, i , a ve d çözümlerin bir arada bulunduğu $i + a + d$ fazları mevcuttur.

iii.) Şekil 3.11 (c)' de, $k = 0.25$ ve $h = 0.5$ değerleri için elde edilen faz diyagramı sunulmuştur. Bu faz diyagramı Şekil 3.11 (b)'ye benzemekle birlikte Şekil 3.11 (b)'den

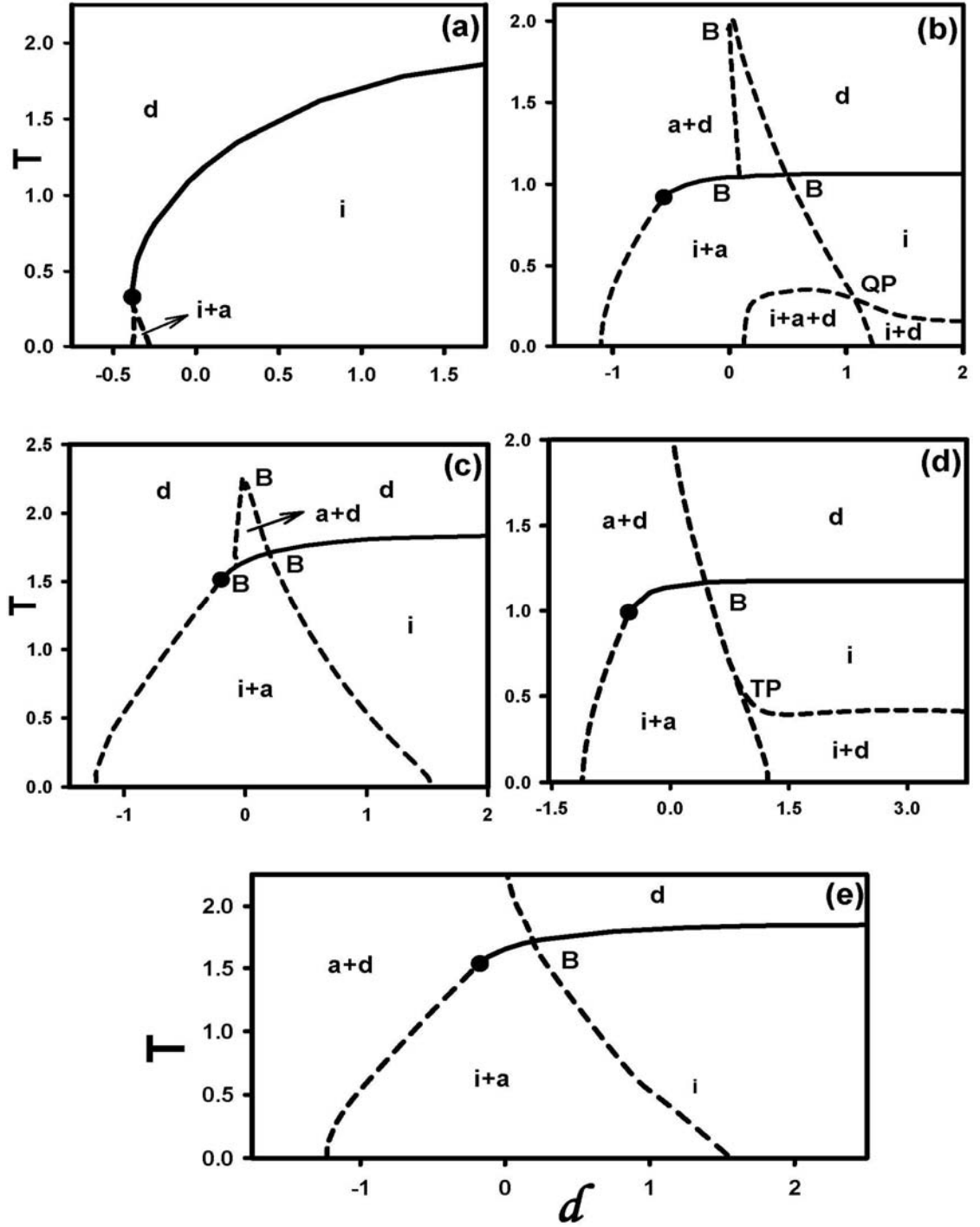
farkı: 1) $i + a + d$ ve $i + d$ fazları kayboluyor. 2) QP dinamik kuadrupol nokta kayboluyor.

iv.) Şekil 3.11 (d)' de, $k=0.25$ ve $h=0.93$ değerleri için elde edilen faz diyagramı sunulmuştur. Bu faz diyagramı Şekil 3.11 (c)'ye benzemekle birlikte Şekil 3.11 (c)'den farkı: 1) Sistemde $i + d$ fazı meydana geliyor 2) Sistemde dinamik üçlü (triple) nokta (TP) mevcut. 3) Sistemde yalnızca bir tane dinamik çift kritik son nokta (B) mevcut.

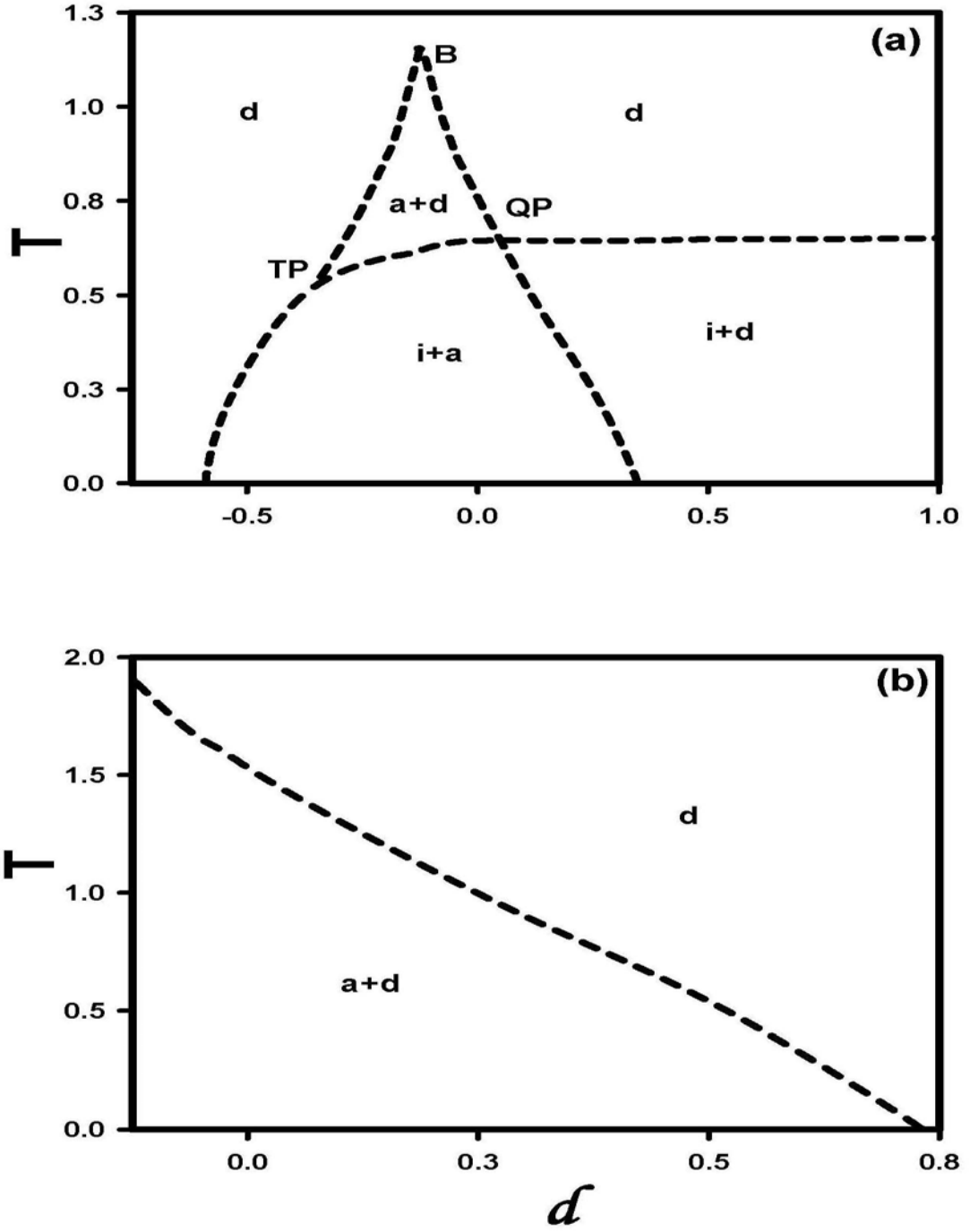
v.) Şekil 3.11 (e)' de $k=0.25$ ve $h=0.5$ değerleri için elde edilen faz diyagramı sunulmuştur. Bu faz diyagramı Şekil 3.11 (c) 'ye benzemekle birlikte Şekil 3.11 (c)' den farkı: Sistemde yalnızca bir tane dinamik çift kritik son nokta (B) mevcut.

vi.) Şekil 3.12 (a)' de, $k=0.125$ ve $h=1.02$ değerleri için elde edilen faz diyagramı sunulmuştur. Bu faz diyagramı ilginç bir faz diyagramıdır, öyleki sistemde bulunan d , $a + d$, $i + a$ ve $i + d$ fazları arasındaki dinamik faz geçiş sınırları birinci-derecen faz geçiş çizgisidir. Dolayısı ile sistemde dinamik üçlü kritik nokta (T) mevcut değildir. Bununla birlikte sistemde bir tane dinamik üçlü (triple) nokta (TP) ve bir tane de dinamik kuadrupol nokta (QP) mevcuttur.

vii.) Bu tip faz diyagramı, $k=0.25$ ve $h=2$ değerleri için Şekil 3.12 (b)' de çizilmiştir. Bu faz diyagramında yalnızca d ve $a + d$ fazları mevcuttur. Bu iki faz arasındaki dinamik faz sınırları birinci-derece faz geçiş çizgisidir. Bundan başka sıfır sıcaklıkta ve T 'nin çok küçük değerlerinde ve h 'nin yüksek değerlerinde d fazı vardır. Bu faz diyagramının benzeri Kaynak [22, 49 ve 50]'da sunulan faz diyagramına benzerdir, yalnız Kaynak 49 ve 50 ile verilen çalışmalarda faz diyagramında a fazı yerine f_q fazı gelmektedir.



Şekil 3.11. Karma spin (1, 2) modelinin (d, T) düzleminde dinamik faz diyagramları. Dinamik üçlü kritik nokta içi dolu daire sembolü ile gösterilmiştir. Kesikli ve sürekli çizgiler sırasıyla birinci ve ikinci-derece faz geçiş çizgileridir. a) $k=-0.025$ ve $h=0.25$ için, b) $k=0.25$ ve $h=0.955$ için, c) $k=0.25$ ve $h=0.5$ için ve d) $k=0.25$ ve $h=0.93$, e) $k=0.25$ ve $h=0.5$ için.



Şekil 3.12. Şekil 3.11 ile aynı fakat ve sistemde dinamik üçlü kritik nokta bulunmamaktadır. a) $k=0.125$ ve $h=1.02$ için, b) $k=0.25$ ve $h=2.0$

4. BÖLÜM

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, zamana bağlı salınımlı dış manyetik alanın varlığında keyfi bilineer, bikuadratik ve kristal alan etkileşme Hamiltonyenli kinetik karma spin-1 ve spin-2 Ising modelinin kararlı çözümleri ortalama-alan yaklaşımı kullanılarak incelendi. Ortalama-alan dinamik denklemlerini elde etmek için Glauber-tipi stokastik dinamik kullanıldı.

Kinetik karma spin-1 ve spin-2 Ising modeli için, öncelikle master denkleminin kullanılmasıyla sistemi tam olarak tanımlayan ortalama alan dinamik denklemleri elde edildi. İlk olarak sistemde mevcut olan fazları elde etmek için, indirgenmiş bikuadratik etkileşme parametresinin (k) ve indirgenmiş kristal alan etkileşme parametresinin (d) farklı değerlerine göre, ortalama mıknatıslanmaların ve ortalama kuadrupol momentlerin zamana bağlı olarak davranışları, Adams-Moulton kestirme düzeltme yönteminin kullanılması ile incelendi ve sistemde üç adet temel faz ve bu temel fazların bir arada bulunduğu dört adet karma fazı bulundu. Birinci tip çözüm, düzensiz faza (d) karşılık gelir. Bu çözümde, alt örgü mıknatıslanmaları m_A ve m_B birbirine eşittir, $m_A(\xi)$ ve $m_B(\xi)$ sıfır değeri civarında salınır ve dış manyetik alana uyum gösterirler. Diğer taraftan, kuadrupol düzen parametreleri q_A ve q_B , sonlu sıcaklıklarda sırasıyla $+1$ ve $+2$ değerleri etrafında salınırlar ve sıcaklık sonsuza gittiğinde $q_A = 3\langle S_k^2 \rangle - 2$ ve $q_B = \langle S_k^2 \rangle - 2$ tanımları gereği sıfır değeri civarında salınırlar. İkinci tip çözüm ise antikuadrupol ya da staggered (a) faz diye adlandırılır. Bu fazlar, m_A ve m_B birbirine eşit ve sıfır değeri etrafında salınırlar ve dış manyetik alana uyarlar. Diğer taraftan, q_A ve q_B birbirine eşit değildir ve dış manyetik alana uymayarak sıfırdan farklı negatif bir

değer etrafında salınırlar. Üçüncü tip çözüm ferrimanyetik (i) faza karşılık gelir. Bu fazda, $m_A = 1$ ve $m_B = 2$ değerleri etrafında salınırken, kuadropol düzen parametreleri q_A ve q_B birbirine eşit değildir ($q_A \neq q_B$) ve sıfırdan farklı bir değer civarında salınırlar. Bu durumda mıknatıslanma ve kuadropol düzen parametreleri dış manyetik alana uymazlar. Sistemde d , a ve i fazlarının yanında k ve d' nin farklı değerlerine bağlı olarak $a + d$, $i + d$, $i + a$ ve $i + a + d$ karma fazları veya bölgeleri de bulundu. Temel fazlar Şekil 3.1'de ve karma fazlar Şekil 3.2' de gösterildi. Daha sonra, indirgenmiş manyetik alan genliği (h), indirgenmiş kristal alan etkileşme parametresi (d) ve indirgenmiş bikuadratik etkileşme parametresinin (k) farklı değerleri için dinamik mıknatıslanma ve kuadropol düzen parametrelerinin, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak davranışları, Adams-Moulton kestirme düzeltme ve Romberg integrasyon yöntemleri kullanılarak, incelendi ve dinamik faz geçiş sıcaklıkları tespit edildi ve dinamik faz geçişlerinin doğası karakterize (sürekli ve kesikli) edildi. Dinamik düzen parametrelerinin sıcaklığa bağlılığı Şekil 3. 3 ve Şekil 3. 4'de verildi. Daha sonra sistemin dinamik faz diyagramları (T , h), (k , T) ve (d' , T) düzlemlerinde, Şekil 3.5-8, Şekil 3. 9-10 ve Şekil 3. 11-12'de sunuldu. (T , h) düzleminde on üç, (k , T) düzleminde sekiz ve (d' , T) düzleminde yedi tane temel faz diyagramı elde edildi. Ayrıca, dinamik faz diyagramlarında, T dinamik üçlü kritik nokta, B dinamik çift kritik son nokta, TP dinamik üçlü (triple) nokta ve QP dinamik kuadropol nokta mevcuttur. Kinetik karma spin-1 ve spin-2 Ising modelinin faz diyagramları incelendiğinde, sistemin davranışının kuvvetli bir şekilde k ve d' parametrelerine bağlı olduğu açık olarak görülmektedir.

(T , h) düzleminde elde edilen faz diyagramlarından, Şekil 3.5.(a)'daki faz diyagramına benzer faz diyagramı daha önce kinetik spin-1/2 [30] (bu sistemde ferrimanyetik (i) faz yerine ferromanyetik (f) faz gelmektedir), spin-1 [46, 51, 52] (bu çalışmalarda i fazının yerine f fazı gelmektedir), spin-3/2 [47] (bu çalışmada i fazının yerine ferromanyetik-3/2 ($f_{3/2}$) fazı gelmektedir) ve spin-2 [42, 48] (bu çalışmalarda i fazı yerine ferromanyetik-2 (f_2) fazı gelmektedir) Ising sistemlerinde elde edilmiştir. Ayrıca bu faz diyagramı karma spin (1/2, 1) [8, 9] ve karma spin (1, 3/2) [22] Ising sistemlerinde de elde edilmiştir. Şekil 3.5.(b)'deki faz diyagramı tek spin Ising [42, 46, 48, 52] (Kaynak 42 ile verilen çalışmada $i + a$ karma fazının yerine $f_2 + p$ karma fazı, Kaynak 46 ile verilen çalışmada $i + a$ karma fazının yerine $f + p$ karma fazı, Kaynak 48 ile verilen

çalışmada i ve antikuadрупolar (a) fazlarının yerine sırasıyla f_2 ve ferrokuadрупolar (f_q) fazları ve Kaynak 52 ile verilen çalışmada ise i ve a fazlarının yerine f ve f_q fazları gelmektedir) ve karma spin [8, 9, 22] (Kaynak 8 ve 9 daki faz diyagramlarında $i + a$ karma fazı yerine $i + p$ karma fazı gelmiştir) Ising sistemlerinde elde edilmiştir. Şekil 3.5.(d) ve 3.6.(a)'daki faz diyagramları karma spin $(1, 3/2)$ [22] Ising sisteminde elde edildi. Şekil 3.5.(c), 3.6.(b), 3.7 ve 3.8'deki faz diyagramları ise ilk defa bu sistemde elde edilmiştir. (k, T) düzleminde elde edilen faz diyagramlarından sadece Şekil 3.10 (d)'de [22, 49, 50] sunulan faz diyagramının benzeri daha önceki çalışmalarda da elde edilmiştir. Yalnız Kaynak 49-50 ile verilen sistemlerdeki faz diyagramlarında a fazı yerine f_q fazı gelmektedir. Diğer yedi faz diyagramı, ilk defa bu sistemde elde edilmiştir. Diğer taraftan (d, T) düzleminde elde edilen faz diyagramlarından Şekil 3.11.(a) [9, 22, 50] (bu çalışmalardan sadece Kaynak 50 ile verilen çalışmada i ve a fazlarının yerine $f_{3/2}$ ve f_q fazları gelmektedir) ve Şekil 3.12 (b)'de [22, 49 ve 50] (Kaynak 49, 50 ile verilen çalışmada a fazı yerine f_q fazı gelmektedir) faz diyagramlarının benzerleri daha önce yapılan çalışmalarda elde edilmesine rağmen diğer beş faz diyagramı ilk defa bu sistemde elde edilmiştir.

Son olarak dinamik yöntemden kaynaklanan eksikliklerden dolayı bazı birinci-dereceden faz geçiş sıcaklıkları ve özel noktalar yapay birinci-derecen faz geçiş sıcaklıkları ve yapay özel noktalar olabilir. Bu yüzden DFG çalışmaları, daha fazla bilgisayar zamanı ve kapasitesi isteyen dinamik Monte Carlo (DMC) hesaplamaları ile incelenmesi önem arz etmektedir. Bununla beraber bu çalışmamız DMC hesaplamalarına temel oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Mansuripur, M., Magnetization reversal, coercivity, and the process of thermomagnetic recording in thin films of amorphous rare earth–transition metal alloys, *Journal of Applied Physics*, 61, 1580-1587, 1987.
2. Coronado, E., Dekhais, P., Gatteschi, D., Miller, J. S., *Molecular Magnetism: From Molecular Assemblies to the Devices* (NATO ASI Series E, Vol. 321), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996
3. Vieira, A. P., de Carvalho, J. X., Salinas, S. R., Phase diagram of a random-anisotropy mixed-spin Ising model, *Phys. Rev. B*, 63, 184415, 2001.
4. Kaneyoshi, T., Surface magnetism of a semi-infinite spin-1/2 Ising system with decorated spin-S atoms on a surface, *Phys. Rev. B*, 55, 12497, 1997.
5. Albayrak, E., Keskin, M., Mixed spin-1/2 and spin-1 Blume-Capel Ising ferrimagnetic system on the Bethe lattice *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 261, 196, 2003.
6. Kasama, T., Muraoka, Y., Idogaki, T., Molecular field and Monte Carlo study for the mixed-spin axial next-nearest-neighbor Ising model, *Phys. Rev. B*, 73, 214411, 2006.
7. Belmamoun, Y., Kerouad, M., Phase transition and magnetic properties of a bond-diluted mixed spin-1 and spin-1/2 Ising model with the uniaxial and biaxial single-ion anisotropy, *Phys. Scr.*, 77, 1, 2008.
8. Buendía, G.- M., Machado, E., Kinetics of a mixed Ising ferrimagnetic system, *Phys. Rev. E*, 58, 1260, 1998.
9. Keskin M., Cankö O., Polat Y., Dynamic phase transitions in the kinetic mixed spin-1/2 and spin-1 Ising ferrimagnetic system under time-dependent magnetic field, *J. Korean Phys. Soc.*, baskıda 2008.
10. Ekiz, C., Keskin, M., Magnetic properties of the mixed spin-1/2 and spin-1 Ising ferromagnetic system, *Physica A*, 317, 517, 2003.
11. Godoy, M., Figueiredo, W., Mixed-spin Ising model with one- and two-spin competing dynamics, *Phys. Rev. E* 61, 218, 2000.
12. Godoy, M., Figueiredo, W., Critical behavior of the mixed-spin Ising model with two competing dynamics, *Phys. Rev. E*, 65, 026111, 2002.

13. Godoy, M., Figueiredo, W., Nonequilibrium antiferromagnetic mixed-spin Ising model, *Phys. Rev. E*;66, 036131, 2002.
14. Figueiredo, W., Godoy, M., Leite, V. S., Compensation Temperature of the Mixed-Spin Ising Model on the Hexagonal Lattice, *Braz. J. Phys.*, 34, 392-394, (2004).
15. Godoy, M., Figueiredo, W., Competing dynamics in the mixed-spin Ising model with crystal-field interaction, *Physica A*, 339, 392, 2004.
16. Bobák, A., Jurčišin, M., A theoretical study of the diluted mixed spin-1 and spin-3/2 Ising ferrimagnet, *Physica B*, 233, 187, 1997.
17. Wei, G.- Z., Xin, Z.-H., Wei, J., Phase diagrams and tricritical behavior in mixed spin-1 and spin-3/2 Ising model on honeycomb lattice *J. Magn. Magn. Mater.*, 204, 144, 1999; Bobák, A., Multicritical points in the mixed spin-1 and spin-3/2 Ising system on a square lattice with different single-ion anisotropies, *Physica A*, 286, 531, 2000; Wei, J, Wei, G.- Z., Zhang, Z.- D., Tricritical behavior and magnetic properties for a mixed spin-1 and spin-3/2 transverse Ising model with a crystal field, *Phys. Rev. B*, 68, 134432, 2003.
18. Abubring, O.- F., Horváth, D., Bobák, A., Jaščur, M., Mean-field solution of the mixed spin-1 and spin-3/2 Ising system with different single-ion anisotropies, *Physica A*, 296, 437, 2001.
19. Tucker, J. W., Mixed spin 1–spin 3/2 Blume–Capel Ising ferromagnet, *J. Magn. Magn. Mater.*, 237, , 215, 2001.
20. Nakamura, Y., Tucker, J. W., Monte Carlo Study of a Mixed Spin-1 and Spin-3/2 Ising Ferromagnet, *IEEE Transactions on Magnetism*, 38, 2406, 2002; Wei, G.- Z., Zhang, Q., Gu, Y., Monte Carlo studies of critical phenomena in mixed spin-1 and spin-3/2 Blume–Capel Ising model on simple cubic lattice, *J. Magn. Magn. Mater.*, 301, 245, 2006.
21. Albayrak, E., Mixed spin-1 and spin-3/2 Blume-Capel Ising Ferrimagnetic system on the Bethe lattice, *Int. J. Mod. Phys. B*, 17, 1087, 2003; Albayrak, E., Alçi, A., Mixed spin-1/2 and spin-3/2 Blume-Capel Ising Ferrimagnetic system on the Bethe lattice, *Physica A*, 345, 48, 2005; Ekiz, C., The possibility of two compensation points in a ferrimagnetic mixed spin-1 and spin-3/2 Ising system using Bethe lattice approach, *J. Magn. Magn. Mater.*, 307, 139, 2006.

22. M. Keskin, E. Kantar, O. Canko, Kinetics of a mixed spin-1 and spin-3/2 Ising system under a time-dependent oscillating magnetic field, *Phys. Rev. E*, 77, 051130, 2008.
23. Weng, X.- M., Li, Z.- Y, Transverse-random-field mixed Ising model with arbitrary spins, *Phys. Rev. B*, 53, 12142, 1996.
24. Iwashita, T., Satou, R., Imada, T., Miyoshi, Y., Idogaki, T., *J. Magn. Magn. Mater.*, Mixed ising spin system with higher-order spin interaction, 226-230, 557, 2001.
25. Zhang, Q., Wei, G., Win, Z., Lang, Y., Effective-field theory and Monte Carlo study of a layered mixed spin-1 and spin-2 Ising system on honeycomb lattice, *J. Magn. Magn. Mater.*, 280, 14. 2004.
26. Albayrak, E., Yigit, A., The critical behavior of the mixed spin-1 and spin-2 Ising ferromagnetic system on the Bethe lattice, *Physica A*, 349, 471, 2005.
27. Wie, G.- Z., Gu, Y.- W., Liu, J., Transverse-random-field mixed Ising model with arbitrary spins, *Phys. Rev. B*, 74, 024422, 2006.
28. Deviren, B., Keskin, M., Canko, O., *J. Magn. Magn. Mater.*, Kinetics of a mixed spin-1/2 and spin-3/2 Ising ferrimagnetic model, baskıda.
29. Glauber, R.J., Time-dependent statistics of the Ising model. *Journal of Mathematical Physics*, 4, 294-307, 1963.
30. Tomé, T., Oliveira, M., Dynamic phase transition in the kinetic Ising model under a time-dependent oscillating field. *Physical Review A*, 41, 4251-4254, 1990.
31. Mendes, J.F.F., Lage, E.J.S., Dynamics of the infinite ranged Potts model, *Journal of Statistical Physics*, 64, 653-672, 1991.
32. Acharyya, M., Nonequilibrium phase transition in the kinetic Ising model: Critical slowing down and the specific-heat singularity. *Physical Review E*, 56, 2407-2411, 1997; Chatterjee, A., Chakrabarti, B.K., Fluctuation cumulant behavior for the field-pulse-induced magnetization-reversal transition in Ising models. *Physical Review E*, 67, 046113-046117, 2003.
33. Sides, S.W., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Kinetic Ising model in an oscillating field: Finite-size scaling at the dynamic phase transition, *Physical Review Letters*, 81, 834-837, 1998; Sides, S.W., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Kinetic Ising model in an oscillating field: Avrami theory for the hysteretic response and

- finite-size scaling for the dynamic phase transition, *Physical Review E*, 59, 2710-2729, 1999; Korniss, G., White, C.J., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Dynamic phase transition, universality, and finite-size scaling in the two-dimensional kinetic Ising model in an oscillating field. *Phys. Rev. E* 63, 016120-016124, 2001; Korniss, G., Rikvold, P.A., Novotny, M.A., Absence of first-order transition and tricritical point in the dynamic phase diagram of a spatially extended bistable system in an oscillating field, *Physical Review E*, 66, 056127-056138, 2002.
34. Chakrabarti, B.K., Acharyya, M., Dynamic transitions and hysteresis, *Reviews of Modern Physics*, 71, 847-859, 1999.
 35. Godoy, M., Figueiredo, W., Kinetic phase transition in the mixed-spin Ising model, *Brazilian Journal of Physics*, 34, 422-424, 2004.
 36. Krawiecki, A., Dynamical phase transition in the Ising model on a scale-free network, *International Journal of Modern Physics B*, 19, 4769-4776, 2005.
 37. Zimmer, M.F., Ising model in an oscillating magnetic field: Mean-field theory, *Physical Review E*, 47, 3950-3955, 1993; Acharyya, M., Chakrabarti, B.K., Response of Ising systems to oscillating and pulsed fields: Hysteresis, ac, and pulse susceptibility, *Physical Review B* 52, 6550-6568, 1995; Acharyya, M., Nonequilibrium phase transition in the kinetic Ising model: Is the transition point the maximum lossy point?. *Physical Review E*, 58, 179-186, 1998; Fujisaka, H., Tutu, H., Rikvold, P.A., Dynamic phase transition in a time-dependent Ginzburg-Landau model in an oscillating field, *Physical Review E*, 63, 036109-036119, 2001.
 38. Tutu, H., Fujiwara, N., Landau theory of dynamic phase transitions and systematic perturbation expansion method for getting phase diagrams, *Journal of the Physical Society of Japan*, 73, 2680-2696, 2004.
 39. Khorrami, M., Aghamohammadi, A., Dynamical phase transition of a one-dimensional kinetic Ising model with boundaries, *Physical Review E*, 65, 056129-056133, 2002.
 40. Keskin, M., Canko, O., Kantar, E., Dynamic dipole and quadrupole phase transitions in the kinetic spin-1 model, *International Journal of Modern Physics C*, 17, 1239-1255, 2006; Keskin M., Canko O., Temizer Ü., Dynamic phase transition in the kinetic spin-1 Blume-Capel model: Phase diagrams in the

- temperature and crystal-field interaction plane, *Journal of Experimental and Theoretical Physics (JETP)*, 104, 936-942, 2007.
41. Keskin, M., Canko, O., Kirak, M., Dynamic dipole and quadruple phase transition in the kinetic spin-3/2 model, *Journal of Statistical Physics*, 127, 359-380, 2007; Keskin, M., Canko, O., Deviren, B, Dynamic phase transition in the kinetic spin-3/2 Blume–Capel model: Phase diagrams in the temperature and crystal-field interaction plane, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 313, L1-L5, 2007; Keskin M., Canko, O., Kirak, M., Phase diagrams of the kinetic metamagnetic spin-3/2 Blume–Capel model in an oscillating external field, *physica status solidi (b)*, 244, 3775-3788, 2007; Deviren, B., Keskin, M., Canko, O., Dynamic phase transition and multicritical dynamic phase diagrams of the kinetic spin-3/2 Blume-Emery-Griffiths model with repulsive biquadratic coupling under a time-dependent oscillating external field, *Computer Physics Communications*, 178, 420-437, 2008.
 42. Keskin, M., Canko, O., Ertaş, M., Kinetics of the spin-2 Blume-Capel model under a time-dependent oscillating external field, *Journal of Experimental and Theoretical Physics (JETP)*, 105, 1190-1197, 2007.
 43. Jiang, Q., Yang, H. N., Wang, G. C., Scaling and dynamics of low-frequency hysteresis loops in ultrathin Co films on a Cu (001) surface, *Phys. Rev. B*, 52 14911-14916, 1995; Jiang, Q., Yang, H. N., Wang, G. C., Field dependent resonance frequency of hysteresis loops in a few monolayer thick Co/Cu(001) films, *Journal of Applied Physics*, 79, 5122-5124, 1996.
 44. Kleemann, W., Braun, T., Dec, J., Petravic, O., Dynamic phase transitions in ferroic systems with pinned domain walls, *Phase Transition*, 78, 811-816, 2005.
 45. Kibble T. W. B., Topology of cosmic domains and strings, *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 9, 1387-1398, 1976; Kibble T. W. B., Some implications of a cosmological phase transition, *Physics Reports*, 67, 183-199 1980; Damski, B., Zurek, W.H., Dynamics of a quantum phase transition in a ferromagnetic Bose-Einstein condensate, *Physical Review Letters*, 99, 130402-130405, 2007.
 46. Keskin, M., Canko, O., Temizer, Ü., Dynamic phase transition in the kinetic spin-1 Blume-Capel model under a time-dependent oscillating external field, *Physical Review E*, 72, 036125-036135, 2005.

47. Keskin, M., Canko, O., Deviren, B., Dynamic phase transition in the kinetic spin-3/2 Blume-Capel model under a time-dependent oscillating external field, *Physical Review E*, 74, 011110-011119, 2006; Canko, O., Deviren, B., Keskin M., Dynamic phase transition in the spin-3/2 Blume-Emery-Griffiths model in an oscillating field, *Journal of Physics: Condensed Matter*, 18, 6635-6653, 2006.
48. Ertaş, M., Canko, O., Keskin, M., Dynamic phase transition in the kinetic spin-2 Blume-Emery-Griffiths model in an oscillating field, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 320, 1765-1774, 2008.
49. Keskin M., Temizer Ü., Canko O., Kantar E., Dynamic phase transition in the kinetic Blume-Emery-Griffiths model: Phase diagrams in the temperature and interaction parameters planes, *Phase Transition*, 80, 855-866, 2007.
50. Keskin, M., Deviren, B., Canko, O., Kırak M., Dynamic phase transition in the kinetic spin-3/2 Blume-Emery-Griffiths model: Phase diagram in the temperature and interaction parameters planes, *Acta Physica Polonica B*, 38, 2445-2457, 2007.
51. Temizer, Ü., Kantar, E., Canko, O., Keskin, M., Multicritical dynamical phase diagrams of the kinetic Blume-Emery-Griffiths model with repulsive biquadratic coupling in an oscillating field, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 320, 17871801, 2008.
52. Keskin M., Canko O., Temizer Ü., Dynamic phase transition in the kinetic Blume-Emery-Griffiths model in an oscillating external field, *International Journal of Modern Physics C*, 17, 1717-1737, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Mehmet ERTAŞ

Doğum: Kayseri

Doğum Tarihi: 01. 04. 1982

İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri’de tamamladı. 2001 yılında Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümünü kazandı. 2002 yılında tekrar üniversite sınavına girerek Erciyes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı ve bu bölümü. 2006 yılında 3.56/ 4.00 not ortalaması ile birinci olarak bitirdi ve aynı yıl Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Öğrenimi sırasında TÜBİTAK-BİDEB bursunu kazandı. ”Journal of Experimental and Theoretical Physics” ve “Journal of Magnetism and Magnetic Materials” dergilerinde yayımlanan iki adet makalesi vardır. 15. İstanbul İstatistiksel Fizik Günleri toplantısında bir adet bildiri sundu.

İletişim Bilgileri:

Adres: Plevne Mah. Seyrek Sok. Kevser Apt. Kat:3

Kocasinan/ KAYSERİ

Cep Tel: 0537 682 26 70

E Mail: mhmtertas @ hotmail. com